

PRODUKTION, DISTRIBUTION OCH KUNDCENTRALER



Rapport | 2009:6



PRODUKTION, DISTRIBUTION OCH KUNDCENTRALER

SYSTEM I SAMVERKAN

JOHN JOHNSON OLA ROSSING HÅKAN WALLETUN

FÖRORD

Här redovisas resultat från ett projekt som belyser om det är möjligt att analysera alla tre samverkande systemen det vill säga produktion, distribution och kundcentraler. Vikten av hitta modeller för att kunna analysera dessa tre delsystem för att kunna driftoptimera. I verkligheten innebär detta betydande beräkningsarbete med stora förenklingar till följd. Rapporten behandlar erfarenheter av projektets omfattning och hur förändringar av olika komponenters värde i det totala systemet kan beräknas.

Projektet har genomförts som ett samarbete mellan Profu AB (John Johnsson), Hydram AB (Ola Rossing) och ZW Energiteknik AB (Håkan Walletun). De medverkade i projektet har, både som forskare och konsulter, lång erfarenhet av sitt respektive verksamhetsområde och har genom åren använt ett flertal olika modeller och analysverktyg

En referensgrupp, tillsatt av Svensk Fjärrvärme, har följt arbetet och lämnat synpunkter. Referensgruppen har bestått av: Bertil Sjöström, Skövde Värmeverk, Bengt Fransson, Sävsjö Energi, Thomas Samuelsson, Jönköping Energi, Peter Sivengård, Fortum Värme,

Eva-Katrin Lindman

Ordförande i Teknikrådet

Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att Svensk Fjärrvärme eller Fjärrsyns styrelse har tagit ställning till innehållet.

SAMMANFATTNING

Syftet med detta projekt har varit att undersöka om det i fjärrvärmesystem är möjligt att detaljerat med beräkningsmodeller analysera alla tre samverkande delsystemen produktion – distribution – fjärrvärmecentraler. Till detta diskuterar vi nyttan med analysen genom en tillämpning i Skövdes fjärrvärmesystem.

I projektet formulerade vi inledningsvis hypotesen att analys av respektive delsystem kan kommuniceras som funktion av utomhustemperaturen. Vi anser att vi genom tillämpningen i Skövde har kunnat bekräfta att vår hypotes var korrekt. Detta innebär att det är möjligt med vår valda tidsupplösning (dag/natt), att göra en totaloptimering av fjärrvärmesystem med avseende på produktion, distribution och fjärrvärmecentraler. För högre tidsupplösning (timmar) är dessutom dygnsvariationen en viktig faktor som bör beaktas.

I arbetet med att analysera Skövde utformade vi även en metod för att identifiera vilka felfungerande fjärrvärmecentraler (FC) som ur det totala systemets synpunkt är lönsammast att åtgärda. Metoden innebar att ett tänkt hål (eller kortslutning) flyttades runt mellan olika nätdelar för att få ett värde på var hålet gjorde störst skada. Denna hålanalys visade sig vara ett mycket arbetseffektivt sätt att identifiera var åtgärderna bland FC gjorde störst nytta.

Vi har också under projektet kunnat konstatera att arbetet med samla in data och sätta upp modellerna kan vara arbetskrävande i de fall som uppgifterna inte är enkelt tillgängliga. I många företag finns numera de nödvändiga uppgifterna ofta samlade på ett strukturerat sätt och det är inte heller ovanligt att modeller för produktion, distribution och kunderna redan finns tillgängliga. I dessa fall bedöms det praktiska arbetet att komma igång med samverkande analys som betydligt mindre. Detta gäller även i det fall där man satt upp metodiken och sedan behöver uppdatera modellerna.

Dock är metodiken kompetenskrävande genom att den kräver något djupare insikter i produktion, distribution och fjärrvärmecentraler. I vårt fall löste vi detta genom samverkan mellan tre specialiserade konsulter. Ute på företagen behöver troligtvis arbetet organiseras på motsvarande sätt genom att man samlar olika kompetenser i projektform. Detta kan i en del fall innebära en extra svårighet genom att det kräver kommunikation över organisatoriska systemgränser, men detta kan också ses som en möjlighet som ger möjlighet till gemensamt fokus på synen på systemet, vilket i förlängningen bör innebära en större hänsyn och samverkan mellan delområdena.

INNEHÅLL

Förord	4
Sammanfattning	5
Inledning	7
Bakgrund och syfte	8
Analysmetodik	9
Skövde i modellerna	16
Resultat	19
Diskussion och slutsatser	30
Fortsatta arbeten	31
Bilaga 1: Mera om modellerna	32
Referenser	41

INLEDNING

Ett fjärrvärmesystem består i huvudsak av tre delsystem; produktion, distribution och kundcentraler och många förändringar i ett fjärrvärmesystem har inverkan på hela kedjan produktion - distribution - fjärrvärmecentraler. Analys av övergripande fjärrvärmefrågor bör därför helst inkludera alla tre delsystemen. I praktiken innebär detta ofta ett betydande beräkningsarbete, varför förenklingar ofta görs i olika led och på olika nivåer. På basis av de positiva erfarenheterna av möjligheterna till samverkande analys från projektet "Samverkande produktions- och distributionsanalys", [1] har i detta projekt systemgränsen vidgats och även inkluderat fjärrvärmecentralerna. Projektet har genomförts som ett samarbetsprojekt mellan Profu AB (John Johnsson), Hydram AB (Ola Rossing) och ZW Energiteknik AB (Håkan Wallethun). De medverkade i projektet har, både som forskare och konsulter, lång erfarenhet av sitt respektive verksamhetsområde och har genom åren använt ett flertal olika modeller och analysverktyg.

BAKGRUND OCH SYFTE

Syftena med projektet var att undersöka om det är möjligt att detaljerat analysera alla tre samverkande delsystemen, diskutera nyttan med utvidgad analys och att visa nyttan med detta i en tillämpning (Skövde). Genom tillämpningen erhöles också en erfarenhet av arbetsvolymen för denna typ av analys och hur man, ur ett systemperspektiv ekonomiskt kan beräkna värdet av en förändring av olika komponenter i det totala systemet.

De huvudsakliga frågeställningarna i projektet var:

- hur påverkar fjärrvärmecentralernas (FC) egenskaper (effektstorlek, energibehov, temperaturkrav, flödesstabilitet) nätet/distributionen (flöden och differensstryck i systemet)?
- hur påverkar FC:s egenskaper produktionen (bränsleval, laddningsstrategi, fram- och returledningstemperatur samt förutsättningarna för kraftvärmeproduktion)?
- hur påverkar produktionen FC:s funktion (avkylning, komfort och energiåtgång)?

Vidare har vi inom projektet diskuterat ett antal frågor i principiella termer. Som ett exempel kan nämnas vilken mätning som behövs i ett fjärrvärmesystem för att man skall kunna ”förstå” hur system i samverkan fungerar?

ANALYSMETODIK

För analysen har använts flera modeller och metoder för att beskriva och analysera respektive delsystem. Utvecklingen inom projektet har varit att identifiera och testa hur dessa modeller och metoder kan samverka för att beskriva den påverkan som finns mellan produktion – distribution – fjärrvärmecentraler i ett fjärrvärmesystem. Den metodik som vi har utvecklat är oberoende av vilka modeller som använts, så länge som de klarar av att analysera respektive delsystem med tillräcklig noggrannhet och dessutom kan administrera kommunikationen mellan modellerna. Enligt projektet ”Samverkande produktions- och distributionsmodeller”, [2] uppfyller merparten av produktions- och distributionsmodellerna på den svenska marknaden kravet att kunna kommunicera mellan modellerna. Även i denna utvidgade analys med fjärrvärmecentraler är metodiken i huvudsak oberoende av modelltyp.

Eftersom beräkningarna för de olika delsystemen görs med olika utgångspunkt måste resultaten från respektive modell kommuniceras via någon sammanhållande parameter. Den parameter som i detta projekt kommit att utgöra den minsta gemensamma nämnaren, och som identifierades som den mest fördelaktiga i det inledande projektet, är utomhustemperaturen. Beräkningarna skedde med andra ord med respektive modell och kommunicerades via utomhustemperaturen.

Kort om modellerna

Modellerna som använts inom projektet är Martes för produktionsanalysen, PFC för distributionen och för fjärrvärmecentralerna har använts en verktygslåda bestående av både en modell (ISAC) och ett par metoder för att identifiera olika fjärrvärmecentraler driftsfunktion. Martes, PCF och ISAC är alla att karaktärisera som systemmodeller som med relativt stor detaljeringsgrad kan beskriva respektive delsystems nuvarande situation eller vid förändring. Det är dock första gången de alla tre används inom ramen för samma projekt. Modellerna beskrivs kortfattat nedan. För mer en utförlig modellbeskrivning hänvisas till Bilaga 1.

Martes

Martesmodellen är ett analysinstrument för frågor kring fjärrvärmeproduktion med ett tidsperspektiv mellan någon vecka till flera år. Exempel på frågeställningar är investeringsanalys, budgetberäkningar, bränsleinköp och lagerhållning, korta och långa elbalanser och skatteanalys. Beräkningarna sker för ett eller flera år, med en tidsindelning på 730 beräkningssteg per år (året indelat i dag/natt-perioder). Alternativt kan beräkningen ske på timbasis med 8760 beräkningssteg. Modellen har i många hänseenden en flexibel detaljeringsgrad, vilket innebär att detaljeringsgraden hos olika beräkningsparametrar styrs av de frågeställningar man önskar analysera. Modellen används för analys och planering av en stor andel av Sveriges fjärrvärme. Modellen utvecklas och säljs av Profu.

PFC

PFC-modellen är utvecklad för simulering av inkompressibel rörströmning i komplexa system med stationära och dynamiska förlopp. Detta innebär att många olika typer av system kan simuleras, t.ex. fjärrdistributionssystem, tryckavlopp, bränslesystem och bläckstråleskrivare.

Programmen innehåller dock många komponenter och beräkningsmöjligheter som är direkt anpassade för fjärrvärme- och fjärrkyladistribution och används för att analysera och åskådliggöra hydrauliska driftsbetingelser i distributionssystem vid både normala och onormala driftsfall. Programmets fördel ligger i att det kan hantera de flesta komplexa situationer och hanterar även transienta förlopp i mycket komplexa rörsystem. Modellen används i ca 25 svenska fjärrvärmesystem för analys av distributionen. Modellen utvecklas och säljs av HydroRam.

FC Verktygslåda

För att kunna värdera funktionen i ett fjärrvärmesystems enskilda fjärrvärmeanläggningar har vi använt oss av följande verktyg:

- Överkonsumtionsberäkning
- K_{vs}^1 -korrigerig av styrventiler
- ISAC Analys

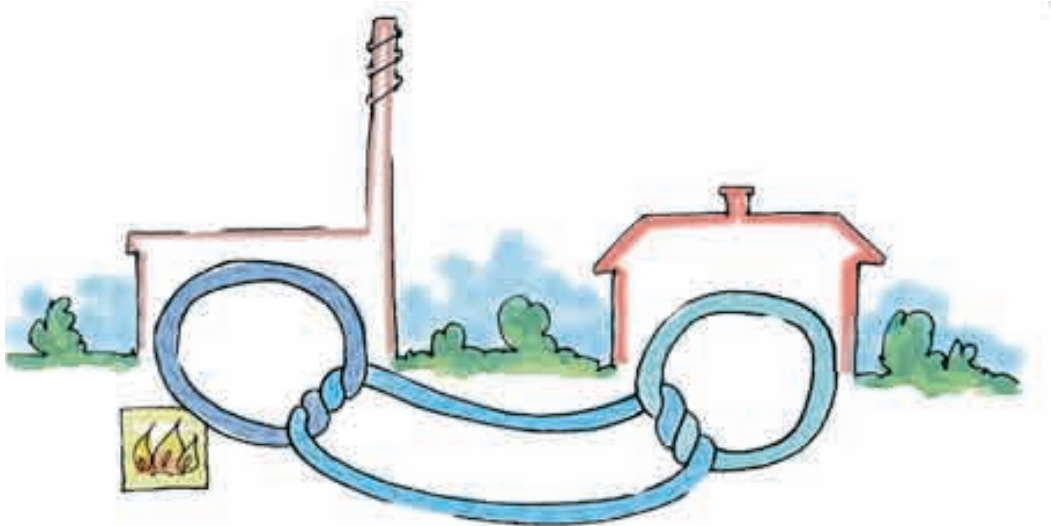
I en överkonsumtionsberäkning beräknas vilken (onödig) extravolym vatten som passerat genom FC:n på grund av att anläggningens avkylning är lägre än tänkt. Överkonsumtionslistor används främst i syfte att kunna påverka ett fjärrvärmenäts temperaturnivåer. Metodiken med överkonsumtionslistor är först formulerad av Sven Werner [3] och vidareutvecklad av Håkan Walletun, [4]. Analys av K_{vs} -värden på styrventiler syftar främst till en effektivisering av distributionsförutsättningarna. Avsikten är att få ett mer lättreglerat fjärrvärmenät med mindre flödespendlingar. Reducerade flödespendlingar leder också till att morgonlasten kan dämpas (minimeras) för att endast motsvarar verkligt effektbehov. Utifrån kriterier som enskilda fjärrvärmecentralers geografiska placering i nätet och effektstorlek kan enskilda anläggningar väljas ut för kontroll och eventuell korrigerig av styrventilernas K_{vs} -värde. I kombination med överkonsumtionslistan kan insatserna även ske i strategiskt utvalda områden eller i FC med hög överkonsumtion och/eller felfunktioner. Metodiken med K_{vs} -korrigerig av styrventiler är först formulerad av Christer Forslund och Håkan Walletun, [5].

