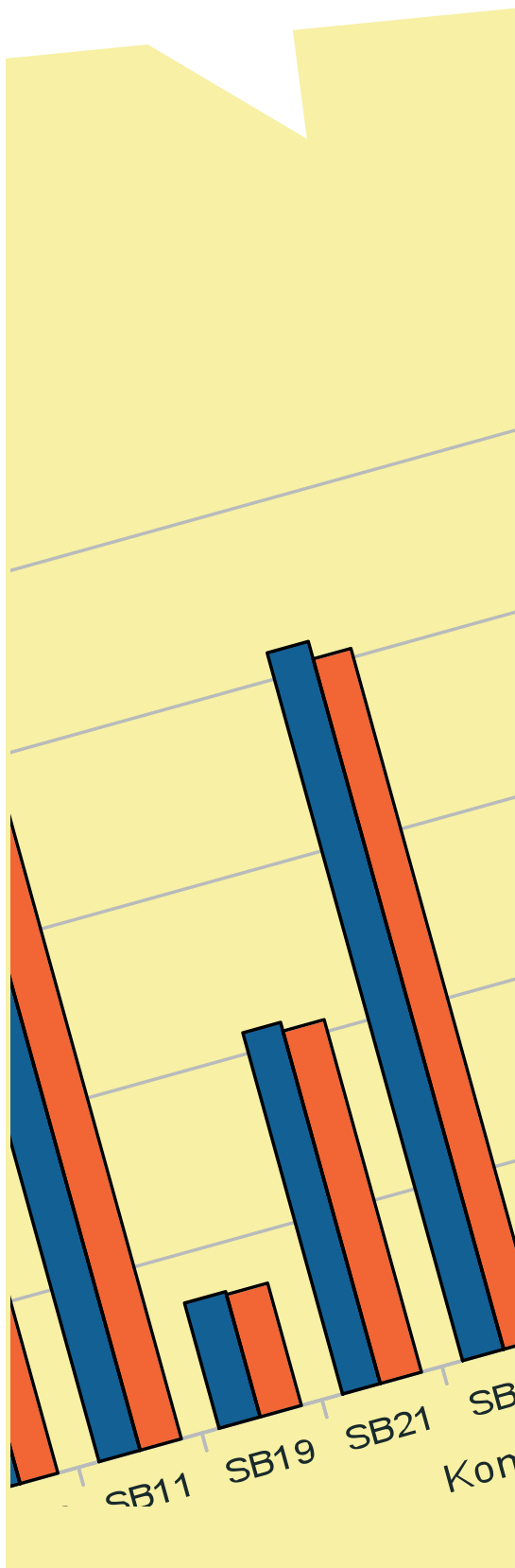
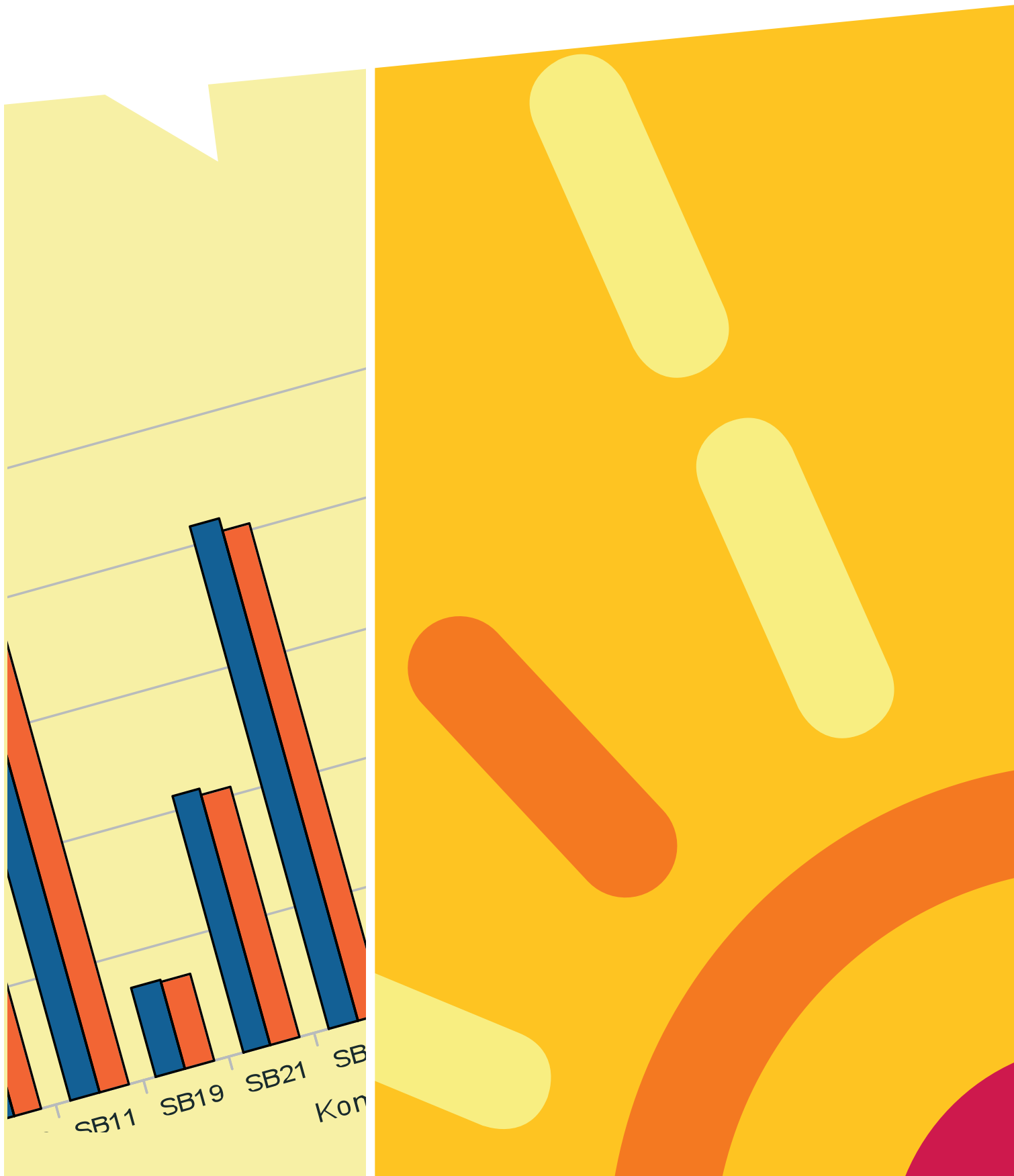


DYNAMISK FJÄRRVÄRMESIMULATOR

RAPPORT 2010:1



DYNAMISK FJÄRRVÄRMESIMULATOR

FÖRSTUDIE

CHRISTIAN JOHANSSON
FREDRIK WERNSTEDT

FÖRORD

Den här förstudien har haft syftet att jämföra simuleringsprogrammet DHEMIOS potential i förhållande till andra kommersiella verktyg på marknaden.

Simulering används regelbundet av fjärrvärmebolag som ett stöd i arbetet att optimera och förbättra den operativa och strategiska funktionaliteten inom ett fjärrvärmesystem. Normalt sett modellerar och simulerar man produktion, distribution och konsumtion var för sig. Det finns fördelar om man kan koppla samman dessa modeller.

DHEMIOS är ett simulatorsystem baserat på öppen källkod som syftar till att sammanfoga olika simuleringsmodeller för att uppnå en sådan systemövergripande översikt. Systemet är utvecklat inom ramen för tidigare forskning och har inom flera projekt använts som verktyg för att stödja utveckling av ny teknik.

Arbete har genomförts av doktorand Christian Johansson och handledare Fredrik Wernstedt, Blekinge Tekniska Högskola. Till projektet har en referensgrupp knutits bestående av en representant från teknikrådet, Peter Maksinen, Göteborg Energi och driftpersonal från Göteborg Energi.

Projektet ingår i forskningsprogrammet Fjärrsyn som finansieras av Svensk Fjärrvärme och Energimyndigheten. Fjärrsyns mål är att bland annat utveckla tekniken, driftoptimera fjärrvärme och fjärrkyla för att stärka konkurrenskraften genom en mer anpassad behovsstyrd forskning.

Eva-Katrin Lindman
Ordförande i Svensk Fjärrvärmes tekniskråd

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

SAMMANFATTNING

Simulering används regelbundet av fjärrvärmebolag som ett stöd i arbetet att optimera och förbättra den operativa och strategiska funktionaliteten inom fjärrvärmesystem. Normalt sett modellerar och simulerar man produktion, distribution och konsumtion var för sig, men det finns även ofta flera fördelar om kopplar samman dessa modeller. DHEMOS är ett simulatorsystem baserat på öppen källkod som syftar till att sammanfoga olika simuleringsmodeller för att uppnå en sådan systemövergripande översikt. Detta simulatorsystem är utvecklat inom ramen för tidigare forskning och har inom flera projekt använts som verktyg för att stödja utveckling av ny teknik.

Syftet med denna förstudie är framförallt följande:

- utvärdera nuvarande status och kapacitet av DHEMOS
- genomföra en jämförelse mellan existerande kommersiella simulatorsystem och DHEMOS
- utvärdera framtida potential av DHEMOS och uppskatta arbetsinsatsen som krävs för att systemet skall kunna utgöra ett moget och användbart simuleringsverktyg för bransch, forskning och lärande.

Resultaten av studien visar att DHEMOS har en grundläggande förmåga att ”räkna rätt”, även om systemet saknar viktig funktionalitet som gör att det i nuläget inte kan anses moget att fullt ut jämföras med kommersiella alternativ. Dock uppvisar DHEMOS ett antal grundläggande designmässiga egenskaper som gör att systemet kan anses ha en berättigad potential inför framtiden.

Studien har genomförts i ett samarbetsprojekt mellan Blekinge Tekniska Högskola och Göteborg Energi. Simuleringsresultat från Ale-nätet i Göteborg har använts för att genomföra jämförelsestudien.

SUMMARY

Simulation techniques are regularly used by district heating companies as a support system when optimizing and improving the operational and strategic functionality within a district heating system. Normally the simulation models regarding production, distribution and consumption are handled separately, but there are several benefits to be found by combining these models. DHEMOS is a simulation tool based on open source software which aims to join different simulation models in order to achieve such a system-wide overview. This simulation tool has been developed as part of previous research and has been used within several earlier projects as a support tool for new technologies.

The purpose of this pre-study is first and foremost to:

- evaluate the current status and capacity of DHEMOS
- carry out a comparison between existing commercial simulation systems and DHEMOS
- evaluate the future potential of DHEMOS and estimate the amount of work needed in order to make the system a mature and usable simulation tool for trade, research and learning.