För analys av olika fjärrvärmecentralers verkliga effektbehov dimensionerades korrekta ventilstorlekar med hjälp av ISAC Analys som är ett simulerings- och dimensioneringsprogram av FC. ISAC Analys är utvecklad av Peter Gummérus och säljs av SWEP International och FVB Sverige, [6].

Samverkan Produktion – Distribution – Fjärrvärmecentraler

Fjärrvärmesystem är genom sin uppbyggnad med produktion, distribution och kundsystem sammantaget ett mycket komplext system. Utifrån kundernas geografiskt spridda värmeefterfrågan med olika topografiska förhållanden skall produktionen, med ett flertal eller mångfald olika alternativ och begränsningar, ske på billigast möjliga sätt inklu-

¹ En ventils kapacitet anges av dess K_v -värde. Detta anger flödet (i m^3/h) vid tryckfallet 1 bar. K_v -värdet vid maximal öppningsgrad kallas för K_{vs} -värde. Vanligtvis är det K_{vs} -värdet som anges i ventilkataloger.



Figur 1: samverkan mellan produktion, fjärrvärmenät och fastighetens system.

Källa: Södertörns Fjärrvärme AB.

sive hänsyn till de begränsningar som distributionen kan innebära. Målsättningen för det kopplade systemet är att kundernas efterfrågan i varje ögonblick skall tillgodoses på billigast möjliga sätt. Nedan diskuteras något mer i detalj delsystemens interna samverkan med utgångspunkt från kunderna, se även figur 1.

Fjärrvärmecentralerna

Fjärrvärmecentralen (FC) har flera viktiga uppgifter i ett fjärrvärmesystem:

- Leverera den *komfort* som kunden förväntar sig att få med angiven stabilitet. Detta sker genom inställda börvärden i styr- och reglerutrustningar samt de ingående komponenternas samverkan. Komforten kan även påverkas av de olika värmeväxlarnas (VVX) termiska prestanda. Slutligen påverkas komforten till en del även av fjärrvärmesystemets differenstryck och framledningstemperatur samt funktionen i fastighetens egna värmesystem.
- Styra *energiuttaget* till fastigheten på det sätt som kunden önskar och som godkänns av energileverantören. Detta sker främst genom inställda börvärden som styr leveransen av energi.
- Maximera den *primära avkylningen*. Även detta avgörs genom inställda börvärden samt fastighetens beteende, men även av vilka termiska prestanda som VVX har.
- Separera distributionssystemet (tryck, temperatur och säkerhet) från respektive fastighets egna värmebärarsystem.

För att möjliggöra så gynnsam drift som möjligt för hela fjärrvärmesystemet är målet att alla fjärrvärmecentraler sköter komfortuppgiften och energiuttaget så stabilt som möjligt samt att den primära avkylning blir så stor som möjligt.

Fjärrvärmecentralernas påverkan på distributionen

Alla distributionsområden är, inom givna förutsättningar, dimensionerade med vissa marginaler. Då ytterligare kunder ansluts till befintligt nät minskar marginalerna för att så småningom övergå till begränsningar (kapacitetsbrist i flöde).

Kontinuerligt tillstånd med flödesbegränsning kan innebära stora merkostnader i produktionen samt olägenheter hos kunderna och bör åtgärdas. Den vanligaste åtgärden är bygga förstärkningsledning (parallellt med befintlig ledning) eller ersätta och uppgradera befintlig ledning med större dimension. I ett inledningskedje kan situationen överbryggas med höjt differenstryck i området, men även det kan leda till komfortproblem hos kunder, såsom reglertekniskt försämrade stabilitet och/eller oljud i rörledningar. Kortvariga perioder (fåtal timmar) med flödesbegränsning kan i regel accepteras, men situationen leder till konkurrens mellan kunderna om vem som får tillgängligt flöde. Den som finns längst bort i rörsystemet alternativt de som är anslutna till ledningar med högst rörledningsmotstånd riskerar att få otillräckligt flöde och därigenom mindre värme än efterfrågat. Vissa kunder får alltså större eller mindre komfortstörningar under dessa perioder.

FC med oförändrat effektbehov men med försämrade avkylning får ökat flödesbehov. I områden med flera FC med försämrade avkylning förstärks flödesbehoven även om det sker med viss sammanlagring. Förbättrade avkylning i fjärrvärmecentraler kan bidra till att öka marginalerna i flödeskapacitet och dessutom att minska pumpbehovet. Insatser i FC som kan förbättra flödeskapaciteten ska därför alltid prioriteras. Den mest uppenbara fördelen med förbättrade avkylning i form av sänkt returtemperatur är annars den tydliga påverkan i minskade värmeförluster från fjärrvärmeledningarna.

Fjärrvärmecentralernas påverkan på produktionen

Funktionen i anslutna FC är naturligtvis även av stor betydelse för produktionsenheterna, framförallt genom inverkan av nivåerna på fram- och returledningstemperaturerna. Beroende på typ av produktion blir det olika prioriteringar som behöver göras. I anläggningar med t ex bibränsleledad panna med rökgaskylare eller värmepumpar/spillvärme är returtemperaturen av stor betydelse. I anläggningar med kraftvärmeproduktion är vanligen framledningstemperaturen av stor betydelse, vilket innebär att system med bio- eller avfallskraftvärmeverk ofta har starka incitament för att minimera både fram- och returledningstemperaturerna.

Kontinuerligt tillstånd med förhöjd returtemperatur bör normalt därför åtgärdas. Vid åtgärdandet får man först identifiera om orsaken finns i distributionsnätet (t ex okontrollerad kortslutning) eller bland fjärrvärmecentralerna (felfunktioner). Kortvariga perioder (fåtal timmar) med förhöjd returtemperatur kan vanligen accepteras. Kortvariga flödesökningar är däremot något som bör undvikas. Under t ex kraftigt ökat effektuttag hos kunder, i form av ökat flödesbehov, kan man tvingas att starta anläggningar med sk spetsproduktion, vilket ofta är dyrt. Det finns exempel på kundanläggningar som på kort tid kan öka sitt effektuttag 300-400%. Insatser i FC som kan dämpa extrema effekt- och flödesuttag ska därför alltid prioriteras.

Distributionens påverkan på produktionen och fjärrvärmecentralerna

Om kapaciteten i distributionsnätet är otillräcklig finns fyra huvudalternativ för att tillse systemets funktion. Alternativen kan också genomföras som kombinationer.

- Att öka framtemperaturen. Detta påverkar ofta produktionen negativt. FC får dock en högre primärtemperatur vilket oftast är positivt.
- Att öka utmatat differenstryck. Produktionskostnaderna påverkas inte direkt. FC i vissa områden får större och mer varierande differenstryck, vilket kan leda till oljud, sämre reglering och därmed högre returtemperatur och flödesvariationer. Högre returtemperatur och större flöden hos FC påverkar både distribution och produktion negativt.
- Att sprida produktionen för att komma närmare kunderna gör att distributionsnätet inte ansträngs lika mycket. Detta påverkar FC minimalt men kan innebära en betydligt högre produktionskostnad.
- Att förstärka distributionsnätet. Detta alternativ ger minst påverkan på FC och produktion men innebär en högre distributionskostnad genom kapitalkostnaden.

Produktionens påverkan på distributionssystemet och fjärrvärmecentralerna

Om fjärrvärmesystemet innehåller produktionsslag som gynnas av låg framledningstemperatur (t.ex. kraftvärme) kan uppstå en konflikt mellan produktionens önskemål om lägre framledningstemperatur respektive distributionssystemets och FCs önskemål om en högre temperatur som mer överensstämmer med de ursprungliga dimensioneringsförutsättningarna. För att systemet i stort skall fungera väl behöver de olika delsystemen hitta en balans mellan lönsamheten i sänkt temperatur och ökad kostnad/olägenhet i distributionssystemet och FC-anläggningarna.

Indatainsamling och databehandling

Genom att modellerna och metoderna är relativt detaljerade krävs en större mängd konsistenta data för beräkningarna. Nedan indikeras vilka uppgifter som behövs för den här typen av modeller (se vidare bilaga 1 om indatabehov för modellerna).

Produktion

För produktionsmodellen Martes behöver i huvudsak följande uppgifter:

- Storlek på produktionsanläggningarna, [MW]
- Verkningsgrader, [%]
- Elkvot, [%]
- Rörliga omkostnader, [kr/MWh]
- Tillgänglighet, [%]
- Energipriser och skatter, [kr/MWh]
- Produktionsprofiler i olika områden, [MW/timma]

Uppgifterna har i Skövdes fall i princip funnits direkt tillgängliga, eftersom Skövde regelbundet använder Martes-modellen för t.ex. investeringsanalys och budget. För projektet

har det dock gjorts en uppdelning av produktionen och efterfrågan i olika nätdelar, se vidare nedan om distributionen.

Distribution

Modellen behöver en stor mängd data såsom fysiska mått, konstruktionstyp och nominella prestanda för distributionssystemet komponenter såsom pumpar och ventiler. När projektet påbörjades pågick ett arbete med att bygga upp en ny administrativ distributionsmodell över Skövdes nät. För att projektet skulle kunna fokusera på metodikfrågor var tanken att utnyttja beskrivningarna i denna modell som bas för att bygga upp en hydraulisk analysmodell. Dock visade sig skillnaderna i systembeskrivningen var så stora att det krävdes en stor mängd manuellt arbete för att justera data till rätt format för distributionsmodellen. Att kunna utbyta systeminformation mellan olika modeller är ofta intressant, och något som borde kunna utvecklas i framtiden.

Fjärrvärmecentraler

De inledande uppgifter som krävs för analysen är en komplett förteckning av alla fjärrvärmecentraler som är anslutna till fjärrvärmesystemet. I förteckningen skall bl.a. finnas uppgifter om:

- FC-nr
- FC-adress
- Kundkategori
- Effektstorlek, [kW]
- Energiförbrukning, [MWh/år]

För värderingen av hur fjärrvärmesystemets FC fungerar beräknade vi månadsbaserade överkonsumtionslistor för olika lastintervall.

I en överkonsumtionsberäkning anges vilken ”extravolym” vatten som passerat genom FC:n på grund av att anläggningens avkylning varit lägre än ett uppställt riktvärde. För en FC som når samma avkylning som det uppställda riktvärdet för perioden blir överkonsumtionen 0 m³. Överkonsumtionslistor används främst i syfte att kunna identifiera hur individuella FC påverkar ett fjärrvärmenäts temperaturnivåer.

Nödvändiga indata till en överkonsumtionslista är:

- Energi, [MWh/månad]
- Volym, [m³/månad]
- FC-nr
- FC-adress
- Önskat avkylningsmål som önskas uppnås i distributionsnätet.

Indata som därutöver förbättrar resultatens användbarhet och selekterbarhet är:

- FC-anläggningsnamn
- FC-kundnr
- Ev. delområde i fjärrvärmenätet
- Kundkategori
- Framledningstemperatur [°C]

En fördel med dessa listor är att alla fjärrvärmesystem som har tillgång månadsavläsning av fjärrvärmecentralers förbrukningsvärden på energi och volym kan ta fram dessa listor. Har man även tillgång "extrauppgifterna" kan man t ex göra en överkonsumtionslista för alla industrikunder eller alla FC i ett visst område.

SKÖVDE I MODELLERNA

Modellbeskrivningen av fjärrvärmesystemet i Skövde framgår kortfattat nedan. De data som beskriver Skövde är omfattande, särskilt för distributionssystemet, varför en fullständig redogörelse inte lämnas inom ramen för denna rapport.

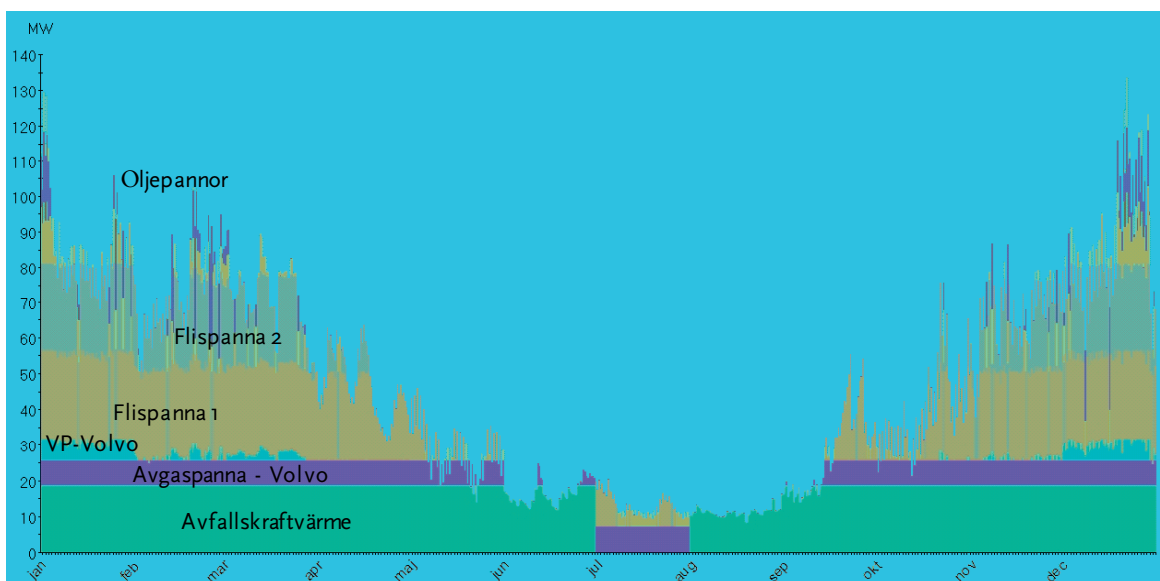
Produktion

Produktionen i Skövde baseras i huvudsak på avfallskraftvärme och flishetvatten. Bränsle för topplast är fossil olja. Fjärrvärmeföretaget har ett energisamarbete med Volvo (Cars och Lastvagnar), där man utbyter värme åt båda håll beroende på lastfall, se även [7]. Produktionsutfallet från modellen i ett planerat 2008 framgår av figur 2 nedan. Flispannorna är lokaliserade norr om centrum vid Kärnsjukhuset och avfallskraftvärmeverket i östra delen av nätet, se figur 3. Både avfallskraftvärmen och flispannorna har rökgaskondensering. I Centrum finns topplastpannor.

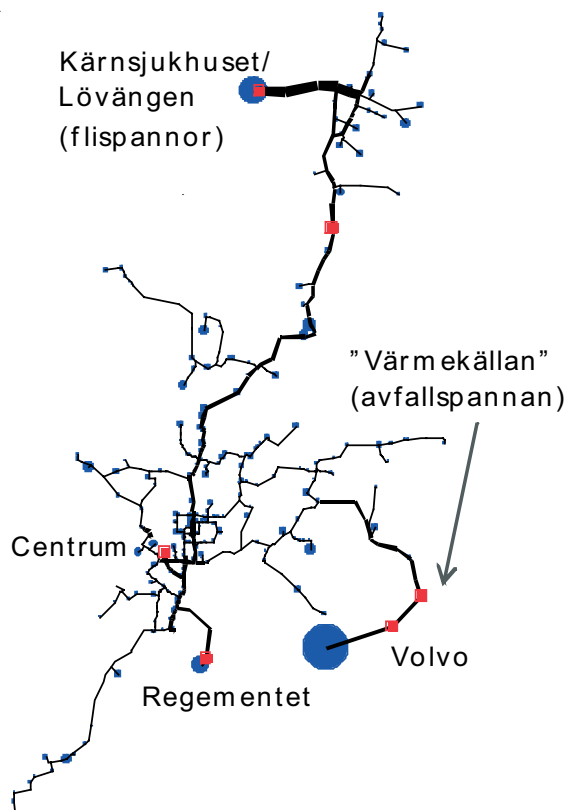
Distribution

Distributionsmodellen simulerar hur fjärrvärmesystemet uppträder hydrauliskt vid olika situationer. I detta projekt utnyttjar vi främst möjligheten att simulera stationära tillstånd vid olika förutsättningar som utetemperatur, produktionsmix och returledningstemperatur. För att göra detta behövs uppgifter om rörsystemets fysiska dimensioner såväl i distributionsnätet som i produktionsanläggningarna. Abonenternas behov och prestanda beskrivs som funktion av utetemperatur och klockslag i aggregerade lastpunkter.

Distributionssystemet i Skövde har expanderat stegvis under lång period. Genom detta har skapats flera begränsningar i nätet, främst från norr till söder och från öster till söder. Inverkan av begränsningarna reduceras genom att man under en stor del av året använder förhöjd framledningstemperatur.



Figur 2: Produktionsutfall enligt Martes för ett tänkt 2008.



Figur 3: En schematisk bild av distributionsmodellen över Skövde. Röda markeringar är produktionsanläggningar, medan blå utgör kunder.

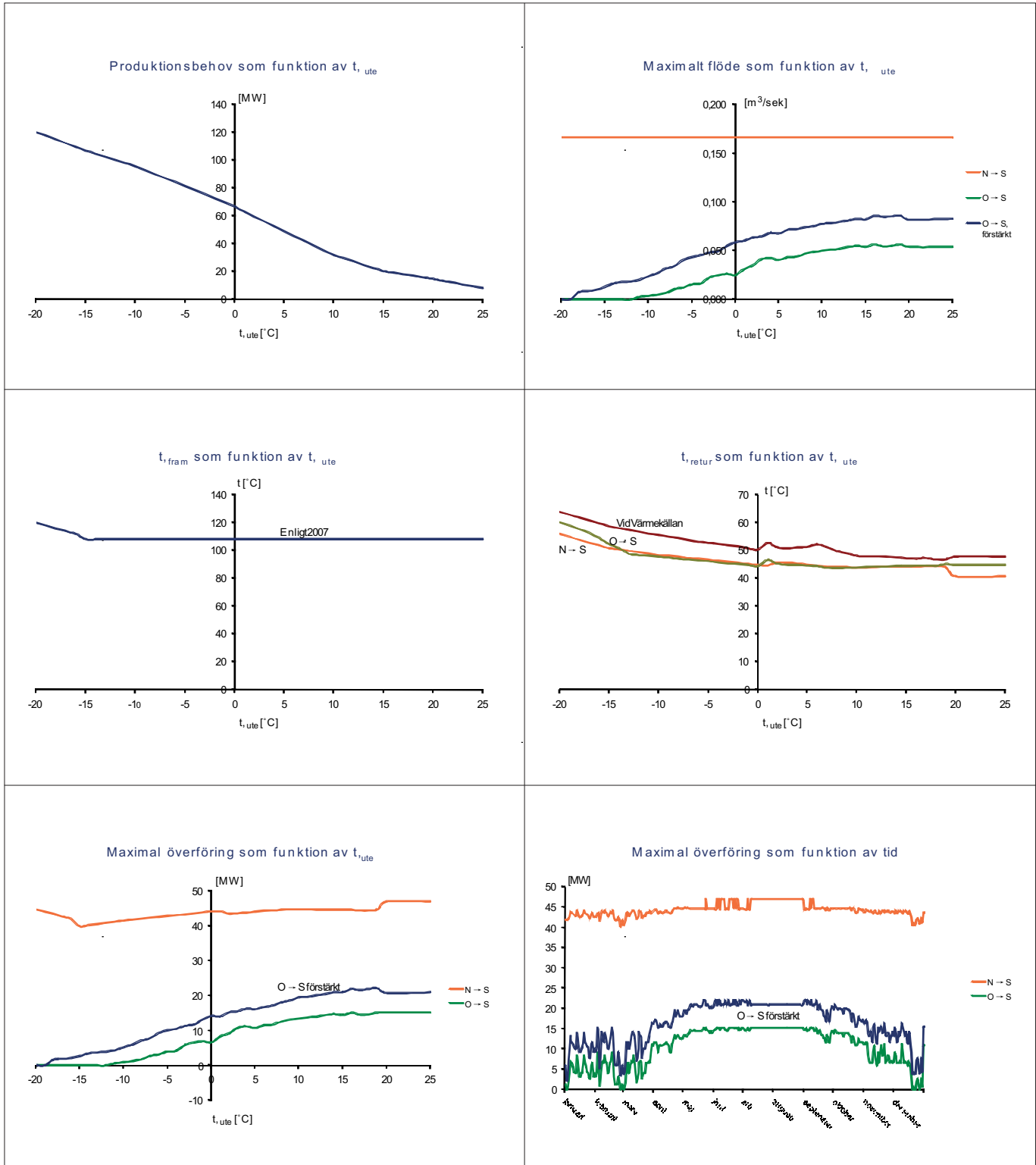
Fjärrvärmecentraler

Lasten i Skövdes fjärrvärmenät består av ca 1000 anslutna fastigheter, varav ca 500 är småhus/villor. De större fjärrvärmecentralerna är huvudsakligen anslutna under 1970- och 1980-talen. Flertalet småhus är däremot anslutna under 2000-talet.

Flöden och temperaturer i Skövde

De data som kommuniceras mellan modellerna är främst flöden samt fram- och returledningstemperaturer, vilka samtliga korreleras till utomhustemperaturen, se figur 4.

Under pågående projekt skedde en ombyggnation av nätet som innebar att flödesbegränsningarna ut från Värmekällan minskade, vilket redovisas som O→S Förstärkt.



Figur 4: Total last, flöde, fram- och returtemperatur, maximal överföringskapacitet som funktion av utomhustemperatur samt maximal överföringskapacitet som funktion av tid i några delar av Skövdes fjärrvärmenät.

RESULTAT

Resultaten från projektet är indelat i två delar, dels direkta analysresultat från Skövdes fjärrvärmesystem och dels metodikresultat. Kapitlet nedan inleds med analysresultaten.

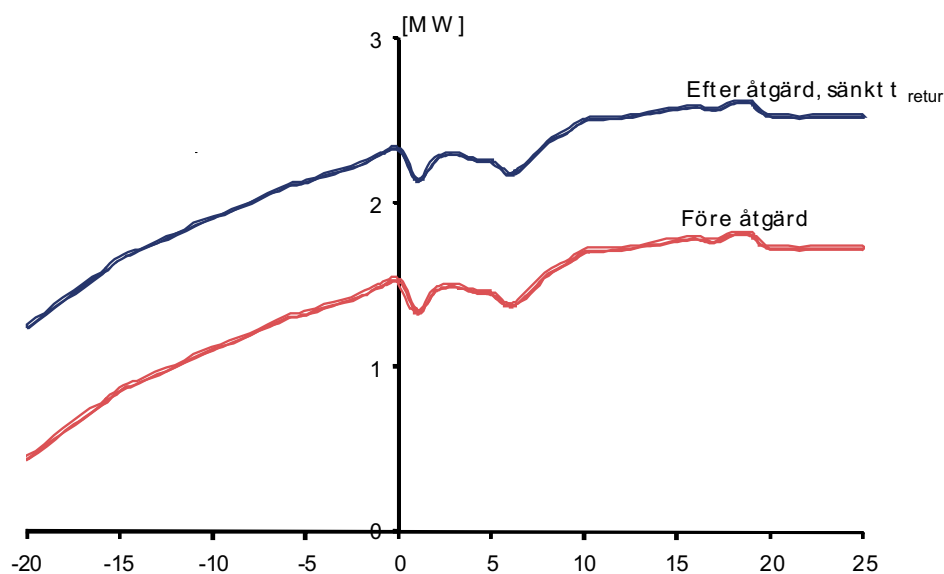
Analysresultat - Produktion

Produktionen i Skövde påverkas av distributionsbegränsningar samt förhöjda fram- och returledningstemperaturer. Detta inverkar på produktionen genom att man får en något dyrare produktionsmix genom instängningseffekter, minskad elproduktion och reducerad effekt på rökgaskondenseringarna. I analysen genomfördes sedan tänkta åtgärder hos kunderna för sänkt returtemperaturen, vilket beräknades ge en sänkning med mellan 3-8 grader i olika nätdelar. Detta i sin tur gjorde det möjligt till viss sänkning av framledningstemperaturen med bibehållen eller något förstärkt överföringskapacitet. Från figur 5 framgår effekten på rökgaskondenseringen i avfallsförbränningen före och efter att de sämsta kunderna åtgärdats i den östra delen av nätet.