The results from this study show that DHEMOS has a basic ability to "compute correctly", even though the present system lacks important functionality without which it cannot fully compete with commercial alternatives. However, DHEMOS does display a number of fundamental design characteristics which shows that the system has a legitimate potential for the future.

This pre-study has been a collaboration between Blekinge Institute of Technology and Göteborg Energi. Simulation results from the district heating network in Ale i Gothenburg has been used when comparing the systems.

INNEHÅLL

Förord	4
Sammanfattning	5
Summary	6
1 Inledning	8
2 Syfte, metod och mål	9
3 Simulering av fjärrvärmesystem	10
4 DHEMOS	12
4.1 Bakgrund	12
4.2 Analysmetodik	12
4.3 Agentbaserad systemdesign	13
4.4 Öppen källkod	14
5 Genomförande och analys	16
5.1 Ale-nätet	16
5.2 Resultat	16
5.3 Funktionalitet	21
5.4 Användargränssnitt	23
6 Diskussion	29
7 Slutsatser	31
8 Framtida arbete	33
8.1 Version 0.1	33
8.2 Version 0.1	33
8.3 Version 1.0	34
9 Referenser	36

1 INLEDNING

Om andra vetenskapliga metoder svarar på frågorna ”Vad hände, och hur, och varför?” så svarar simuleringsmetodiken på frågan ”Vad händer om...?”. Via simuleringar försöker man förutse och analysera komplexa förlopp och processer och studera dessa genom datoriserade verktyg. För vetenskapliga studier spelar detta en enormt viktig roll eftersom fullskaliga praktiska försök i många fall är väldigt dyrbara och omständliga att genomföra.

För en fjärrvärmeproducent är det viktigt att kunna förutse och beräkna förväntade produktionsbehov och i detta arbete används ofta simuleringsverktyg. Olika former av simuleringsmodeller används även i långsiktig strategisk planering exempelvis i samband med inköp av bränsle eller vid planering av utbyggnader och förändringar inom ett fjärrvärmenät. I samband med forskning är simuleringsmodeller ovärderliga för att utveckla och förfina nya tekniker och produkter, och utan dessa skulle ett i många fall oöverstigligt gap uppstå mellan teoretisk idé och produktionsfärdig teknologi. Inom allt slags lärande, från akademisk energiteori till utbildning av nya driftsingenjörer på ett fjärrvärmeverk, så kan pedagogiskt utformade simuleringsmodeller utgöra ett viktigt verktyg för att skapa ökad förståelse och insikt i de processer som studeras.

Problemet med många av befintliga simuleringsystem som normalt sett finns att tillgå är att modellerna för produktion, distribution och konsumtion är separerade i olika verktyg. Tidigare rapporter från Svensk Fjärrvärme har diskuterat fördelarna med att försöka kombinera dessa olika modeller för att få en systemövergripande insikt i ett givet fjärrvärmesystem (Johnsson et al, 2009). Många gånger, inte minst i samband med utveckling av ny teknik, finns det även behov av att kunna anpassa eller utöka funktionaliteten för olika komponenter inom en modell av ett fjärrvärmenät. På grund av licensavtal och sluten källkod är detta något som är svårt, och i många fall omöjligt, med kommersiell mjukvara.

DHEMOS är ett sedan tidigare påbörjat projekt för att utveckla en fri och öppen plattform för dynamisk simulering inom fjärrvärmenät. Denna rapport utvärderar detta befintliga projekt och skapar en bild av dess nuvarande status och kapacitet i förhållande till befintliga system. En viktig aspekt av DHEMOS är att systemet inte enbart är en simulator av de fysiska processerna inom fjärrvärmesystemet utan även utgör en plattform för agentbaserad simulering (Davidsson et al, 2005), vilket möjliggör exempelvis studier av modeller för tredjepartstillträde eller hur olika betalningsmodeller och prisstrategier påverkar kunders beteende.

2 SYFTE, METOD OCH MÅL

Studiens syfte är att utvärdera nuvarande status och kapacitet hos simulatorverktyget DHEMOS och att uppskatta detta systems potential för framtida bruk. Genom att jämföra DHEMOS med ett kommersiellt alternativ syftar studien till att bestämma nuvarande mognadsgrad på systemet och att uppskatta den ytterligare arbetsinsats som krävs för att DHEMOS i framtiden skall kunna anses moget att användas som ett fristående verktyg för bransch, forskning och lärande

För att realisera syfte och mål genomförs en kvantitativ jämförelseanalys med ett på marknaden tillgängligt verktyg för simulering av fjärrvärmesystem. Samma fjärrvärmenät kommer att modelleras i DHEMOS, och utdata genererad givet samma förutsättningar kommer att jämföras från de olika systemen. Resultaten från såväl jämförelsesystem och DHEMOS kommer att analyseras och presenteras. Det arbetsmaterial som används är dels data som Göteborg Energi tillhandahåller, och dels utdata från DHEMOS som löpande kommer att genereras under projektets gång i samband med simuleringsberäkningar.

Det konkreta målet med projektet är att simulera driftssituationer och att jämföra de beräknade värdena från DHEMOS med simuleringsresultat från befintliga system. Driftssituationen baseras på data från Ale-nätet i Göteborg.

En begränsning i studien är att simuleringsjämförelser gällande produktionsanalys inte kan genomföras. Detta beror på att produktions-specifika simuleringsmodellerna inte finns färdigutvecklade för DHEMOS. Resultatjämförelsen kommer därför att gälla distribution och konsumtion.

3 SIMULERING AV FJÄRRVÄRMESYSTEM

Simuleringar används inom en mängd sammanhang inom fjärrvärmetekniken. Allt från beräkningar av framtida produktionsbehov hos fjärrvärmeverk, akademisk forskning i samband med utvecklande av nya tekniker och produkter, till lärande inom kommersiell och akademisk utbildning. Simuleringsmodeller är något som används på många ställen inom fjärrvärmeindustrin, exempelvis när man planerar nybyggnation inom ett fjärrvärmenät och vill hitta de bästa sätten att dra nätet och för att analysera prestanda hos olika typer av komponenter. Andra exempel på användning av simuleringsteknik är i samband med operativ och strategisk produktionsplanering, där simulering används för att uppskatta produktionsbehovet i förhållande till väder och sociala laster.

I en artikel från år 2005 förutspås en ökad förmåga att optimera den operativa driften av fjärrvärmenät genom att sammanfoga realtids-data från övervakningssystem med simuleringsmodeller för att styra skarpare gentemot de fysiska begränsningarna inom fjärrvärmenätet (Östergaard, 2005). Artikeln nämner som exempel att detta leder till en ökad precision för att kontrollera temperaturen på framledningen. Rent generellt kan man säga att det är viktigt att minska skillnaden mellan mängden producerade energi och mängden såld energi, det vill säga att minimera energiförlusterna. Ett viktigt verktyg för att göra detta på en operativ nivå är simuleringssystem av olika slag, oavsett om det är hemmasnickrade modeller i MATLAB eller om det är kommersiella system av olika slag. Energiförluster uppstår i alla led från produktionsanläggningen i sig ut via distributionsnätet ända ut till kundens fjärrvärmecentral. När det gäller energiförluster inom distributionsnätet består dessa till största del av kostnader för tryckhållning och av värmeförluster från rören. Sverige är som fjärrvärmenation relativt moget och stamnäten är redan utbyggda i de flesta orter där fjärrvärme är aktuellt. Eftersom det är väldiga kostnader förknippade med att lägga nya rör, måste fokuset på många håll vara att arbeta med att optimera distributionen givet det rörsystem som redan ligger i marken. Ett sätt kan då exempelvis vara att försöka minska temperaturen på framledningen för att på så sätt minska förlusterna ut i marken. En generellt lägre temperatur i fjärrvärmenätet har även den positiva aspekten att den möjliggör ett förbättrat utnyttjande av biobränsle, spillvärme och andra lågkvalitativa energibärare inom värmeproduktionen.

I rapporten ”Öppnade fjärrvärmenät i Storstockholm” beskrivs ytterligare vikten av kompetenta simuleringssystem för framtidens fjärrvärmesystem (Dalroth, 2009). I denna rapport konstateras att nästa viktiga steg i utvecklingen mot ökad konkurrens inom svenska fjärrvärmenät är att utveckla lämpliga simuleringsverktyg som kan hantera de underliggande fysiska processerna i kombination med simulering av överliggande energihandel och prisstrategier. I rapporten konstateras att den typen av

verktyg är en förutsättning för att kunna gå vidare med praktiska försök för tredjepartstillträde.

När det gäller forskning och lärande är möjligheten att simulera ovärderlig. I de flesta fall finns det av ekonomiska och praktiska anledningar inte tillgång till fysiska system att arbeta gentemot. För att komma runt detta kan man modellera det studerade systemet i en dator för att sedan arbeta gentemot de simuleringsberäkningar som detta ger upphov till. I samband med simuleringsarbete brukar man särskilja mellan stationära simuleringar och dynamiska simuleringar. En stationär simulering är tidsberoende och tar sålunda inte hänsyn till förändringar över tid. Denna metodik används ofta för att utvärdera dimensioner av enskilda komponenter eller delar av fjärrvärmenät. En dynamiska simulering tar å sin sida hänsyn till tidsrelaterade effekter. Dynamisk simulering används exempelvis när man vill studera påverkan av reglerstrategier eller fallerande utrustning. Egentligen är tanken med simulering ganska grundläggande, att kunna studera sambandet mellan orsak och verkan utan att vara tvungen att realisera orsaken.

4 DHEMOS

DHEMOS är ett system för att simulera processer inom fjärrvärmesystem. Systemet är dynamiskt i den bemärkelsen att simuleringarna är tidsberoende och att resultatet av varje simuleringsslag är beroende av det föregående steget, och att all information löpande flyttas fram över tiden. DHEMOS kan även användas till stationära simuleringar, när man studerar driftssituationer som inte är tidsberoende. Oftast räcker det att använda stationära simuleringar, exempelvis som beslutsunderlag i samband med produktionsoptimering. Tanken med systemet är att det skall vara en plattform för att koppla samman olika ekvationsmodeller via ett gemensamt grafiskt gränssnitt.

4.1 Bakgrund

ABSINTHE (Agent-Based Monitoring and Control of District Heating Systems) startades 1999 på Blekinge Tekniska Högskola (BTH) av Professor Paul Davidsson och Dr. Fredrik Wernstedt som ett forskningsprojekt finansierat av VINNOVA och Cetetherm AB (Nuvarande Alfa Laval i Ronneby). I samband med detta projekt uppstod ett behov av en generell dynamisk mikronivå simulator för fjärrvärmenät som kunde hantera användaranpassade komponenter. Eftersom inga existerande alternativ fanns att tillgå så började de undersöka möjligheterna att utveckla dylik mjukvara internt på BTH. Detta utvecklade sig senare till ett självständigt projekt, bland annat finansierat av Blekinge Forskningsstiftelse. Projektet har till stor del byggt på forskning av Pall Valdimarsson (Valdimarsson, 1993) vad gäller det teoretiska resonemanget och på stöd och hjälp av Janusz Wollerstrand, Institutionen för Energivetenskaper, Lunds Tekniska Högskola, vad gäller de praktiska tillämpningarna.