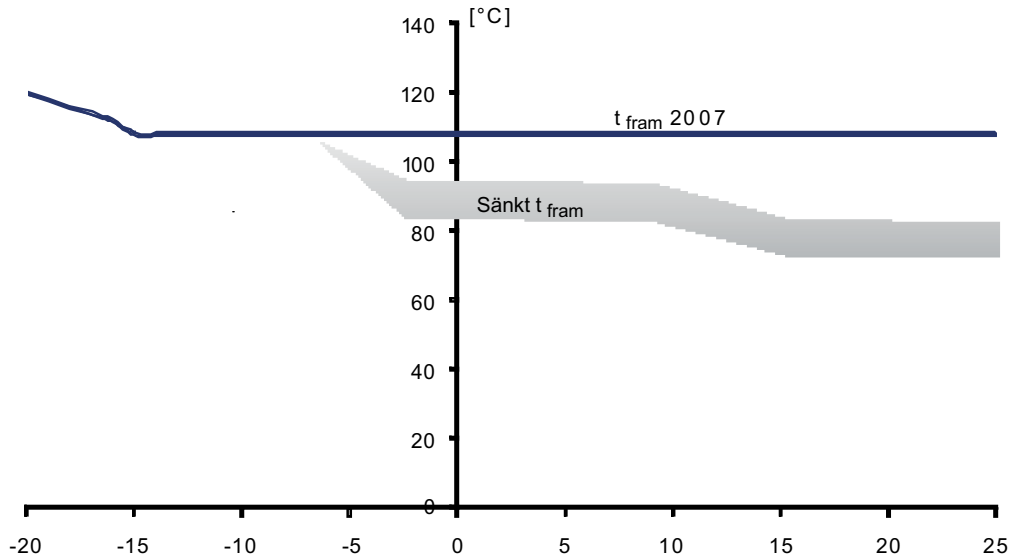
De sänkta returtemperaturerna ökar effekten i rökgaskondenseringarna. Värdet av detta beräknades med produktionsmodellen för Skövde till 1,9 Mkr/år.

När framledningstemperaturen sedan kan sänkas, se figur 6 nästa sida, kan elutbytet i turbinen ökas. Sänkningen av framledningstemperaturen begränsas dock av kundernas krav på tappvarmvattentemperatur, varför sänkningen antas bli begränsad nedåt till som lägst 65°C. I figuren visas det intervall som kunde beräknas som möjligt från produktionsmodellen. För att alltid ha tillräcklig överföringskapacitet väljer man den övre linjen i intervallet.

På grund av speciella förhållanden i dimensioneringen av panna och turbin har det gjorts vissa förenklingar vid beräkningen av värdet av den ökade elproduktionen. Det årliga värdet av sänkt framledningstemperatur beräknas med ovanstående reservation till ca 0,4 Mkr/år.



Figur 5: Rökgaskondenseringseffekt på avfallsförbränningen, före och efter åtgärder på de sämst fungerande kunderna i östra delen av nätet.



Figur 6: Möjligt intervall för framledningstemperatur före och efter sänkt returtemperatur.

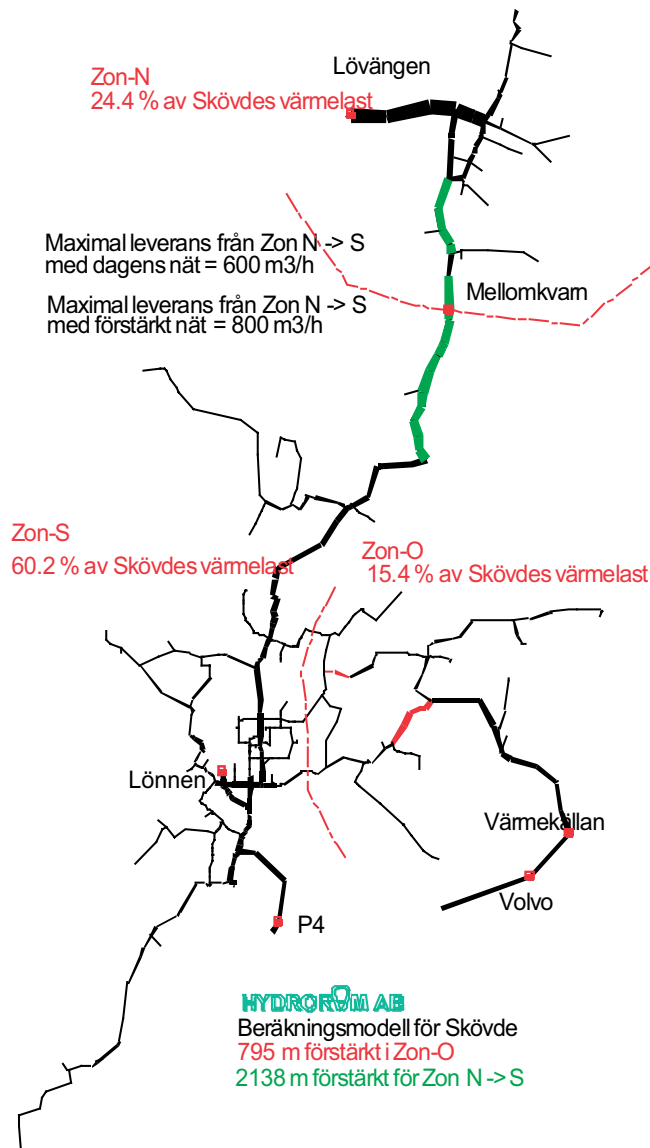
Produktionsmodellen har också använts för att identifiera i vilka närdelar som det, för systemet, ger störst nytta att förbättra avkylningen hos kunderna. Se vidare Analysresultat – distribution nedan. Under projektet gång förstärktes nätet inom den södra delen av nätet. Även den ekonomiska nyttan med detta beräknades med produktionsmodellen, vilket dock inte redovisas i denna rapport.

Analysresultat – Distribution

Simuleringarna med distributionsmodellen indikerade två kraftiga distributionsbegränsningar. Dels söderut från Lövängen via pumpstationen Mellomkvarn, dels från Värme-källan till systemets huvudstam. Begränsningarna har historiska orsaker och förklarar varför man i Skövde i vissa utetemperaturintervall har högre framledningstemperaturer än brukligt.

Efter inledande simuleringar delades nätet upp i tre zoner som särskiljs av distributionsbegränsningar, se figur 7. Efter detta sker en första kommunikation med kund- och produktionsmodellerna. Det är viktigt för den samverkande analysen att samtliga modeller har samma zonindelning och med distributionsmodellen kan man identifiera zonernas geografiska utsträckning samt zonernas andel av det totala värmelastbehovet. Returinformation från kundmodellen är en skattad returtemperatur för varje zon. Därefter utförs simuleringar vid varje utetemperaturgrad från -20 till +20 °C för leverans i olika riktningar över zongränserna. Detta för att identifiera begränsningarna i flöde som funktion av utetemperatur. Beräkningarna utfördes med och utan förstärkningar i de svaga partierna för att få exempelfall i Martes-modellen.

I diskussionerna om var i systemet det skulle göra störst nytta att förbättra funktionen i fjärrvärmecentralerna formulerades en metod som innebar att ett ”hål” motsvarande ett Kvs-värde på 100 flyttades runt i olika zoner i PFC-modellen. Detta för att exemplifiera inverkan av felfungerande fjärrvärmecentraler och för att på basis av detta



Figur 7: Zon-indelning i PFC-modellen.

identifiera den zon med den största systemnyttan av förbättringar i FC. Beräkningarna visade att systemnyttan (beräknades med produktionsmodellen) var störst av förbättrade FC i den södra delen av nätet, tätt följd av den östra delen. Nyttan av att förbättra fjärrvärmecentralerna i norra zonen var dock betydligt lägre. Orsaken till att nyttan var störst i den södra nätdelen beror på att hålet där försämrade överföringen från norr till syd vilket medför att man vid vissa tidpunkter får starta olja onödigt tidigt, då den södra delen är den punkt som har lägst differenstryck i nätet. I fallet med hålet i norr så flödar mer vatten till returen genom hålet, men i detta fall så klarar Lövängen av att leverera flödet (nästan ingen begränsning), men man tappar större effekt i rökgaskondensorn (Lövängen) än i sydfallet.

Tabell 2: Uppskattat Kvs-värde för samtliga FC i Skövdes fjärrvärmenät.

Effektintervall Skövde	Antal	Antaget 2007	
		Medel Kvs	Summa Kvs
2,0 - MW	5	100	500
1,0-1,99 MW	14	45	630
0,6-0,99 MW	26	35	910
0,3-0,59 MW	68	25	1700
0,1-0,29 MW	160	15	2400
30-99 kW	198	7	1386
Under 30 kW	528	3	1584
	999	Totalt:	9110

Indelningen i olika effektklasser har tidigare visat sig praktisk då man kan välja att arbeta med effektbegränsande åtgärder i utvalda klasser. T ex kan man välja att konsekvent bearbeta alla 19 FC med en effekt större än 1,0 MW.

Zonernas överkonsumtionslistor för vinterperioden visar att det finns ca 10 fjärrvärmecentraler som har stor generell inverkan på flöde och returtemperatur i nätet. Två av dessa finns i norra delen och fyra vardera södra och östra delen.

Analysen visar vidare att t.ex. för mars 2008 på en total avkylning för fjärrvärmecentralerna på 63,9°C.

Som ett räkneexempel kan nämnas att om man i Skövde förbättrar avkylningen i de 10 mest påverkande FC till uppsatt målvärde i överkonsumtionslistan, så kommer hela nätets returtemperatur sänkas med drygt 4°C! Detta visar på betydelsen av att välja ut rätt anläggningar för åtgärder. Inga detaljanalyser har gjorts för dessa 10 FC, men då det ofta är en kombination av komponentutbyten och injusteringar som krävs så kan det vara rimligt att anta en genomsnittskostnad på 300-500 kSEK per FC.

ISAC-Analys används här för att studera de utvalda FC som behöver åtgärdas. Det gäller då t.ex. bedömning av försmutningsgrad i befintliga VVX eller bedömning av vad som kan vara en rimlig nivå på förväntad prestanda i en specifik fastighet. Det kan också gälla att dimensionera en ny FC för utbyte av en gammal anläggning. Dimensioneringen gäller främst val av storlek på komponenter som värmeväxlare och styrventiler.

Enligt ovan finns reglerventiler installerade med ett totalt Kvs-värde på ca 9100, se tabell 2. En förväntad möjlighet att påverka storleken på dessa reglerventiler är vanligen i storleksordningen 50% för större FC. På basis av tidigare erfarenheter bedömer vi att ett Kvs-värde på minst 3500 bör kunna byggas bort ur fjärrvärmenätet. Om man t ex väljer att förändra de antagna ventilstorlekarna för de FC som har en dimensionerande effekt på 1 MW eller mer bedömer vi att en nettoreduktion i Kvs-värde på mer än 600 uppnås. Kostnaden för utbyte av de ca 50 ventiler som krävs för denna Kvs-minskning bedöms totalt till ca 700 kSEK. Största nyttan att byta ventilerna är enligt ovan i den södra och östra delen av nätet.

Om en Kvs-minskning på 3500 fullt ut genomförs i hela nätet resulterar detta i att:

- Nätets flödesvariationer påtagligt dämpas inom dygnet
- Nätets effektvariationer påtagligt dämpas inom dygnet
- Nätets maximala effektbehov vid dimensionerande utomhustemperatur kommer

- att minska med 5-10% jfr dagens läge
- Ett minskat behov av pumpkapacitet och möjlighet till sänkta styrande differensstryck
- Kraftigt förkortad återhämtningstid vid störningar som kallproppar och flödesbortfall

Differenstrycksanalys

I projektet har också gjorts en känslighetsanalys med varierande differensstryck för några varianter av FC som är vanligt förekommande i svenska fjärrvärmesystem. Förenklat har beräkningarna, som gjorts med ISAC-Analys, resulterat i följande:

1. Som utgångspunkt har vi valt en ”typisk” framledningskurva med 110°C som maximal temperatur och differensstryck 1,5 bar, samt därefter dimensionerat bästa möjliga val av reglerventiler för värme och tappvarmvatten.
2. Om vi med samma förutsättningar ökar differensstrycket till 3 bar resulterar det i att de dimensionerade reglerventilerna enbart behöver ca 75% Kvs-värde jämfört med 1,5 bar fallet.
3. Om vi med samma förutsättningar ökar differensstrycket till 4,5 bar resulterar det i att de dimensionerade reglerventilerna bara behöver ca 50% Kvs-värde jämfört med utgångsfallet.