Det befintliga systemet fungerar relativt bra och har använts för att genomföra dynamiska simuleringar av svenska fjärrvärmenät som del av tidigare forskning (Johansson et al, 2005). Den nuvarande simulatoren utgörs av ett projekt baserat på öppen källkod som leds av Christian Johansson, doktorand på BTH. Detta projekt kallas DHEMOS, och detta projekt har även en hemsida som naturligt nav för information och kommunikation (<http://www.dhemos.org>). Att basera projektet på öppen källkod är ett beslut som togs för att främja samarbete mellan olika forskargrupper i en strävan att uppnå en gemensam plattform för ett generellt simuleringssystem. Simulatoren i sig befinner sig nu i en sakta framåtskridande utvecklingsprocess baserat på ideellt arbete av medlemmarna i projektet. Projektet drivs i nuläget framför allt av Christian Johansson, BTH, och Eric Duminil, doktorand på Universitetet för Tillämpade Vetenskaper i Stuttgart.

4.2 Analysmetodik

Normalt sett delar man upp simuleringssmodeller av fjärrvärmenät i dels makroskopiska och dels mikroskopiska modeller. I makroskopiska analys så slår man ihop distributionsnät och alla konsumtionspunkter till en enda lastpunkt gentemot

produktionen. I vissa fall kan detta förfarande vara fullt tillräckligt, medan man vid andra tillfälle behöver ta hänsyn till den geografiska spridningen inom ett fjärrvärmenät. I dessa fall måste man utveckla en mikroskopiska modell av fjärrvärmenätet, där man kan studera olika komponenter. DHEMOS är framför allt byggd för mikroskopiska modeller, men det är fullt möjligt att göra makroskopiska analyser genom att tilldela lämpliga parametervärde till enskilda konsumtionspunkter och rör.

Analysen av fjärrvärmenätet bygger i grunden på graf-teori inom elektriska kretsar (Chua & Lin, 1975). Detta leder till att nätverket kan representeras genom olika former av matriser. Genom att systemet härigenom bygger på matris-teori får man tillgång till en mängd kraftfulla verktyg från algebran för att manipulera och beräkna innehållet i matriserna. Matrisberäkningarna bygger på Kirchoffs grundläggande lagar för elektriska strömmar och potentialfall som här omvandlas till att motsvara flöde och tryck inom ett fjärrvärmenät. Tryck och flöde är med andra ord sammankopplade i beräkningsmodellen som DHEMOS använder, vilket är nödvändigt då tryckfallet över ett rör är direkt proportionellt till flödet. Att hitta en dynamisk lösning över ett helt fjärrvärmenät kan i många fall vara tidsödande, men goda approximationer kan hittas genom att linjärisera ekvationerna. För detta använder DHEMOS en teori baserad på tidigare arbete inom hydrauliska analyser (Wood & Charles, 1972).

Beräkningarna av tryckfall i rören bygger på Darcys ekvation för inkompressibla fluider i rör. För att kunna lösa denna ekvation behöver man kontinuerligt räkna ut en friktionsfaktor för det givna röret. Denna friktionsfaktor är beroende av det aktuella flödet vilket i sin tur ger graden av turbulens i röret, vilket tillsammans med råheten av röret ger friktionsfaktorn. Normalt sett hämtar man ut denna faktor från ett så kallat Moody-diagram, men det går även att analytiskt beräkna faktorn med hjälp av Colebrooks ekvation. Detta är en iterativ ekvation och som sådan relativt beräkningsintensiv. För att minska beräkningsbehovet använder DHEMOS Swamee-Jain's ekvation för att approximera värdet av friktionsfaktorn. Denna metod ger goda värden som i sammanhanget kan anses fullt tillräckliga. Exempelvis ger osäkra värden på den aktuella råheten i rören upphov till större fel i beräkningen än vad skillnaden mellan Colebrook och Swamee-Jain i sig gör. För en mer ingående beskrivning av ekvationsmodeller hänvisas till tidigare arbeten (Wernstedt et al, 2003), (Johansson et al, 2005).

4.3 Agentbaserad systemdesign

En viktig aspekt av DHEMOS är att systemet är förberett för agentbaserad simulering. En agent kan i sammanhanget ses som ett autonomt datorprogram som kan agera självständigt eller tillsammans med andra agenter för att inom det givna systemet uppnå lokala, regionala eller globala mål. Varje komponent i DHEMOS kan kopplas till en agent. Detta betyder i praktiken att man kan koppla in ett extra lager av logik på dessa komponenter. Man kan exempelvis få en pump eller en ventil att dynamiskt reagera på ett visst sätt baserat på vad som händer runt omkring den, exempelvis när man vill studera bristsituationer eller mekaniska fel genom stokastisk

modellering av beteendet. En agent kan programmeras till godtycklig komplexitet, exempelvis om man vill koppla agenter till konsumentpunkter för att modellera och studera sociala aspekter i samband med påverkan av taxesättningar (Axelrod, 1997).

I tidigare forskning har vi beskrivit system som drar nytta av agentbaserad simulering med hjälp av DHEMOS (Johansson et al, 2005). Målet med DHEMOS var då att utgöra en simuleringsplattform för att utvärdera agentbaserad laststyrning inom fjärrvärmenät (Wernstedt et al, 2007). I dessa arbeten modellerades såväl en fastighets fysiska egenskaper som sociala aspekter som förbrukning av tappvatten med koppling till upplevt inomhusklimat. Målet var att studera möjligheterna att använda trögheten i fastigheternas energibalans som en samordnad effektbuffert för att optimera operativ produktionsplanering. En av de viktigare aspekterna av en sådan studie är att säkerställa att leverans kvaliteten av det upplevda inomhusklimatet, vilket på ett smidigt sätt kunde implementeras i systemet med hjälp av agentbaserad simulering.

4.4 Öppen källkod

Begreppet öppen källkod betyder att källkoden till systemet är tillgängligt för alla att använda eller vidareutveckla. Detta är en fördelaktig licensmodell när man vill sprida utvecklingsarbetet över flera olika aktörer, istället för att hålla det inom ramen för ett enda företag eller organisation av något slag. Att användaren inom sina egna projekt kunna verifiera funktionalitet genom tillgång till källkod, och att kunna vidareutveckla vid specifika behov utan att vara beroende på välviljan hos en programleverantör är viktiga aspekter av begreppet öppen källkod.

För DHEMOS del är det av största vikt att projektet arbetar med öppen källkod, eftersom detta möjliggör användandet av annan öppen källkod. Det blir exempelvis möjligt att infoga system såsom GSL och Octave i DHEMOS. Båda dessa system är mjukvarusystem för att lösa matematiska beräkningar. Genom att använda exempelvis dessa system får man tillgång till optimerade algoritmer för att utföra diverse beräkningar, vilket avlastar utvecklingsarbetet inom DHEMOS i stort. Att man som programvaruutvecklare undviker att uppfinna hjulet om och om igen är i allmänhet en av de största fördelarna med att använda öppen källkod.

Nackdelen, om det nu kan betecknas som en sådan, är att man inte kan ta betalt för programmet när man distribuerar det. Många projekt baserade på öppen källkod säljs, men då handlar det i regel om att man har paketerat systemet tillsammans med relevant dokumentation och att man säljer det hela som ett helhetspaket till kund. Ofta används även projekt baserade på öppen källkod flitigt av konsulter i olika roller, då systemet är möjligt att anpassa och modifiera efter behov. Att DHEMOS är baserat på öppen källkod säger egentligen bara att programmet i sig måste vara fritt tillgängligt. I övrigt läggs inga restriktioner på om systemet exempelvis används inom kommersiell verksamhet som verktyg i samband med konsultarbete.

Det kan i sammanhanget noteras att det i rapporten ”Öppnade fjärrvärmenät i Storstockholm” konstateras att simulatorsystem är nödvändigt för mer komplexa marknadslösningar som tredjepartstillträde och att dessa system måste vara sådana att

det är öppet för alla att verifiera funktionalitet och beräkningsmetodik (Dahlroth, 2009). I en marknadssituation där flera aktörer konkurrerar på samma marknad är det viktigt att systemen som används för beslutsunderlag inte gynnar vissa marknadsaktörer på bekostnad av andra. Att använda system baserade på öppen källkod ger denna efterfrågade transparens, och skulle samtidigt erbjuda möjlighet till kontinuerlig anpassning och vidareutveckling parallellt med att behov uppstår.

5 GENOMFÖRANDE OCH ANALYS

Det finns en rad simulatorsystem för olika aspekter av fjärrvärmesystem på marknaden. De system som främst används hos Göteborg Energi är system för analyser av distribution och strategisk produktionsoptimering. Distributionsanalys handlar om att studera fjärrvärmenätverket i förhållande till tryck, flöde och temperaturer. Verktyg för produktionsanalys används för att simulera produktionsprocesser över långa tidsperioder. DHEMOS är nuläget framför allt inriktat på att lösa beräkningar av distribution och konsumtion, även om systemet är förberett för att infoga mer avancerade modeller för produktion. Detta har gjort att det inte har varit meningsfullt att göra rena resultatjämförelser gällande produktionsanalys. Fokus för resultatanalysen har istället varit att jämföra beräkningar i relation till distribution och konsumtion.

Arbetet har haft sitt utgångsläge i den befintliga modell över Ale-nätet som är en del av Göteborg Energis fjärrvärmenät. I DHEMOS görs modelleringen genom att man bygger fjärrvärmenätet i en grafisk editor. I editorn finns en rad definierade komponenter som går att använda, och för alla dessa går det att anpassa dess egenskaper och karaktäristik för att motsvara den verkliga komponenten.

5.1 Ale-nätet

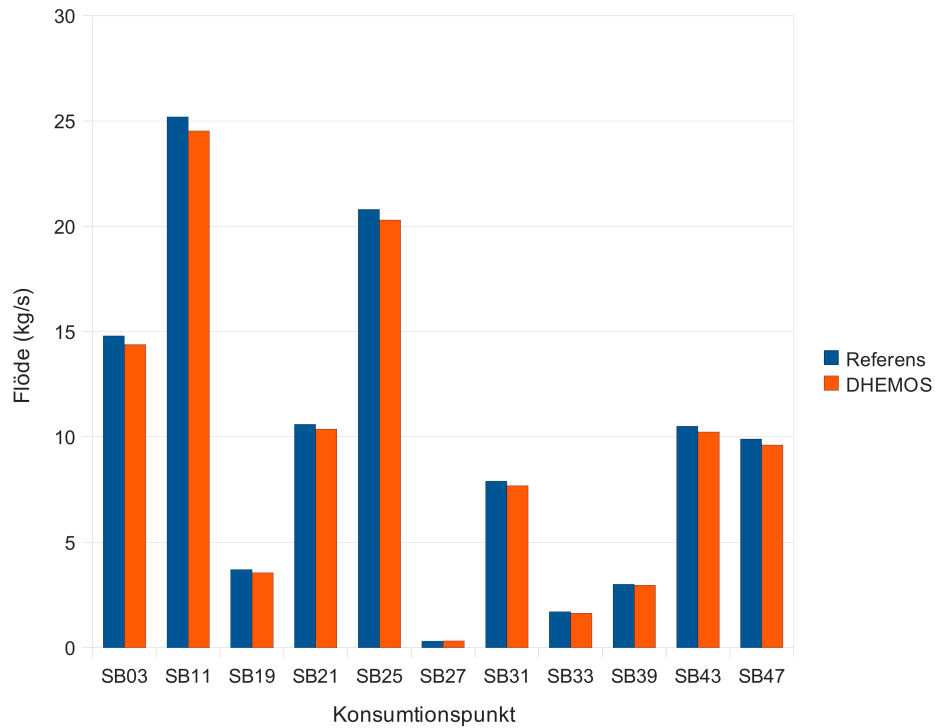
Som referensområde för denna förstudie användes Ale-nätet, vilket är en mindre och geografiskt avgränsad del av det totala fjärrvärmenät som Göteborg Energi driver. Detta nät finns sedan tidigare modellerat och data från tidigare simuleringar fanns tillgängliga vilket förenklade jämförelsen. För att modellera Ale-nätet i DHEMOS användes tillgängliga komponentuppgifter i kombination med översiktsskator över området.

Ale-nätet är något förenklat uppbyggt enligt en trädstruktur som påbörjas i söder vid Angered och som sedan går norrut och delar sig mot dels Kungälv och dels upp mot Heljered. De produktionspunkter som finns i Ale-nätet är Angered, Eka, Perstorp och Heljered. Angered är den punkt där Ale-nätet är sammankopplad med det övriga fjärrvärmenätet i Göteborg och i modellen räknas detta som den primära produktionspunkten eftersom flödet härifrån täcker det mesta av behovet inom Ale-nätet. De övriga produktionsanläggningarna består av Eka Spill, Perstorp och Heljered. I DHEMOS modelleras dessa tre anläggningar som tryck och temperaturhöjande produktionspunkter på den primära framledningen.

5.2 Resultat

För att kunna genomföra en simulering, och exempelvis beräkna flödet över ett fjärrvärmenät, så måste man veta flödet i åtminstone någon punkt för att ha detta som utgångsläge i beräkningen. I DHEMOS beräknas effektbehov i varje konsumtionspunkt vilket givet den aktuella temperaturen i framledningen kombinerat med karaktäristiken hos konsumtionspunktens fjärrvärmecentral ger upphov till ett

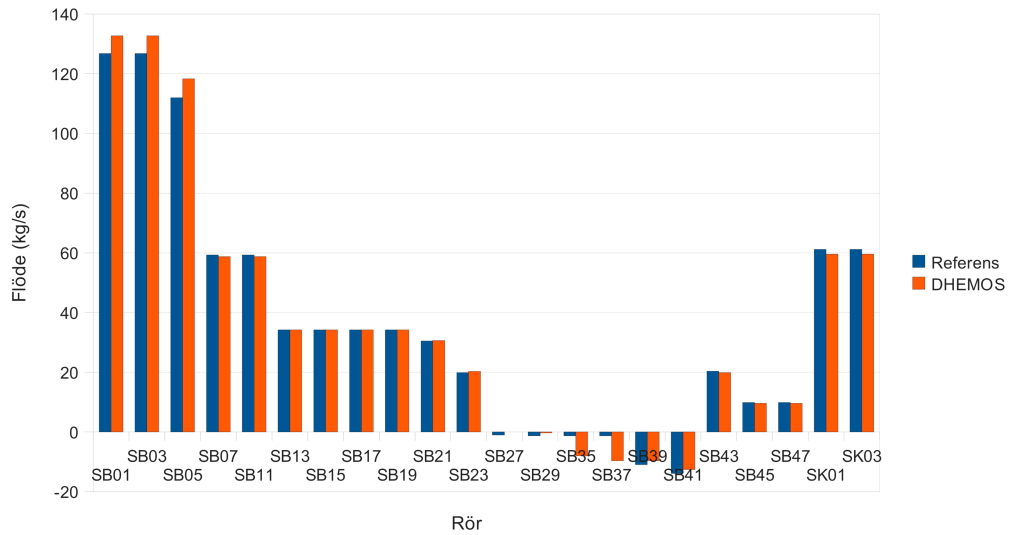
flödesbehov i just denna punkt. Dessa punkter av känt flöde används sedan som utgångspunkt för att beräkna flödessituationen i resterande nätverk.



Figur 1: Flöde vid konsumtionspunkter (-16C)

Figure 1: Massflow at consumption points (-16C)

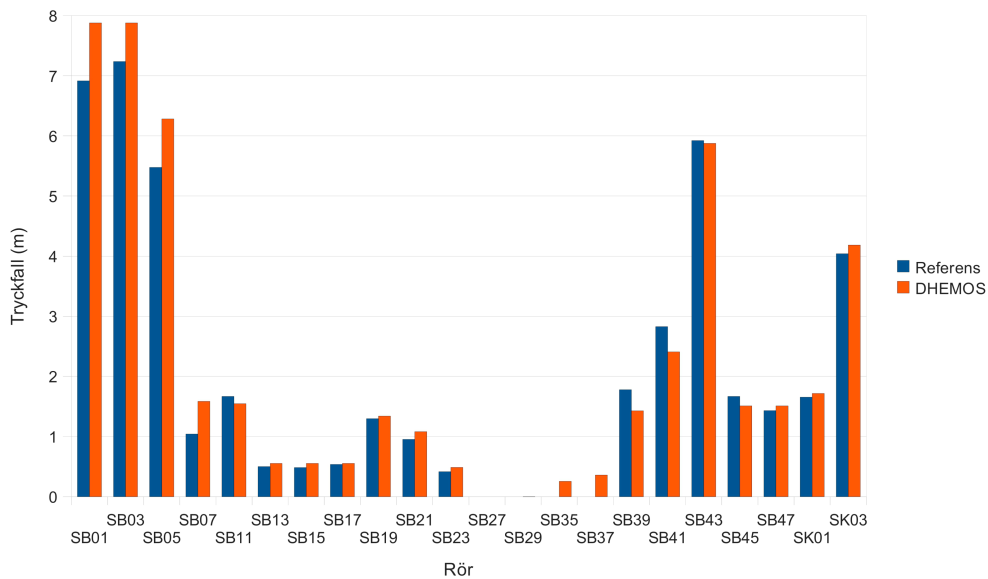
I Figur 1 kan man se flödesbehovet vid olika punkter för konsumtion beräknat av DHEMOS respektive av referenssystemet, och i Figur 2 visas den resulterande flödesbilden över Ale-nätet.



Figur 2: Flöde i rörsystemet (-16C)

Figure 2: Massflow in pipe system (-16C)

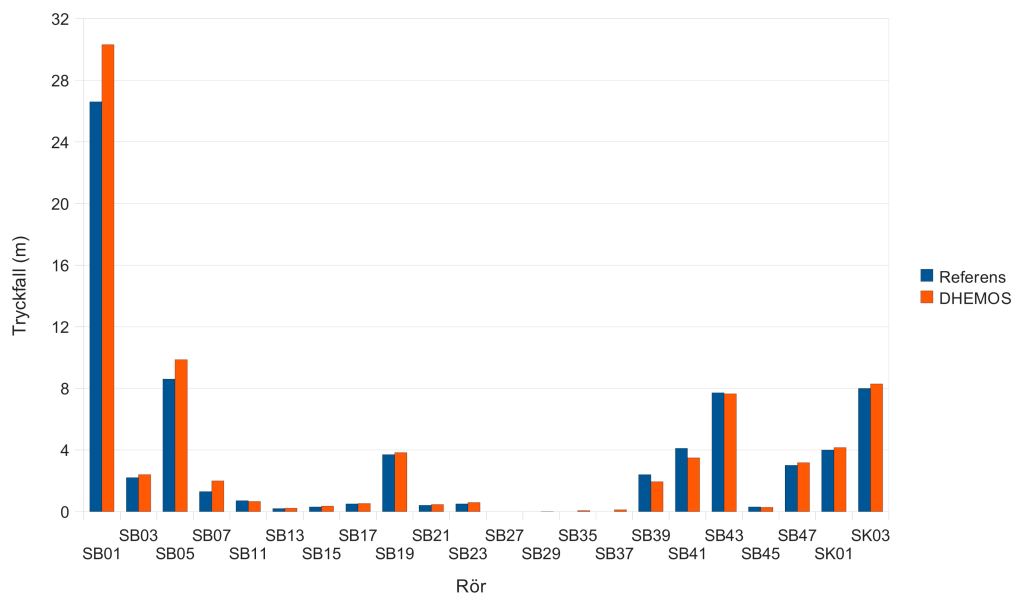
I Figur 2 kan man se att flödet är något högre i vissa rör och lite lägre i andra när man jämför mellan resultaten från DHEMOS respektive referensvärden tillhandahållna av Göteborg Energi. Framför allt kan man se att flödet är högre i de södra framledningarna från det övriga fjärrvärmenätet (SB01-05).