För reglerventilen som ska styra tappvarmvattentemperaturen skulle det innebära för de tre fallen att Kvs-värdena blir ungefär 2,5, 1,6 respektive 1,0. För en enskild FC kan tyckas att det är oväsentligt med de små skillnaderna, men sammantaget för t ex 10 st FC blir det en betydande skillnad i vilken pumpkapacitet som krävs vid distributionspumparna för att hantera flödesvariationerna.

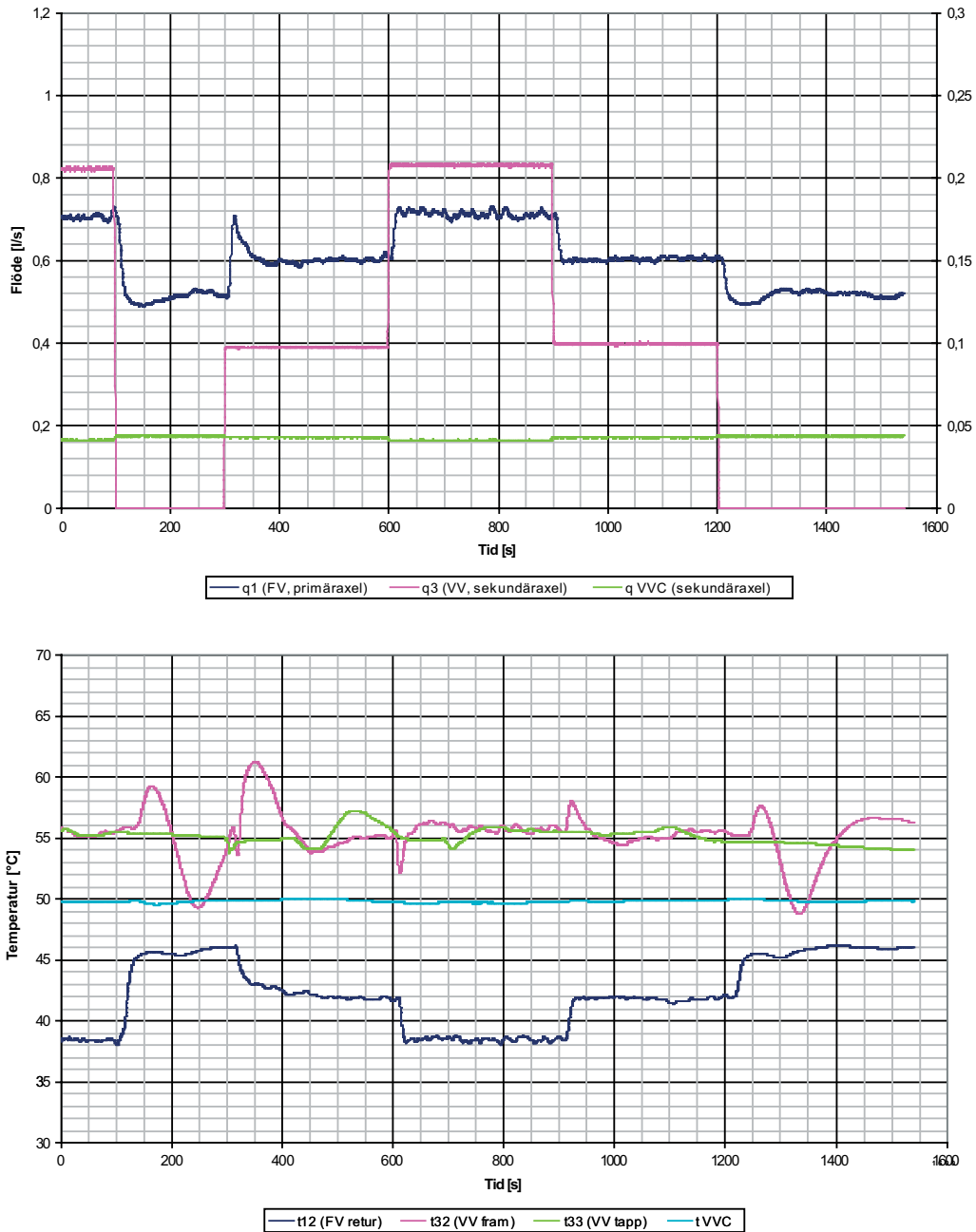
Beräkningsexemplet visar betydelsen av att förse FC med korrekta styrventiler som är anpassade efter ett områdes differensstryck. Också distributionssystemets utformning och drift påverkar FC. I flera stora system (t ex Göteborg och Stockholm) utnyttjas näten så hårt att FC utsätts differensstryck upp mot 10 bar trots att de är dimensionerade för ca 6 bars differensstryck. Att förstärka dessa system så att FC får differensstryck enligt dimensioneringarna skulle innebära investeringar i storleksordningen hundratals miljoner kr för enskilda nät. Det är därför mycket intressant att studera och utveckla FC så att de klarar höga differensstryck med bibehållen prestanda och funktion.

I fjärrvärmesystem uppstår det flödesvariationer eftersom kundernas lastuttag varierar under dygnet och med olika utomhustemperaturer. Flödesvariationerna blir extra påtagliga när anläggningar startas efter en ”nattsänkning”. I dessa situationer öppnar ofta styrventiler helt till den maximala kapaciteten. Som tidigare diskuterats så kommer många överdimensionerade styrventiler då att tillsammans skapa för höga flöden som i sin tur ger upphov till kraftiga tryckfall på olika ställen i nätet. Det uppstår då en konkurrenssituation i olika nätdelar om tillgängligt flöde. Det här skapar också variationer i tillgängligt differensstryck på olika platser.

Detta är välkänt och skapar ibland situationer som innebär försämrade komfort för kunder. De vanligaste felanmälningarna är ”oljud från styrventilerna” eller ”pendlingar

på tappvarmvatten eller värmesystem”. Oljud från styrventilerna förorsakas vanligen av för högt differenstryck. En enkel åtgärd är byta styrventil och ändra Kvs-värde, så att ventilen får en annan arbetspunkt. Om denna åtgärd inte fungerar kan man välja att begränsa det höga differenstrycket med hjälp av en differenstrycksregulator. Om styrventilerna pendlar beror det oftast på en för låg ventilauktoritet (ventilen är överdimensionerad) eller att differenstrycket är instabilt och varierar för mycket. Omvänt kan vi konstatera att om vi har minimala lastvariationer och minimal avvikelse i differenstryck från dimensionerad nivå, så skapas bra förutsättningar för god prestanda i fjärrvärmecentraler.

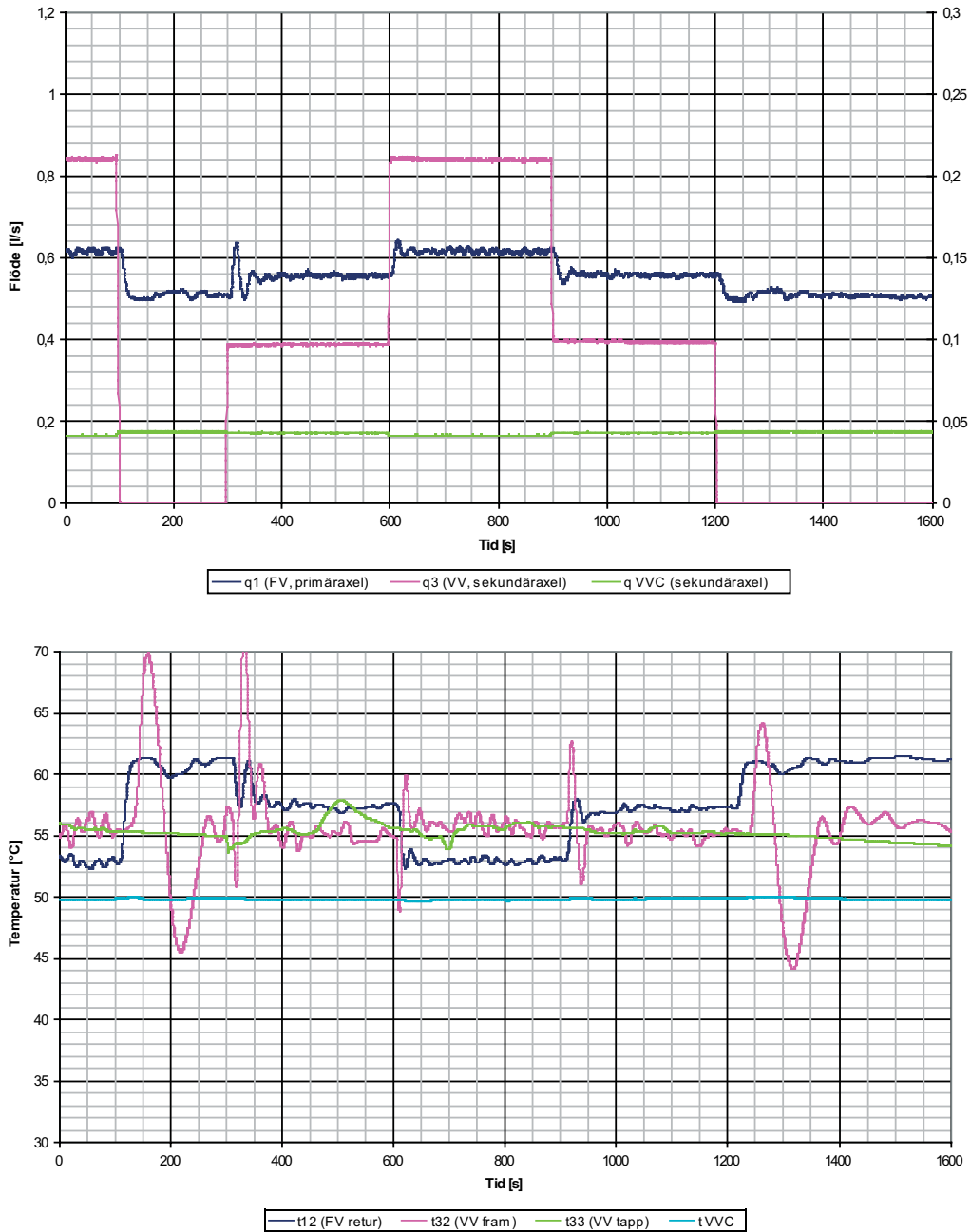
Ett exempel på detta visas i figur 8 och 9, se nästa uppslag. Dessa visar resultaten från en nyligen genomförd och godkänd provning av fjärrvärmecentral NordIQ Xpert-S enligt Svensk Fjärrvärmes provning vid SP i Borås, [8].



Figur 8: Övre diagrammet: Tappvarmvattenflöde (röd kurva) i en fjärrvärmecentral vid "sommardrift" med en framledningstemperatur på 65°C och ett differenstryck på 0,150 MPa.

Undre diagrammet: Tappvarmvattentemperaturens (röd kurva) variation kring börvärdet 55°C.

I figur 8 visas först hur ett tappvarmvattenflöde (röd kurva) belastar en fjärrvärmecentral vid "sommardrift" med en framledningstemperatur på 65°C och ett differenstryck på 0,150 MPa. I det undre diagrammet kan man då se hur tappvarmvattentemperaturen (röd kurva) varierar kring börvärdet 55°C.



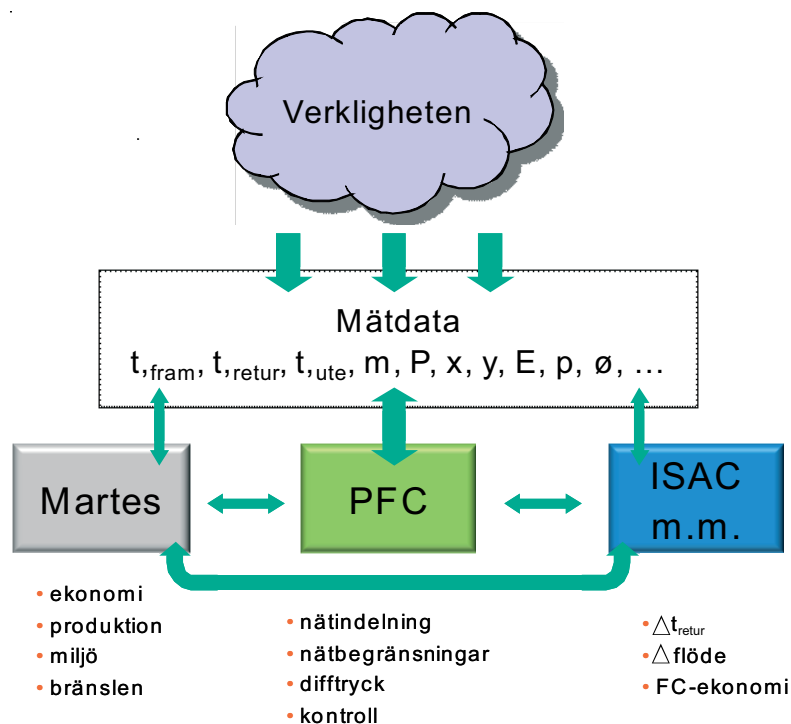
Figur 9: Övre diagrammet: Tappvarmvattenflöde (röd kurva) i en fjärrvärmecentral vid "vinterdrift" med en framledningstemperatur på 100°C och ett differenstryck på 0,800 MPa. Undre diagrammet: Tappvarmvattentemperaturens (röd kurva) variation kring börvärdet 55°C.