Figur 3: Tryckfall i rörsystemt (per km rör) (-16C)

Figure 3: Headloss in pipe system (per km pipe) (-16C)

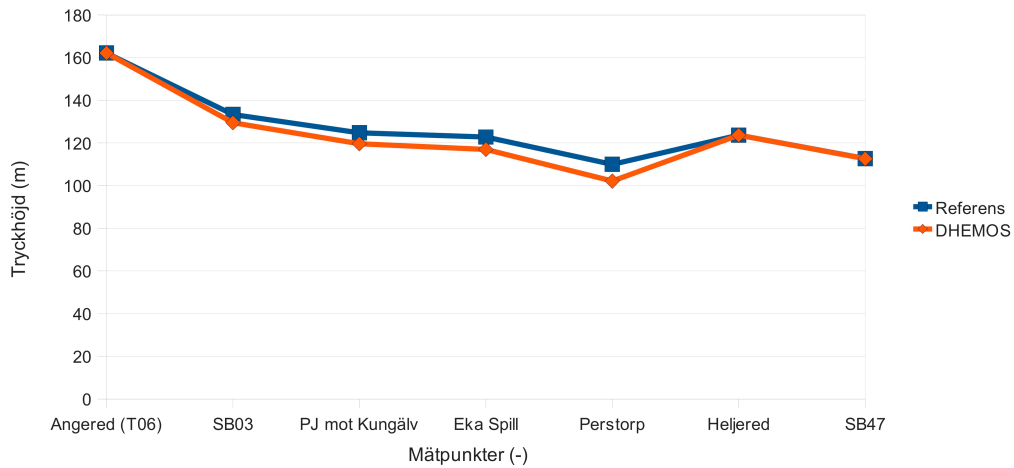
Flöde och tryckfall i fjärrvärmesystemet är intimt förknippade med varandra. Ett högre flöde ger en större turbulens och högre resistans såväl internt i vattenmassan som mellan vatten och rörväggar, vilket leder till högre tryckfall. I Figur 3 kan man se tryckfallet i framledningen fördelat på de större rörkomponenterna inom Ale-nätet, uppdelat i tryckfall i meter per kilometer rör. Som synes skiljer sig resultatet av tryckfallsberäkningen något mellan DHEMOS och referenssystemet, vilket förutom skillnaderna i flöde även kan vara ett resultat av olika metoder för att beräkna tryckförluster över rören och/eller olika värden för indata till dessa metoder. Röret SB01 är den överlägset längsta rörkomponenten i Ale-nätet (över 3,8 km), vilket i kombination med det faktum att flödet även är störst här i början på nätet innan uppdelningen mot Kungälv gör att det är även här som det totala tryckfallet är som störst. Detta syns tydligt i Figur 4, där tryckfallet i SB01 är överlägset störst i båda fallen.



Figur 4: Tryckfall i rörsystemet (totalt) (-16C)

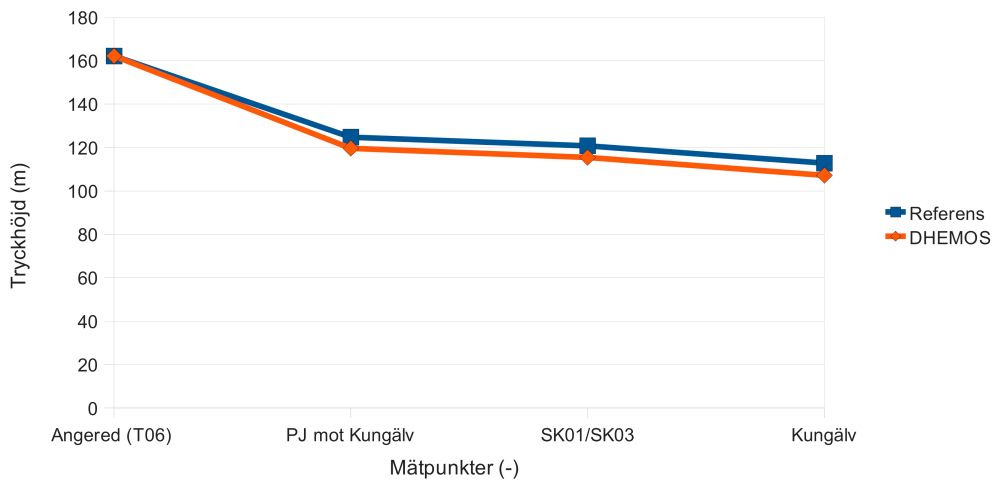
Figure 4: Headloss in pipe system (total) (-16C)

I Figur 5 så syns tryckhöjden från Angered och norrut förbi Heljered. Denna bild kan i princip ses som överdelen på ett komplett tryckfallsdiagram, om man bortser från den geografiska utsträckningen som inte visualiseras här. Längst ut till vänster i diagrammet så syns inflödet i Angered gentemot Ale-nätet, och sedan faller trycket allteftersom vattnet breder ut sig i fjärrvärmenätet.



Figur 5: Tryckhöjd mot Angered norrut (-16C)
Figure 5: Head towards Angered due north (-16C)

I punkten Heljered finns en produktionsanläggning som agerar tryckhöjande. Detta gör att det blir ett negativt flöde i förhållande till nätets dragning mellan Perstorp och Heljered.



Figur 6: Tryckhöjd från Angered mot Kungälv (-16C)
Figure 6: Head from Angered towards Kungälv (-16C)

I Figur 6 visas motsvarande tryckhöjd över den del av Ale-nätet som delar upp sig mot Kungälv. I båda dessa ovanstående figurer så kan man konstatera att den beräknade tryckhöjden i DHEMOS är relativt lika den beräknad av referenssystemet.

5.3 Funktionalitet

Den funktionsgenomgång som följer i detta avsnitt behandlar den nuvarande versionen av DHEMOS. Tanken i detta avsnitt är att belysa olika funktionella aspekter av den nuvarande versionen av DHEMOS med syfte att visa såväl systemets starka sidor som de delar som kräver en översyn inför framtida vidareutveckling. Detta visas i tabell 1, 2 och 3.

Tabell 1: Komponentmodeller

Table 1: Component models

<i>Komponentmodeller</i>	<i>DHEMOS</i>
Rör	Ja
Pumpar	Ja
Ventiler	Ja
Produktionspunkt	Ja
Konsumtionspunkt	Ja
Akkumulatortank	Nej
Värmeväxlare	Ja
Värmepanna/Kylaggregat	Nej
Subnät	Ja
Värmelast	Ja

Tabell 2: Simuleringsfunktionalitet

Table 2: Simulation functionality

<i>Simuleringsfunktionalitet</i>	<i>DHEMOS</i>
Dynamisk simulering	Ja
Stationär simulering	Ja
Agentlager	Ja
Dynamiska tidssteg	Nej
Tappvattenanalys och social last	Ja (a)
Fastighetsanalys	Ja
Val av ekvationsmodell	Ja (b)
Osymmetriskt returnät	Nej
Larmsystem	Nej
Adaptiva kontrollpunkter	Nej (c)

Tabell 3: Övrigt
Table 3: Miscellaneous

<i>Övrigt</i>	<i>DHEMOS</i>
Utdataformat	XML (d)
MATLAB-kompatibilitet	Ja (e)
Grafisk modellering av fjärrvärmenät	Ja
Öppen källkod	Ja
Validering av nätverk	Ja (f)
Automatiserad presentationsgenerering	Nej

Kommentarer:

- a) Detta görs via ett tillägsprogram som ingår i DHEMOS. Via detta program ställer man in de parametrar för fastigheten, såsom temperaturprogram, antal lägenheter och underlag för tappvattenförbrukning.
- b) DHEMOS stödjer att vid det grafiska användargränssnittet skifta mellan olika ekvationsmodeller. Detta är en viktig funktionalitet för att hantera olika situationer och behov. Exempel på detta är att ett nätverk utan loopar kan använda en förenklad matrismodell utan att precisionen försämras, vilket medför att simuleringen går mycket snabbare att lösa.
- c) I DHEMOS kan man lösa detta genom att programmera en agentnod för den aktuella komponenten. Det är dock inget som det finns uttryckligt stöd för i standardläget.
- d) Alla loggfiler, projektfiler och nätverksfiler i DHEMOS bygger på användandet av XML. Detta är ett väldefinierat standard märkspråk som används för att utväxla information i en stor och varierande mängd datorsystem. Formatet förenklar användning och bearbetning av resulterande data, exempelvis genom att det är enkelt att omvandla XML till användning i vanliga kontorssystem såsom Windows Excel eller MATLAB.
- e) Eftersom DHEMOS är en dynamisk simulator så kan en simuleringskörning över en längre period generera väldigt stora mängder data. Många gånger underlättar det att analysera denna data i externa program. MATLAB är ett sådant program som är väldigt spritt inom såväl industri som akademi. DHEMOS har en inbyggd fil-konverter som omvandlar loggfiler till ett binärt format som MATLAB använder för sin datahantering. Detta gör det enkelt att arbeta med väldigt stora datamängder och att kunna applicera komplicerade analysmetoder på all data.
- f) Detta är en inbyggd programdel i DHEMOS som kan användas för att validera ett nätverk innan simuleringar påbörjas, och för att identifiera potentiella problem som kan uppstå. Exempel på detta är när man har råkat rita ut rör utan att dessa

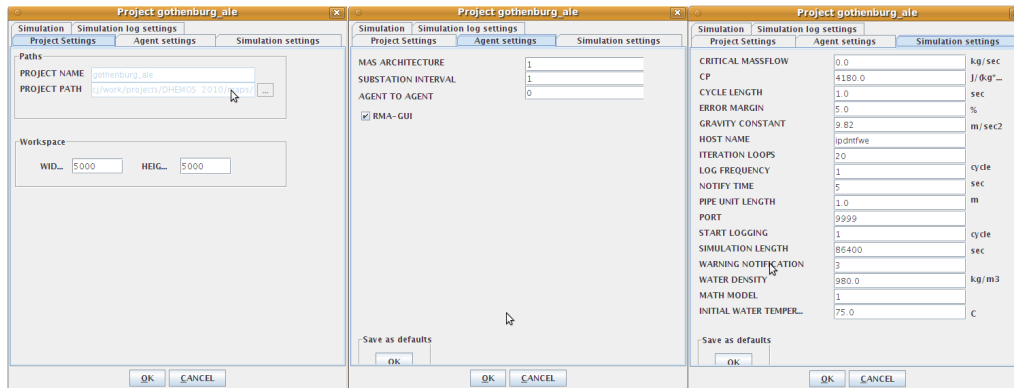
slutar någonstans, eller att alla randpunkter har blivit tilldelade lämpliga konsumtions- eller produktionsprofiler.

5.4 Användargränssnitt

En av de grundläggande tankarna med DHEMOS var att systemet skulle kunna användas på flera olika operativsystem. På grund av detta designkrav så utvecklades systemet i JAVA, vilket gör att det kan användas på alla de plattformar som stödjer JAVA utan att man behöver kompilera om eller anpassa källkoden. Detta har visat sig vara ett bra beslut vad gäller användargränssnittet då detta fungerar utan större problem på de flesta större plattformar såsom Microsoft Windows och Linux. Nackdelen med ett plattformsoberoende programmeringsspråk som JAVA är att det blir svårare att optimera prestandan eftersom man inte kan dra nytta av plattformsspecifika anpassningar. I den nuvarande versionen av DHEMOS är simulatorkärnan utvecklad i C++ emedan alla användargränssnitt är utvecklade i JAVA. Detta ger en god avvägning mellan prestanda och användarvänlighet. I den kommande versionen av DHEMOS är målet att ta detta tänkande ännu en bit längre, genom att göra användargränssnittet till DHEMOS helt webbaserat samtidigt som simulatorkärnan tillsammans med databashantering blir Linux-baserad. Detta ger ett extremt prestandainriktat system som kan optimeras för specifika ekvationsmodeller samtidigt som alla användare kan nyttja systemet så länge de har tillgång till en webbläsare. Att det finns ett intuitivt och lätthanterat användargränssnitt har alltid varit en viktig aspekt av utvecklingen av DHEMOS. Det finns en gammal sanning som säger att ju mer man förenklar en simulatormodell desto sämre blir precision får den, och i sammanhanget kan det vara berättigat att poängtera att tanken med DHEMOS inte är att förenkla själva ekvationsmodellerna, utan snarare att förenkla gränssnittet gentemot dessa och att göra användandet av dom så enkla som möjligt. Med modern programvaruteknisk utvecklingsmetodik och innovativ mjukvarudesign så anser vi det fullt möjligt att öka tillgängligheten även för mer komplexa ekvationsmodeller, och det är detta som är drivkraften i utvecklingen av användargränssnittet till DHEMOS.

Användargränssnittet i DHEMOS består i nuläget av två delar. Dels är det editorn där man beskriver själva fjärrvärmenätet och alla de komponenter som ingår däri, och dels är det ett analysverktyg för att kunna plotta upp resultat från simuleringar.

Editorn utgör även ett gränssnitt gentemot själva simulatorkärnan, som gör att man på ett enkelt sätt kan starta simuleringar. När man modellerar ett fjärrvärmenät i DHEMOS utgår man från ett så kallat projekt som skapas i editorn. Här samlas all information som inställningar för simuleringar, agentsystemet och loggningsalternativ. Här kan man ställa in värden för för varje specifik simuleringsskript, exempelvis för hur utomhustemperaturen skall variera över tiden, varningsnivåer, val av ekvationsmodell och simuleringens längd. Ett exempel på hur detta kan se ut visas i Figur 7.

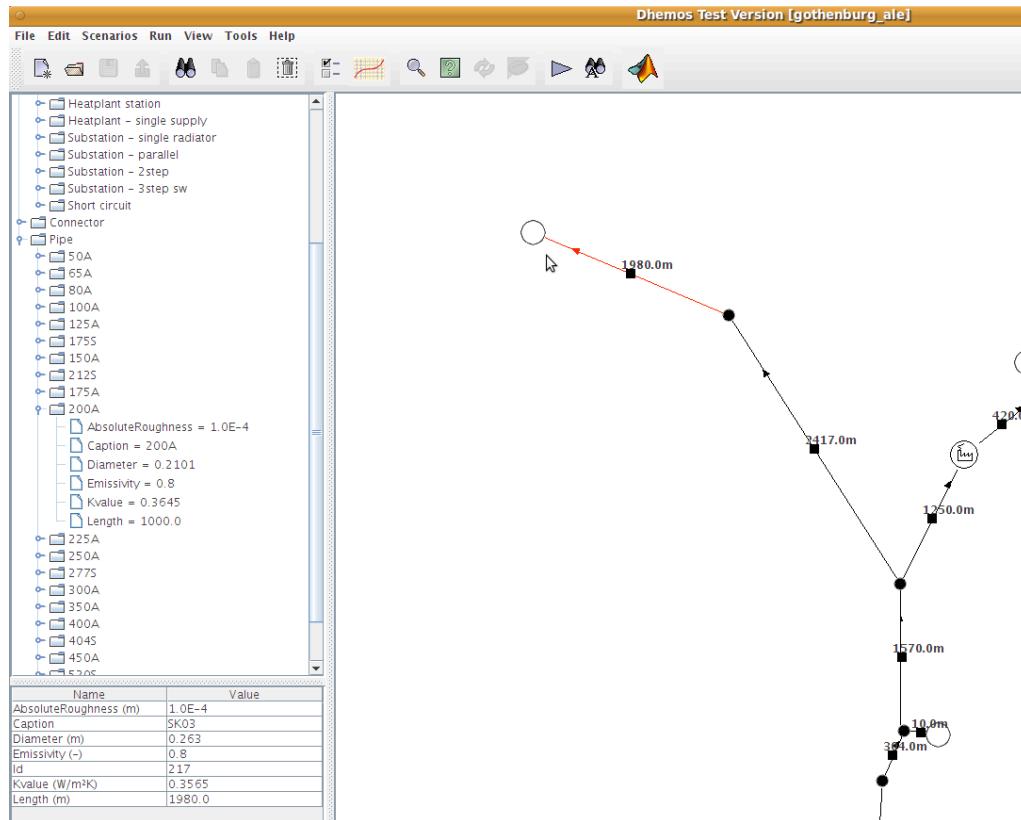


Figur 7: Projektinställningar

Figure 7: Project configuration

En av tankarna med en framtida version av DHEMOS är att mer tydligt dela upp inställningarna för projektet i sig och varje simuleringsrunda, och att varje projekt då kan ha flera olika instanser av simuleringsinställningar sparade. Då blir det enklare för användaren att skifta mellan olika analyser och beräkningar i samma fjärrvärmenät, utan att man behöver ändra i inställningsfilen mellan varje simuleringsrunda.

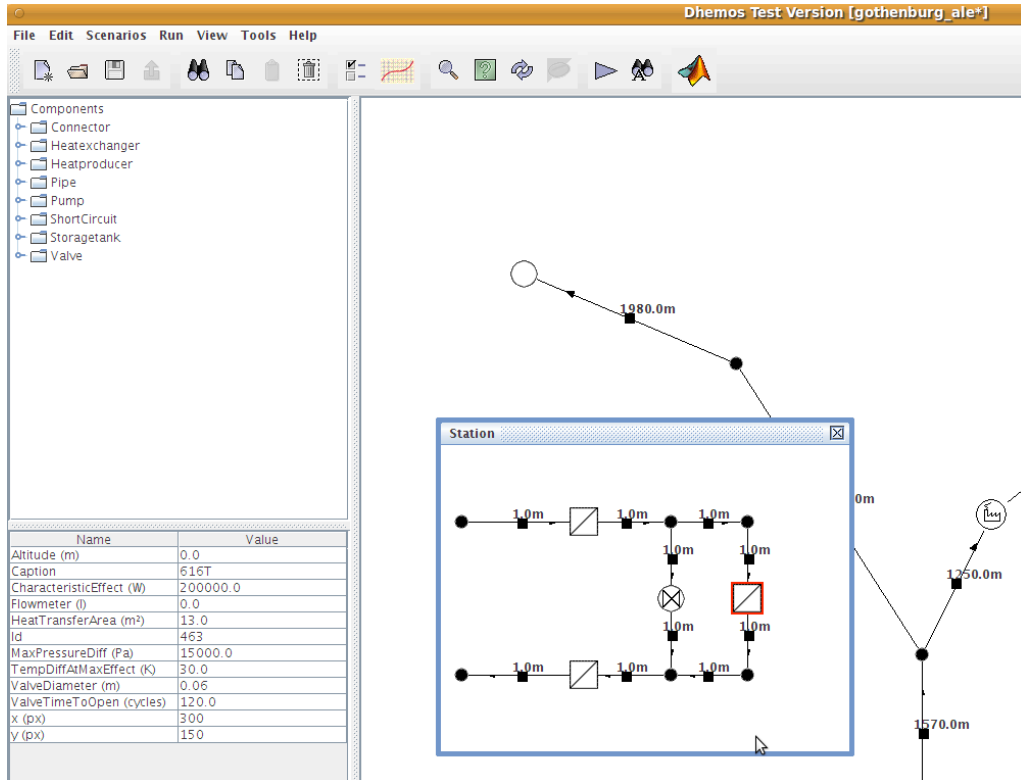
Efter att man har definierat sitt projekt så kan man börja modellera själva fjärrvärmenätet. Det görs via ett grafiskt gränssnitt där komponenter väljs från en lista på sidan och sedan med hjälp av musen läggs ut på kartområdet. För varje komponent som läggs ut i nätet går det sedan att anpassa informationen efter behov i efterhand vilket visas i Figur 8. Exempelvis är standardlängden på rören tusen meter vilket normalt sett måste ändras efter att röret har dragits ut på kartområdet.



Figur 8: Komponentinställningar
Figure 8: Component configuration

Det är enkelt att lägga till nya komponenter eller att anpassa standardvärdena för dessa, då all denna information ligger samlad i XML-format och som läses in varje gång DHEMOS startar. Alla komponenter, förutom rör, hanteras genom så kallade subnät. På kartytan ser dessa ut som runda ringar med en ikon som beskriver vilket typ av subnät det handlar om. När man klickar på ett subnät så öppnas detta upp i ett eget litet fönster, och man kan här manipulera och anpassa enskilda komponenter inom detta subnät vilket visas i Figur 9.

Alla producent- och konsumentpunkter ligger i subnät, men subnät kan även innehålla exempelvis pumpstationer eller ventiler ute i nätet. En konsumentpunkt kan motsvara både enskilda fastigheter eller sammanslagningar av flera kundcentraler. Denna inställning görs genom att skapa en konsumtionsfil enligt behov. Denna konsumtionsfil kopplas sedan till en konsumtionspunkt. Flera konsumtionspunkter kan använda samma konsumtionsfil och det är så att de har samma egenskaper. Att skapa en konsumtionsfil görs genom ett speciellt program för fastighetsberäkningar som ingår i DHEMOS.