I figur 9 visas sedan hur samma tappvarmvattenflöde belastar fjärrvärmecentralen vid "vinterdrift". Framledningstemperaturen är då 100°C och differenstrycket är 0,800 MPa. Som väntat pendlar tappvarmvattentemperaturen betydligt mer i detta fall. Om framledningstemperaturen hade varit 120°C hade amplituden på pendlingarna varit ännu större.

Resultat – Metodik

Arbetet med att bygga upp modellerna och analysera utfallen har skett enligt stegen nedan. Se figur 10.

1. *Insamling av data* för alla tre delsystemen. Se vidare avsnittet om indatainsamling.
2. *Analys och värdering av data*. Här har bland annat ingått att kontrollera om olika källor gav samma uppgifter och om värdena var realistiska.
3. *Dataanpassning* för modellerna. I flera fall hade data t.ex. annan enhet än vad som användes i modellerna, varför flera värden fick anpassas till önskat format.
4. *Inmatning* av data i analysmodellerna.
5. *Validering och kalibrering av modellresultat* för respektive delsystem. Efter en första beräkning i modellerna kontrollerades utfallen mot mätdata för att identifiera eventuella fel eller mindre bra beskrivningar i modellerna. Detta upprepades tills dessa att utfallen från modellerna med tillräcklig bra precision beskrev situationen för Skövde 2008.
6. *Åtgärder - FC*. Därefter inleddes arbetet med att göra förändringar med målsättning att minska kostnaderna för det totala systemet. Förändringarna inleddes med att göra åtgärder hos de kunder som med hålanalys och överkonsumtionslistor hade identifierats som de kunder som gav störst nytta för det totala systemet. Nyttan med att åtgärda kunderna beräknades sedan i produktionsmodellen.
7. *Åtgärder - distributionssystemet*. Som ett alternativt till punkt 6 beräknades hur motsvarande nytta skulle kunna uppnås genom förändringar i distributionssystemet. Utfallet i punkt 7 ställs mot punkt 6 för största möjliga nytta till minsta möjliga kostnad.



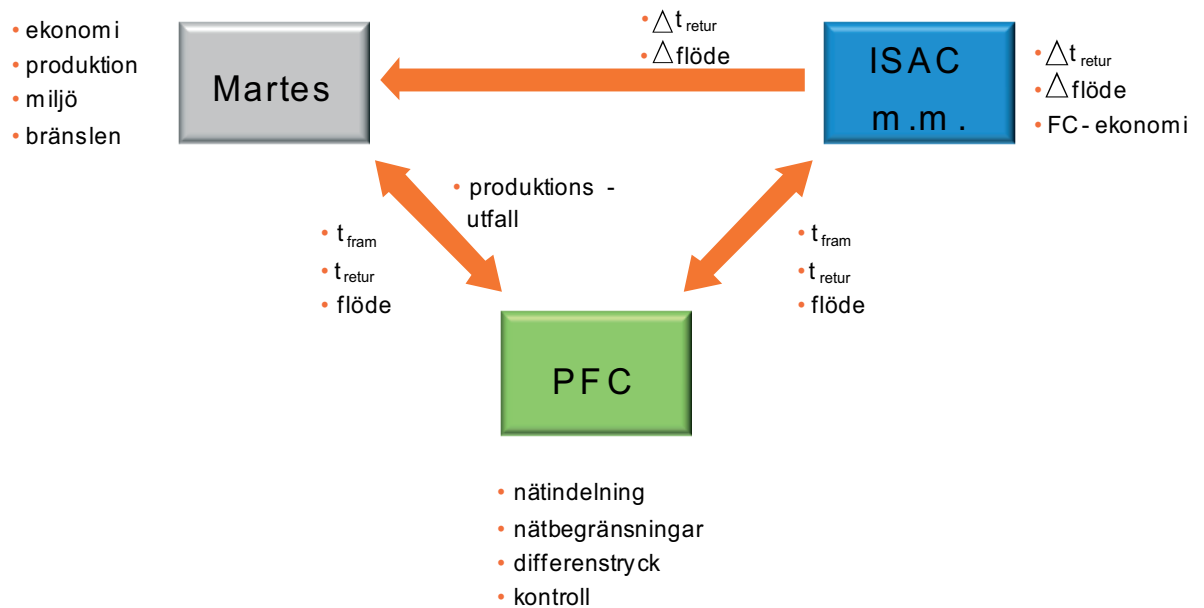
Figur 10: Metodik för att analysera det totala fjärrvärmesystemet

Generellt har produktionsmodellen använts för att beräkna produktionsekonomi, vilket utgör den helt dominerande *rörliga* kostnaden i det totala systemet. Kostnader för värmeförluster och pumpenergi beräknas i distributionsmodellen, men dessa är ofta mindre jämfört med att kunna producera på bästa sätt.

Distributionsmodellen har varit ett verktyg för att identifiera lämplig zonindelning i analysen, beskriva av nätbegränsningarna mellan zonerna, beräkna och kontrollera differensstryck i olika delar av nätet samt för kontroll av realismen i utfallen från produktion och kunder. Modellen var också den del av analysen som krävde mest arbete med att beskriva indata.

FC-analysen används för att bedöma rimlig potential för temperatur- respektive flödesförbättringar i systemet och vid enskilda FC. Analysen ger också detaljinformation om vilka anläggningar som skapar systemstörningar samt ett underlag för beräkning av kostnaderna för kundåtgärderna.

En detaljerad beskrivning av hur modellerna samverkar framgår av figur 11 nedan.



Figur 11: Kommunicerade data mellan modellerna

DISKUSSION OCH SLUTSATSER

I projektet formulerade vi inledningsvis hypotesen att analysen av det totala fjärrvärme-systemet (produktion, distribution och kundcentraler) kan kommuniceras via utomhus-temperaturen. Vi anser att vi genom tillämpningen i Skövde har kunnat bekräfta att vår hypotes var korrekt. Detta innebär att det är möjligt med vår valda tidsupplösning (dag/natt) att göra en totaloptimering av fjärrvärmesystem med avseende på produktion, distribution och även fjärrvärmecentraler. För högre tidsupplösning (timmar) är dessutom dygnsvariationen en viktig faktor som bör beaktas.

I arbetet med att analysera Skövde utformade vi även en metod för att identifiera vilka felfungerande FC som ur det totala systemets synpunkt är lönsammast att åtgärda. Metoden innebar att ett tänkt hål (eller kortslutning) flyttades runt mellan olika nätde-lar för att få ett värde på var hålet gjorde störst skada (eller nytta om man använde ett negativt hål, dvs förbättring). Denna hålanalys visade sig vara ett mycket arbetseffektivt sätt att identifiera var åtgärderna bland FC gjorde störst nytta.

Vi har också under projektet kunnat konstatera att arbetet med samla in data och sätta upp modellerna kan vara arbetskrävande i de fall som uppgifterna inte är enkelt tillgängliga. I många företag finns dock numera de nödvändiga uppgifterna ofta sam-lade på ett strukturerat sätt och det är inte heller ovanligt att modeller för produktion, distribution och FC redan finns tillgängliga. I dessa fall bedöms det praktiska arbetet att komma igång med samverkande analys som mindre. Detta gäller även i det fall där man satt upp metodiken och sedan behöver uppdatera modellerna.

Dock är metodiken kompetenskrävande genom att den kräver något djupare insikter i produktion, distribution och fjärrvärmecentraler. I vårt fall löste vi detta genom sam-verkan mellan tre specialiserade konsulter. Ute på företagen behöver troligtvis arbetet organiseras på motsvarande sätt genom att man samlar olika kompetenser i projekt-form. Detta kan i en del fall innebära en extra svårighet genom att det kräver kommu-nikation över organisatoriska systemgränser, men detta kan också ses som en möjlighet som ger möjlighet till en gemensam fokus syn på systemet, vilket i förlängningen bör innebära en större hänsyn och samverkan mellan delområdena, [9].

Huvudresultatet från de två tidigare samverkansprojekten var att produktions- och distributionsmodeller mycket väl kan samverka via enbart flöde och temperaturer som funktion av utetemperaturen, förutsatte att modellerna är samstämmiga i avseende på energi/effekt i behandlade zoner. Metoden medförde att man i distributions- eller produktionsanalyser kan ta en viss hänsyn till respektive område utan att vara insatt i alla detaljfrågor. Detta anser vi gäller även när analysen vidgats till att omfatta även FC.

Analysmetoden för samverkande produktion och distribution fick ett stort genom-slag i bland annat analys av Göteborgs och Stockholms fjärrvärmesystem och vi har förhoppningen att utvidgning av metodiken skall kunna implementeras hos fler använ-dare. Liksom förra projektet ser vi framför oss att modellerna kommer att anpassas på basis av de erfarenheter vi gjort inom projektet.

FORTSATTA ARBETEN

Dygnsvariationernas betydelse i ett fjärrvärmesystem är inte försumbara. För att analysera dessa krävs att även klockslag ingår i analysen. Detta analyserades bara delvis i projektet, framförallt i diskussioner. Dygnsvariationerna kommer dock att kräva än mer detaljer både i modellerna och i indata för att möjliggöra en samverkande analys med samma precision.

I projektet hade vi förhållandevis stora problem med att samla in data, speciellt för kund- och distributionsmodellerna. Detta föder frågan kring möjligheten till någon form av standardisering av systeminformationen från fjärrvärmesystemen. Detta skulle medföra snabbare och exaktare analyser.

Att skapa *en* modell som inkluderar produktion, distribution och fjärrvärmecentralen förefaller dock ur vårt perspektiv betydligt mer komplicerat och kompetenskrävande än att låta de tre systemen representeras av tre modeller där resultaten kommuniceras via användarna (eller arbetsgruppen). Att beräkningarna inte till alla delar sker internt i en totalmodell bedöms också ge bättre kvalitet i utfallet genom att varje utfallet från varje beräkningsdel bedöms och hanteras av användarna.

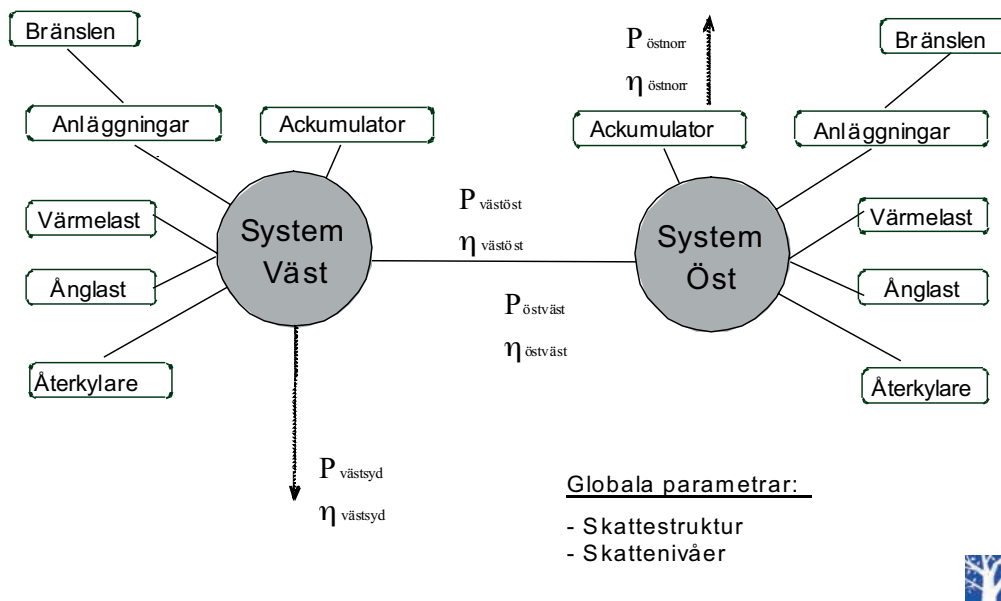
BILAGA 1: MERA OM MODELLERNA

Martes

Martesmodellen är ett analysinstrument för frågor kring fjärrvärmeproduktion med ett tidsperspektiv mellan någon vecka till flera år. Exempel på frågeställningar är investeringsanalys, budgetberäkningar, bränsleinköp och lagerhållning, korta och långa elbalanser, skatteanalys. Beräkningarna sker för ett eller flera år, med en tidsindelning på 730 beräkningssteg per år (året indelat i dag/natt-perioder). Alternativt kan beräkningen ske på timbasis med 8760 beräkningssteg. Modellen har i många hänseenden en flexibel detaljeringsgrad, vilket innebär att detaljeringsgraden hos olika beräkningsparametrar styrs av de frågeställningar man önskar analysera.