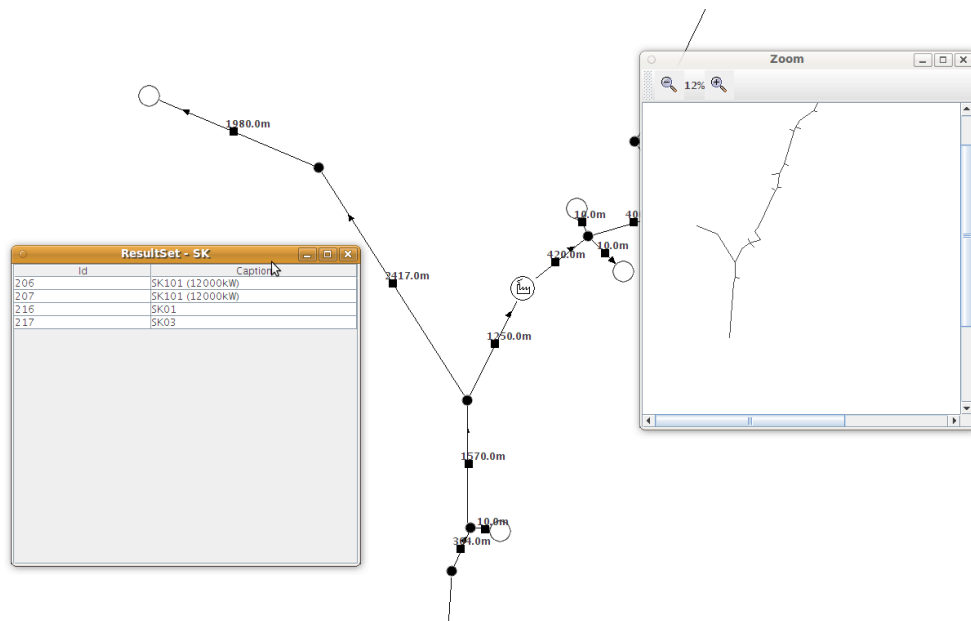


Figur 9: Inställningar för subnät
Figure 9: Subnet configuration

I fastighetsprogrammet finns det en rad förhandsdefinierade fastighetstyper vilket förenklar arbetet med att anpassa inställningarna i systemet. Slår man ihop flera fysiska konsumenter till en enda konsumtionspunkt så ses dessa av DHEMOS som en enda fastighet och man får ange motsvarande storlek. Det går att ange temperaturprogram och inställningar för PID-regulator för att få den simulerade konsumtionspunkten att bete sig som en motsvarande fastighet i verkligheten, och det går även att ange parametrar för att stokastiskt simulera den sociala lasten inom fastigheten över tiden. När man sedan kopplar en sådan konsumtionsfil till en konsumtionspunkt så går det att välja om man enbart vill använda den temperaturberoende lasten, och inte ta med den sociala lasten i simuleringen. Detta kan exempelvis vara intressant när man vill studera distributionsnätet i sig utan att det påverkas av den stokastiska variation som den sociala lasten utgör.

I samband med att man modellerar ett större fjärrvärmenät så kan det lätt bli svåröverskådligt rent grafiskt. För att underlätta arbete i detta läge, så använder DHEMOS sig av en översiktskarta som man kan zooma in och ut i. När man klickar på en viss punkt på översiktskartan så hoppar kartområdet till den punkten i huvudfönstret. Detta gör att det blir enklare att hitta runt i fjärrvärmenätet. Till detta finns även en sökfunktion för nätverket. Det går att skriva in namnet, eller del av namnet, på en komponent så får man upp en lista på alla komponenter vars namn

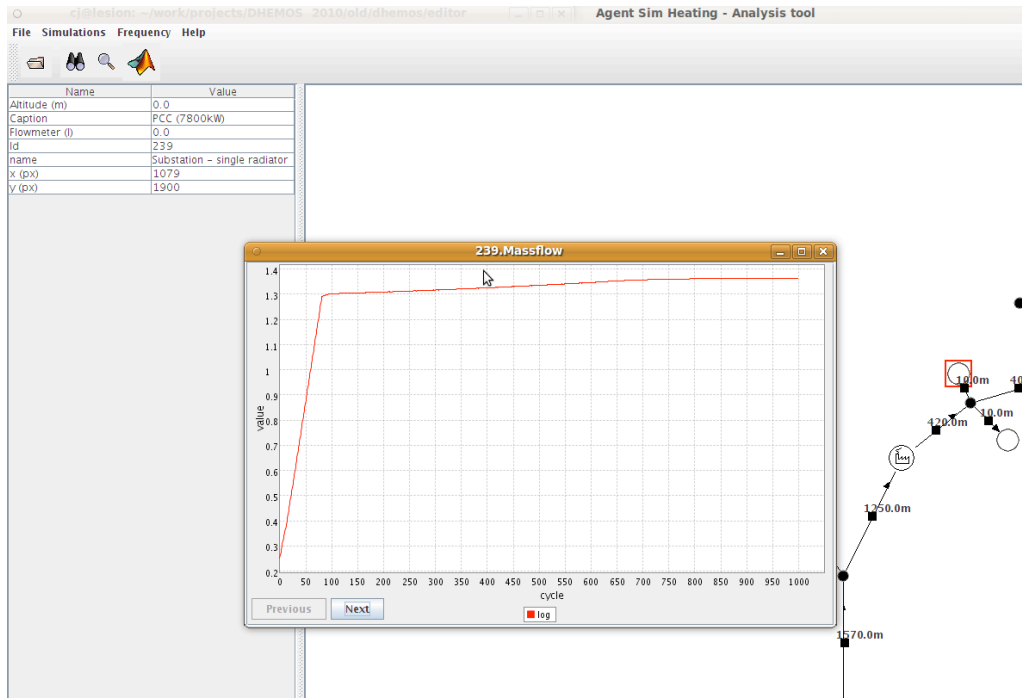
innehåller den textsträngen. Klickar man sedan på någon av komponenterna i listan så hoppar fokus i kartområdet automatiskt till den komponenten. Dessa funktioner visas i Figur 10 och tillsammans underlättar dessa arbetet i större fjärrvärmenät med stor geografisk spridning.



Figur 10: Zoom- och sökfunktion
Figure 10: Function for zoom and search

Via det grafiska användargränssnittet går det även att välja hur enskilda komponenter skall logga data i samband med simuleringar. I större nät med många komponenter så tar själva loggningen en inte oansenlig andel av tiden det tar att utföra en simulering. Speciellt när man kör simuleringar över längre tidsperioder så kan det vara behov av att stänga av onödig loggning, vilket snabbar upp simuleringprocessen och även minskar behovet av lagringsutrymme.

I DHEMOS ingår även ett analysverktyg, vilket kan användas för att titta igenom den data som genereras i samband med varje simulering. Med hjälp av detta verktyg går det att titta på de loggade värdena som ritas upp över tidsperioden som simuleringen omfattar, vilket visas i Figur 11. Det går att markera flera olika simuleringrundor för samma komponent och värde, för att jämföra dessa i samma fönster. Analysverktyget är den del av DHEMOS som är minst utvecklad, och för mer avancerad analys rekommenderas att man exporterar data till exempelvis MATLAB eller Excel.



Figur 11: Analysverktyg
Figure 11: Analysis tool

6 DISKUSSION

I samband med jämförelseanalysen bör man komma ihåg att såväl DHEMOS som andra liknande system är simulatorverktyg och som sådana endast kapabla att leverera förenklingar av verkligheten. Det referenssystem som har använts kan anses som ett fullgott rättesnöre i brist på faktisk driftsdata, och har inom ramen för denna förstudie ansetts utgöra ”facit”, så att säga.

Rent allmänt går det att konstatera att DHEMOS räknar mer eller mindre rätt i förhållande till referenssystemet. Det finns en del skillnader i slutresultaten men större delen av dessa uppstår förmodligen på grund av olika sätt att modellera nätet och olikheter i indata för själva simuleringsberäkningarna. De grundläggande ekvationsmodellerna för beräkningar av tryck, flöde och temperaturer för inkompressibla fluider inom rörsystem är allmänt kända. Däremot föreligger sannolikt skillnader i hur nätverket formellt representeras internt i datorprogrammet och hur ekvationsmodellerna för de olika komponenterna knyts samma.

En annan källa till skillnader i resultaten är att i den nuvarande versionen av DHEMOS så speglas returnätet vilket innebär att för varje rör man ritat ut i editorn så skapas automatisk ett motsvarande rör på retursidan. Detta beteende hos DHEMOS skapade problem i samband med modelleringen av delnätet runt produktionspunkten i Perstorp, eftersom nätet runt denna punkt inte är symmetriskt mellan framledning och returnät. Detta är ett uppenbart problem med DHEMOS, eftersom så gott som alla fjärrvärmenät innehåller åtminstone några delar som inte är symmetriska. Det kan i sammanhanget påpekas att denna begränsning i DHEMOS ligger i programvaran för användargränssnittet, och inte i själva beräkningsmodulen. Detta gjorde att situationen till viss del kunde lösas genom att manuellt manipulera de XML-filer som editorn använder för att spara projektinformation. Detta finns med som en viktig punkt att vidareutveckla inför nästkommande version av DHEMOS, inte minst på grund av hur denna förstudie har belyst problematiken. När DHEMOS först utvecklades så var syftet att framför allt kunna studera samverkan mellan produktion och konsumtion. Därför utvecklades den första versionen av DHEMOS för att automatiskt spegla returnätet samtidigt som nätet för framledning ritades upp i editorn. Fördelen med detta beteende är givetvis att man sparar en massa tid i samband med modelleringen av fjärrvärmenätet eftersom man bara behöver specificera nätet för framledningen. Nackdelen är att detta förutsätter att nätet är helt symmetriskt, det vill säga likadant på retursidan som på framledningen. Det kan dock konstateras att så gott som inga fjärrvärmenät uppvisar en sådan komplett symmetri, även om det oftast stämmer för stora delar av nätet. Man kan tänka sig att funktionen som sådan kan vara användbara i det stora hela, men att det är alldeles nödvändigt att kunna manipulera detta vid behov. Även om det nu till viss del gick att åtgärda problemet genom att manuellt manipulera hur nätet beräknades i DHEMOS, måste denna funktionalitet finnas åtkomlig via det grafiska användargränssnittet i framtida versioner av DHEMOS.

De dynamiska aspekterna av DHEMOS har inte uttryckligen studerats eftersom referensdatan som användes byggde på stationära simuleringar. Många gånger är stationära simuleringar fullt tillräckliga för att ge beslutsunderlag för exempelvis optimeringsarbete, men för mer komplexa frågeställningar så finns ofta ett behov av att kunna studera dynamiska förlopp. DHEMOS är i grunden byggd som en dynamisk simulator som beräknar hur de fysiska processerna förändras över tiden. Problemet här är att längden på tidssteget i den nuvarande versionen av DHEMOS är låst till en sekund. Denna tidslängd är anpassad till tidigare arbete som DHEMOS har använts till, vilket har inkluderat studier av sociala laster och kortsiktig påverkan på energibufferten inom fastigheter kopplade till fjärrvärmesystemet. För många andra frågeställningar kan det dock vara lämpligt med alternativa avvägningar mellan beräkningsprecision och tidsåtgång för simuleringar. Ett exempel på behovet av detta är när man kopplar DHEMOS till modeller för att hantera strategisk produktionsoptimering över längre tidsperioder. Ska man studera produktionsbehov över månader och år, så är man oftast inte intresserad av att samla på sig bokstavligt talat gigabyte av utdata för varje sekund och komponent lagras över hela perioden. Förmågan att använda olika tidssteg hänger dock samman med att DHEMOS även har en förmåga enkelt skifta mellan olika ekvationsmodeller, då dessa kan skilja sig beroende på hur man ska utföra beräkningarna.