Indataparametrar

Indatabehovet framgår schematiskt av figur 12 nedan.



Figur 12: Schematisk struktur av Martes-programmet.

Beräkningsalgoritm

Modellen finns med både simulerande och optimerande algoritm. I detta projekt har använts den simulerande algoritmen, eftersom komplexiteten i det studerade systemet kan karakteriseras som medelkomplex och den simulerande algoritmen i detta fall kan tillräckligt väl kan identifiera merparten av de möjliga driftfallen.

Beräkningsalgoritmen i Martes kan beskrivas som en enperiodmodell för analys av ett helt år eller valfri period. Enperiodmodell innebär att beräkningen i varje tidssteg hanteras separat, så när som på ackumulatorn som knyter ihop flera tidssteg. Modellen kan därigenom inte automatsikt hantera villkor som sträcker sig över flera tidssteg, såsom volymkrav på bränslen eller utsläpps begränsningar i absoluta tal (t.ex. ton/år).

Den simulerande algoritmen använder en strategi för att identifiera driftfallen i respektive tidssteg som innebär att anläggningarna producerar i kostnadsordning, dvs den

billigaste anläggningen används först och därefter den näst billigaste osv till behovet är täckt. Denna grundstrategi är kompletterad med ett antal avvikelser av vilka några är:

- Minlastvillkor, som innebär att anläggningen inte får producera från 0 MW last utan från angiven minlast till och maxlast.
- Prioritering, vilket innebär användaren kan bestämma anläggningarnas driftordning utan hänsyn till produktionskostnaden.
- Ackumulator, vilket innebär att värme kan flyttas mellan olika tidssteg med en given strategi. Ackumulatorn har i modellen två funktioner: lastutjämning och otillgänglighetshantering. Lastutjämningen innebär ackumulatorn arbetar mot ett flytande medelvärde av lasten och laddar i de fall som aktuell last ligger under det flytande medelvärdet och laddar ur när lasten ligger över det flytande medelvärdet. Med otillgänglighetshanteringen kan programmet styras så att om specificerade anläggningar är otillgängliga skall först ackumulatorn tömmas enligt vissa villkor.

Den optimerande algoritmen är en linjär programmerings modell (LP) med kontinuerliga heltalsvariabler. Målfunktionen är att i varje beräkningssteg minimera den totala produktionskostnaden inklusive produktionsintäkterna.

De indataparametrar i simulerande Martes som är direkt/indirekt påverkas av distributionen och i förlängningen av fjärrvärmeanläggningarna redovisas nedan. I modellen har detta beroende lösts genom att parametern antingen är en funktion av datum eller en anläggnings last.

- Distributionsförlust vid leverans, [% ~ $f(\text{datum})$].
- Distributionsförlust vid export/import mellan system, [% ~ $f(\text{datum})$].
- Överföringskapaciteten mellan system, [MW ~ $f(\text{datum})$].
- De flesta ackumulatoregenskaperna.
- Utmatningsbegränsningar från anläggningarna, [MW ~ $f(\text{datum})$].
- Reducerad effekt, [% ~ $f(\text{datum})$].
- Elkvoten, [% ~ $f(\text{pannlast})$].
- Värmefaktor, [Φ ~ $f(\text{datum})$].

Resultatstruktur

Resultaten från modellen är indelat i Energi, Utsläpp och Ekonomi. Nedan ges några exempel på resultat från respektive grupp:

Energi

- Max effektbehov, [MW per månad]
- Drift- & utnyttjningstid, [h]
- Tillförda bränslen, [GWh / månad]
- Produktion per produktionsslag, [GWh/månad och anläggning]

Utsläpp

- Utsläpp per produktionsslag, [ton/månad och anläggning]

Ekonomi [Mkr]

- Fasta intäkter
 - Eleffektvärde
 - Leveransintäkt
 - Återbetalning industrileverans
- Rörliga intäkter
 - Elintäkt
 - Leveransintäkt
 - Nätavgift
- Fasta kostnader
 - Kapitalkostnad
 - Fast omkostnad
 - Eleffektkostnad
- Rörliga kostnader
 - Omkostnader
 - Start/stopp-kostnad
 - Nätavgift
- Bränsle- och elkostnader
- Energiskatter
- CO₂-skatter
- Miljöavgifter
- Återbetalning av miljöavgifter
- Kostnadsmedelvärden

PFC

PFC-modellen är utvecklad för simulering av inkompressibel rörströmning i komplexa system med stationära och dynamiska förlopp. Detta innebär att många olika typer av system kan simuleras, t.ex. fjärrdistributionssystem, tryckavlopp, bränslesystem och bläckstråleskrivare.

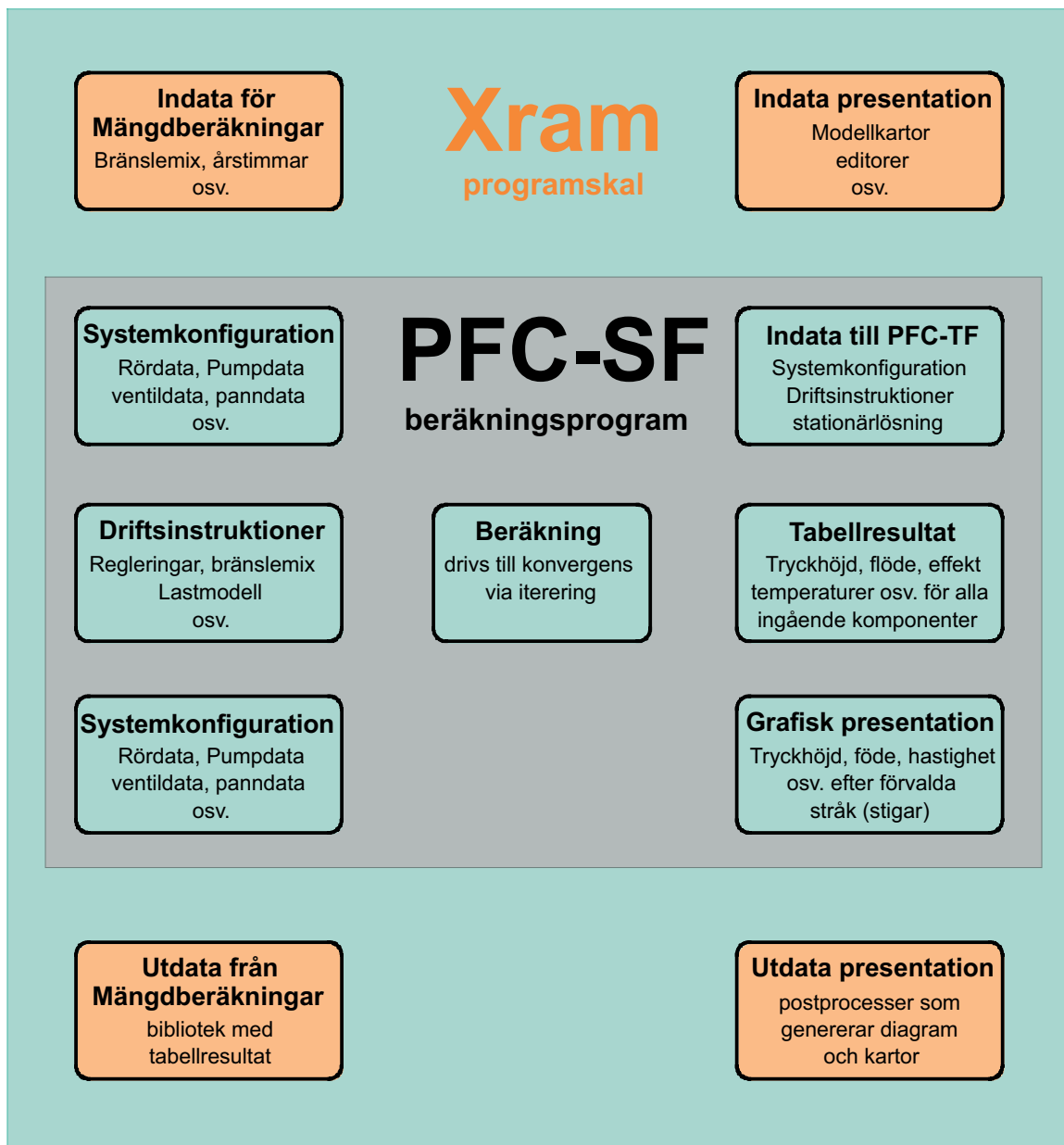
Programmen innehåller dock många komponenter och beräkningsmöjligheter som är direkt anpassade för fjärrvärme- och fjärrkyladistribution och används för att analysera och åskådliggöra hydrauliska driftsbetingelser i distributionssystem vid både normala och onormala driftsfall. Programmets fördel ligger i att det kan hantera de flesta komplexa situationer och hanterar även transienta förlopp i mycket komplexa rörsystem.

Xram är ett skal till PFC-modellen för presentation av indata och resultat samt för administration av större beräkningar, se figur 13. Skalet är också anpassat för att underlätta kommunikation mot produktionsmodellen i projektet. Xram är ett spinnoff-resultat från SvF-projektet ”Samverkande produktion och distribution”.

Programmet är ursprungligen framtaget Bror-Arne Gustafson och distribueras idag av HydroRam AB.

Beräkningsalgoritm

Beräkningen som ger en stationär tryck- och flödessituation, utförs i princip som i en beräkning av transienta förlopp, från ett stillastående starttillstånd. Pumpar som antingen går på ett fast eller reglerat varvtal kommer via tryckvågor att dra igång flödena i systemet så att pannor, abonnenter osv. kan börja arbeta. När tryckvågor och regler-svängningar ebbat ut infinder sig en stationär lösning. Denna konvergens anses uppnådd när inga flödes och tryckförändringar, större än uppsatta toleranser, sker mellan två iterationer. Fördelen med denna metod jämfört med hur andra program vanligtvis räknar, är att beräkningen blir okänslig för ringmatningar och klarar av sektioneringar. Nackdelen är ett något större behov av datorkapacitet. Andra programs beräkningsprincip är vanligtvis att beräkna strömningsförluster baklänges från distributionsnätets ansatta ytterpunkt. Användaren av ett sådant program får definiera en ytterpunkt och ange ett differenstryck för denna. Programmet räknar ut erforderligt differenstryck i produktionsanläggningen. Användaren av PFC-SF (stationärt förlopp) beskriver nät-pumpningen i form av varvtal eller reglerdirektiv. Programmet räknar ut differenstryck till nät och ytterpunkter.



Figur 13: Schematisk struktur av Xram / PFC.

Indata

Indata är uppdelad i systemkomponenter och driftsinstruktioner vilka beskrivs i separata filer i text format. Systemkonfigurationen innebär fysiska mått, konstruktionstyp och nominella prestanda för de komponenter som modellen är uppbyggd av. Driftsfunktionerna innehåller driftsparametrar i form av funktioner (vanligtvis som funktion av utetemperatur), beskrivningar för reglering av pumpar och ventiler samt förvalda driftsfall och körsätt.

Systemkomponenter

Rör	Längd, diameter, Skrovlighet, E-modul, Godstjocklek, Isolerförmåga
Kunder	Nominella data för värme-/kyllast, differens-temperatur, differenstryck
Pumpar	Prestandakurvor för uppfodring, effekt, NPSH
Pannor	Prestanda och flödeskapacitet
Värmeväxlare	Prestanda anpassat för uppmätta värden
Ventiler	Flödeskapacitet
Backventiler	Flödeskapacitet
Specialkomponenter t.ex. systemgränser, expansionskärl, oändliga rör osv.	

Driftsinstruktioner

Uppbyggnaden av PFC-SF's driftsinstruktioner är så upplagd att valfria funktioner kan styras av tre grundparametrar, x_1 , x_2 och x_3 . Vid simulering av fjärrvärme utnyttjas normalt två av grundparametrarna som utetemperatur och klockslag. Värmelastbehov och returtemperatur beskrivs som funktion av både utetemperatur och klockslag. Övriga driftsparametrar t.ex. bränsemix framtemperatur, pumpstyrningar, beskrivs som funktion av utetemperaturen.

På detta vis kan ett stort antal driftsvariabler styras på ett enkelt sätt.

Vissa driftsätt avviker dock så mycket från den normala driften att ytterligare val måste till för att en rimlig drift skall kunna simuleras. Detta kan t.ex. gälla för sektioneringar som delar upp nätet i flera nät och därmed påverkar reglerstrategin. Detta görs antingen genom att utnyttja den tredje grundparametern eller att beskriva flera driftsätt, vilket blir ytterligare interaktiva val för användaren.

I en mängdberäkning kan ett godtyckligt antal beräkningar utföras med godtyckliga driftsvillkor. Detta beskrivs i en separat fil.

Resultat

Huvudresultatet består av tryckhöjd, flöde och temperatur i alla definierade punkter. Därutöver kan data erhållas enligt nedan..

Tabellresultat

Rör	Strömningshastighet, tryckfall.
Lastpunkter	Framtemperatur, differenstemperatur, differenstryck, öppningsgrad, effekt.
Pannor	Effekt, differenstryck, flödeskapacitet (varierar vid shuntning).
Pumpar	Varvtal, uppfodring, axeleffekt, hydraulisk verkningsgrad, NPSH, flödestal, motoreffekt, div verkningsgrader, motorvarvtal.
Ventiler	Läge, flödeskapacitet, differenstryck, marginal mot chocking.
System	Rörlängd, rörvolym, hydraulisk effektbalans, total produktion och värmelast.

Vid mängdberäkningar sparas allt resultat och sorteras komponentvis, vilket innebär att man erhåller resultat som visar hur en enskild panna, pump eller ventil har arbetat vid alla beräknande driftsfall.

Fjärrvärmecentralverktögen

Fjärrvärmecentralen (FC) har flera viktiga uppgifter i ett fjärrvärmesystem:

- Leverera nivån och stabiliteten på den **komfort** som kunden förväntar sig att få. Detta sker genom inställda börvärden i styr- och reglerutrustningar, men påverkas av hur väl de ingående komponenterna samverkar. Komforten kan även påverkas av de olika värmeväxlarnas (VXX) termiska prestandamen också till en del även av fjärrvärmesystemets differenstryck och framledningstemperatur samt funktionen i fastighetens egna värmebärarsystem.
- Styra **energiuttaget** till fastigheten på det sätt som kunden önskar och som godkänns av energileverantören. Detta sker främst genom inställda börvärden som styr köpet av energi.
- Leverera nivån på vilken **primär avkylning** som kan uppnås. Även detta avgörs genom inställda börvärden samt fastighetens beteende, men även av vilka termiska prestanda som VXX har.
- **Hydrauliskt separera** fjärrvärmesystemet från respektive fastighets egna värmebärarsystem.

För att möjliggöra en så gynnsam drift som möjligt hela fjärrvärmesystemet (= produktion och distribution) är målet att alla fjärrvärmecentraler sköter komfortuppgiften och energiuttaget så stabilt som möjligt samt att den primära avkylning blir så stor som möjligt.

För att då kunna värdera funktionen i ett fjärrvärmesystems enskilda kundanläggningar har vi använt oss av följande verktyg:

- Överkonsumtionsberäkning
- Kvs-korrigerigering av styrventiler
- ISAC Analys, simulerings- och dimensioneringsprogram av FC.


I en **överkonsumtionsberäkning** anges vilken ”extravolym” vatten som passerat genom FC:n på grund av att anläggningens avkylning varit lägre än ett uppställt riktvärde (= mål). För en FC som når samma avkylning som det uppställda riktvärdet för perioden blir överkonsumtionen 0 m³.

Överkonsumtionslistor används främst i syfte att kunna påverka ett fjärrvärmenäts temperaturnivåer. Den *förbättrade avkylningen* möjliggör bättre utnyttjande av **produktion** (rökgaskylare, värmepumpar, spillvärme etc), minskade värmeförluster och ett minskat pumpbehov. Den sista faktorn kan vara av stor betydelse vid t ex överföring i ”trånga” nätavsnitt.

Överkonsumtionsberäkningen används vanligen med månadsvärden som tidsbas. Nödvändiga indata för berörda FC är:

- Energi [MWh]
- Volym [m³]
- FC-nr

Tabell 3: Exempel överkonsumtionslista. Norra zonen mars 2008.

		<table border="1"> <tr> <td>Aktuel framledn.</td> <td>115,0 °C</td> <td>Ber. retur</td> <td>55,2 °C</td> </tr> <tr> <td>Mål:</td> <td>68 °C</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Medelkyllning:</td> <td>59,8 °C</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			Aktuel framledn.	115,0 °C	Ber. retur	55,2 °C	Mål:	68 °C			Medelkyllning:	59,8 °C			Skövde FC - Norr
Aktuel framledn.	115,0 °C	Ber. retur	55,2 °C														
Mål:	68 °C																
Medelkyllning:	59,8 °C																
Abonnentnr	Adress	Namn	Energi [MWh]	dT [°C]	Volym [m ³]	Överkonsumtion											
1000185000	Lövängsvägen 1	Västfastigheter	2300	47	42968	13 197 m ³											
1040005405	Knottvägen	Myggans Samfällighetsför	201	39	4519	1 921 m ³											
1070006307	Steneldsvägen	Nyckelpigans Samf .för .	236	59	3517	458 m ³											
1030005100	Flugvägen	Flugans Samfällighetsför	157	58	2379	345 m ³											
2010002703	Mellomkvamsvägen 1	Emst Björstig AB	71	53	1179	258 m ³											
1060007000	Gullhönevägen	Bokmalens Samf förening	60	53	999	218 m ³											
1010007407	Myggdansvägen 1	Tekniska Kontoret	48	55	767	145 m ³											
1050017704	Steneldsvägen	Nyckelpigans Samf .för .	88	62	1245	107 m ³											
1140002104	Timmervägen 17	Magni Bygg & Fastigheter	132	65	1778	74 m ³											
1190001808	Västra Skogsrovägen 1	Tema Ingenjörfirman AB	58	62	824	71 m ³											
2023029602	Handelsvägen 1	Björkholm Bil AB	18	55	293	56 m ³											
2020000804	Mellomkvamsvägen 2	Bilä Personbilar AB	272	67	3561	44 m ³											
1003598600	Fjärrvärmvägen 2	PLS-Produkter AB	20	62	289	25 m ³											
1010088700	Myggdansvägen 3	Ortodoxa Föreningen	6	62	82	7 m ³											
1080004607	Barkvägen 35	Tekniska Kontoret	18	66	246	7 m ³											

- FC-adress
- Önskat avkylningsmål som önskas uppnås i distributionsnätet.

Indata som därutöver förbättrar resultatens användbarhet är:

- FC-anläggningsnamn
- FC-kundnr
- Ev. delområde i fjärrvärmenätet
- Kundkategori
- Framledningstemperatur [°C].

Som exempel se tabell 3.

Resultat

Överkonsumtionslistor används främst regelbundet på månadsbasis. De avslöjar då vilken påverkan varje enskild FC har på den sammanlagda **avkylningen** i ett fjärrvärmenät. Observera att det inte är självklart att den anläggning som har lägst avkylning dT som får störst överkonsumtion.

Sammanställningar kan även göras för t ex olika kundkategorier, kunder eller olika geografiska områden i fjärrvärmenätet.

Sammanställningarna utgör en prioriteringslista som underlättar beslut om vilka fjärrvärmecentraler som är mest angelägna att förbättra eller åtgärda fel i. Erfarenheten har också visat att anläggningar med stor överkonsumtion inte bara har bristfällig avkylning, utan ofta även har en potential för minskat energiuttag och förbättrad komfort. **Reduceringen av Kvs-värden på styrventiler** syftar främst till en effektivisering av distributionen. Avsikten är att få ett mer lättreglerat fjärrvärmenät med mindre flödespendingar. Reducerade flödespendingar leder också till att morgonlasten kan dämpas (minimeras) och endast motsvarar verkligt effektbehov.

Vid en analys av ett fjärrvärmenäts samlade Kvs-värde för alla styrventiler skapar man först en sammanställning som skattar värden i FC enligt tabell 4 på nästa sida:

Tabell 4: Uppskattade Kvs-värden för Skövdes FC

Effektintervall	Antal	Medel Kvs	Summa Kvs
2,0 - MW	5	100	500
1,0-1,99 MW	14	45	630
0,6-0,99 MW	25	35	875
0,3-0,59 MW	65	25	1625
0,1-0,29 MW	150	15	2250
30-99 kW	165	7	1155
Under 30 kW	512	3	1536
	936	Totalt:	8571

Utifrån kriterier som enskilda fjärrvärmecentralers geografiska placering i nätet och effektstorlek kan enskilda anläggningar väljas ut för kontroll och eventuell korrigerig av styrventilerna Kvs-värde. I kombination med överkonsumtionslistan kan insatserna även ske i strategiskt utvalda områden eller i FC med hög överkonsumtion/felfunktioner.

Alla ventiler är av betydelse varför både värme- och tappvarmvattenkretsar ska kontrolleras. Efter inventering på plats och analys av fastighetens verkliga effektbehov dimensioneras korrekta ventilstorlekar utifrån verkliga fjärrvärmeförutsättningar (framledningstemperatur och differenstryck). För detta arbete använder vi ISAC Analys, simulering- och dimensioneringsprogram av FC.

Arbeten med förändring av fjärrvärmenäts Kvs-värde sker främst i syfte att begränsa fjärrvärmecentralers möjlighet till orimligt överuttag av flöde under korta perioder (< timmar). Insatserna innebär då först en dämpning av effektbehov i enskilda FC, men sedan även sammanlagrat i hela fjärrvärmenätet.

REFERENSER

- [1] Johnsson, J., Rossing, O. (2003). Samverkande produktions- och distributionsanalys. Stockholm, Svensk Fjärrvärme. (FoU-rapport; 2003:123)
- [2] Johnsson, J., Rossing, O. (2005). Samverkande produktions- och distributionsanalys. Stockholm, Svensk Fjärrvärme. (FoU-rapport; 2003:83)
- [3] Werner, S. Överkonsumtionslistor : avkylningsprojekt-1991/92. Borås Energi.
- [4] Walletun, H. Överkonsumtionslistor : intern metodutveckling. Nyköping, ZW Energiteknik.
- [5] Forslund, C., Walletun, H. Kvs-korrigerig av styrventiler : intern metodutveckling. Gävle Energi/ZW Energiteknik.
- [6] Gummérus, Peter (1989). Analys av konventionella abonnentcentraler i fjärrvärmesystem. Diss. Göteborg. (Doktorsavhandlingar vid Chalmers tekniska högskola; Ny serie; 731)
- [7] Alsbjer, M., Provningsprotokoll enligt Svensk Fjärrvärmes tekniska bestämmelser, P801410A, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås, november 2008
- [8] Johnsson, J., Walletun, H. (2005). Grundläggande faktorer för lyckosamma avkylningsprojekt Stockholm, Svensk Fjärrvärme, (FoU-rapport 2005:137)



Fjärrsyn – forskning som stärker konkurrenskraften för fjärrvärme och fjärrkyla genom ökad kunskap om fjärrvärmens roll i klimatarbetet och för ett hållbart samhälle, till exempel genom att bana väg för affärsmässiga lösningar och framtida teknik. Programmet drivs av Svensk Fjärrvärme med stöd av Energimyndigheten. Mer information finns på www.svenskfjarvarme.se/fjarrsyn

PRODUKTION, DISTRIBUTION OCH KUNDCENTRALER

Inom driftoptimering är det viktigt att kunna analysera de tre samverkande systemen produktion, distribution och kundcentraler. Den här studien har utgått från hypotesen att en analys av det totala fjärrvärme-systemet produktion, distribution och kundcentraler kan kommuniceras via utomhustemperaturen.

Resultaten visar att det är möjligt med en vald tidsupplösning (dag/natt), att göra en totaloptimering av fjärrvärmesystem med avseende på produktion, distribution och fjärrvärmecentraler. För en högre tidsupplösning (timmar) måste man dessutom beakta dygnsvariationen.

Rapporten vänder sig till fjärrvärmebranschens driftchefer, drifttekniker och driftingenjörer. Men också till konsulter som arbetar med driftoptimering.