Man kan konstatera att det är beräkningen av tryckfallet som är mest benägen att variera något, eftersom den är beroende av så pass många variabler som exempelvis vattenhastighet, råhet i rörens väggar, approximativa metoder för att beräkna friktionsfaktorer och temperaturberoende värden för vattnets viskositet och densitet. Trots detta kan man dock rent generellt konstatera att DHEMOS resultat ligger relativt nära referensdatan även vad gäller beräkningar av tryckfall över hela Ale-nätet.

När det gäller användargränssnitt så är det svårt att direkt jämföra DHEMOS med tillgängliga referensverktyg. När det gäller produktionsanalys så är detta ännu inte utvecklat i DHEMOS vilket gör att jämförelsen faller. För distributionsanalys så finns det allmänt tillgängliga system som använder såväl gränssnitt via fil som grafiska användargränssnitt. Ambitionen med DHEMOS är att utvecklingen av det grafiska användargränssnittet skall följa som en naturlig del parallellt med utvecklingen av simulatorkärnan, och att systemet skall bli så lättanvänt och intuitivt som möjligt samtidigt som det behåller möjligheten att på detaljnivå dra nytta av komplexa beräkningsmodeller. Den långsiktiga visionen med DHEMOS är att skapa ett ramverk för simulering och optimering som binder samman produktion, distribution och konsumtion, där användaren kan studera dynamiska förlopp ner på detaljnivå hos enskilda produktionsenheter, värmeväxlare, pumpar, ventiler, rör eller andra komponenter inom ett fjärrvärmesystem.

7 SLUTSATSER

DHEMOS har kommit en bra bit på vägen för att skapa en bra grundläggande design för att simulera fjärrvärmenät. Systemet är dock i dagsläget ännu inte moget att användas i ett större fjärrvärmenät eller i mer komplexa driftsfall, och det finns ett antal funktioner som saknas för att systemet fullt ut skall kunna ersätta kommersiella alternativ. Det går dock att konstatera att mycket av den grundläggande funktionaliteten finns implementerad och att systemet som helhet har en skalbar design vilket öppnar upp för framtida vidareutveckling. Parallellt med utveckling av själva simulatorfunktionaliteten handlar en stor del av det framtida utvecklingsarbetet om att vidareutveckla grafiska användargränssnitt och att skapa en fungerande databashantering för att förenkla handhavandet av systemet. Generellt kan man konstatera att problemet vad gäller simuleringssystem i allmänhet inte är att få dessa att räkna rätt, utan att utmaningen snarare ligger i att utveckla intuitiva och användarvänliga system med genomtänkta användargränssnitt och lätthanterliga analysmöjligheter som klarar av att skapa en lättillgänglighet även till mer komplexa ekvationsmodeller.

Den grundläggande frågan för den här förstudien har varit att utröna om DHEMOS på sikt kan bli ett konkurrenskraftigt alternativ till kommersiella system. I sammanhanget är det viktigt att inse att många av de befintliga simulatorsystemen i mångt och mycket är verktyg för konsulter som arbetar tillsammans med fjärrvärmeföretagen, och att frågan om att ersätta sådana system i någon mån även antyder att ersätta konsulten tillsammans med dennes kunskap och erfarenhet. För stora resurskraftiga energiföretag som har egen personal som är dedikerade till att arbeta med optimering av produktion och distribution så kan DHEMOS med tiden säkerligen finna en marknad. För mindre företag utan egen optimeringsavdelning så lär behovet av konsultlett simuleringsarbete bestå under överskådlig framtid. Det är förvisso ingenting som hindrar en konsult från att använda DHEMOS som ytterligare ett verktyg i sitt arbete, och det är ingenting i open source licensen som hindrar någon att ta betalt för konsulttid i samband med användandet av systemet, förutsatt att systemet som sådant är fortsatt fritt tillgängligt. Generellt kan sägas att den probleminsikt och mångåriga erfarenhet som flertalet konsulter inom området besitter är, och kommer fortsatt att vara, en oerhört viktig källa av kunskap för det stora flertalet fjärrvärmeföretag.

Om man däremot enbart fokuserar på DHEMOS som datorprogram för simulering av fjärrvärmesystem, så är svaret att det i nuläget inte går att ersätta ett kommersiellt utvecklat system, men att det samtidigt inte är alltför långt bort i utvecklingscykeln tills att det går. Detta gäller framför allt när det handlar om distributionsanalys. I nuläget finns det ingen användbar implementering av produktionsoptimering i DHEMOS. Tidigare har dock DHEMOS använts i samband med utvecklingen av brytpunktsdiagram för produktionsanalys, och systemet som sådant har en modulär uppbyggnad som är förberett för sådan implementering. De grundläggande teknikerna

för produktionsanalys är väl kända, se exempelvis (Arvastsson, 2001), och från akademiskt håll ökar intresset för att implementera sådan kapacitet i DHEMOS eftersom kopplingen mellan marknad, samhälle och teknik blir mer och mer efterfrågad inom dagens forskning.

I grund och botten är det hela en fråga om resurser. Det finns ett tydlig grundsystem att vidareutveckla på och det finns en tydlig genomförandeplan för i vilken ordning detta skulle kunna ske och det finns tydliga mål och visioner för systemet. Man kan ju konstatera att arbetet med DHEMOS kommer att fortgå oavsett fortsatt extern finansiering eftersom systemet redan nu är en del av forskningsansatser som görs på olika håll inom och utom Sveriges gränser. Fokus för den typen av utveckling kommer dock aldrig att kunna vara grafiska användargränssnitt och användarvänlighet, och utvecklingen kommer med största sannolikhet att ske i perioder allteftersom specifika behov av vidareutveckling uppstår. Att genomföra en dedikerad utvecklingsinsats med fokus på hela bredden av uppställda utvecklingsmål är något helt annat, och kräver en helt annan typ av resurser. I sammanhanget bör det poängteras att med resurser menas inte tvunget finansiering, utan även tillgång till lämpliga projektmedlemmar. Ett projekt baserat på öppen källkod är beroende av en aktivt och engagerad användarbas, och detta utgör den viktigaste aspekten av ett långsiktigt projekt. Det kan konstateras att potentialen finns där att hämta, men att hastigheten varmed den potentialen kan realiseras är direkt proportionell till aktuell resurstillgång.

8 FRAMTIDA ARBETE

I detta avsnitt beskrivs tre milstolpar i utvecklingen av DHEMOS, tillsammans med ett försök att estimerar omfattningen av arbetet för att nå till varje delmål. Större delen av funktionaliteten inom de första två versionerna (0.1 och 0.2) väntas utvecklas under det kommande året inom ramen för befintligt forskningsarbete. Den tredje beskrivna versionen är en mer avlägsen framtida version som är tänkt att vara en första skarp version (1.0).

8.1 Version 0.1

Version 0.1 är i princip samma version som den som har använts inom denna förstudie. Skillnaden är att det nu pågår ett arbete med simulatorkärna i DHEMOS för anpassa denna till att vara optimerad för Linuxbaserade system. I samband med detta kommer simulatorkärnan att anpassas till att använda ett programmeringsgränssnitt gentemot de matematikfunktioner som Octave tillhandahåller. Framför allt handlar detta arbete om att förbättra prestandan i samband med matrisoperationer och att säkerställa en långsiktigt hållbar design i simulatorkärnan.

Systemet kommer att använda samma grafiska användargränssnitt som har beskrivits i det här rapporten då fokus för denna versionen är att stabilisera själva simulatorkärnan och åtgärda de brister som denna förstudie har belyst. Arbetet kommer att fortgå parallellt med övrigt forskningsarbete under 2010 vilket gör att utvecklingen sannolikt kommer att gå relativt långsamt. Under tidig vår är en vecka planerad nere på universitetet i Stuttgart för att samla de två utvecklare som nu jobbar aktivt med DHEMOS, och för att ta ett steg framåt i utvecklingen. Målet med denna version är i princip att den skall tillhandahålla de grundläggande förutsättningarna som kom fram inom detta projekt, och att systemet inom ramen för detta skall motsvara de krav som eventuellt marknaden kan ställa på den här typen av programvara.

8.2 Version 0.1

Denna version bygger vidare på version 0.1, men bygger ut funktionerna för lagring av utdata till att hanteras av en databas. Även all information angående modellering av fjärrvärmenät och tillhörande meta-data skall hanteras via en databas. Detta skulle förenkla analyser oerhört eftersom det blir enklare att sortera och hantera resulterande data. Att koppla systemet gentemot en databas är även första steget mot ett webbaserat system. Om man har ett webbaserat system så blir användandet mycket förenklat och det blir smidigare att förmedla data mellan användare. En annan fördel är att man tar bort plattformsbberoendet, i praktiken räcker det med en webbläsare för att använda systemet. De senaste åren har det utvecklats en rad nya tekniker för webbaserade system som tillåter utvecklingen av avancerade grafiska användargränssnitt. Inom ramen för denna version kommer eventuellt även att utvecklas grunderna för detta webbaserade gränssnitt. En första version av detta ska

kunna hantera att hantera simuleringskörningar vid ett webbaserat gränssnitt, dock lär fortfarande den Java-baserade editorn krävas för modelleringsarbete.

Även ekvationssystemen i sig skall uppdateras inom ramen för denna modell, och systemet knyts ytterligare till Octave. En viktig aspekt av denna version är att utveckla en grundläggande proof-of-concept koppling till geografiskt distribuerad produktionsoptimering, med hjälp av dynamisk koppling till brytpunktsdiagram. För att detta skall fungera så krävs en förmåga att välja tidsintervall för simuleringar, så att det blir praktiskt möjligt att arbeta med mer långsiktig planering. Generellt är kopplingen mellan optimering och simulering intressant, och det kan ju i sammanhanget konstateras att simuleringsmodeller för de fysiska processerna inom fjärrvärmenätet är ovärderliga när man arbetar med geografiskt spridd och tidsberoende optimering. Implementerar man detta så är man på god väg att få ett system med en funktionalitet som i stort motsvarar det som MARTES erbjuder i form av simuleringskapacitet.

8.3 Version 1.0

Detta är den första skarpa versionen av DHEMOS. Tanken med denna versionen är att den fullt ut skall motsvara allt övrigt som finns på den kommersiella marknaden. DHEMOS är nu ett helt webbaserat system för simulering och optimering inom fjärrvärmesystem. Systemet har nu koppling till de GIS och kartsystem som används inom branschen, exempelvis ESRI, MapInfo, AutoCAD, MicroStation, Intergraph, Geo Vision och Smallworld. Dessa kopplingar underlättar modellering av nya fjärrvärmenät, och de förändringar som görs i kartsystemen återspeglas direkt i simulatormodellerna. Kopplat till detta har DHEMOS en förbättrad förmåga att automatgenerera delar av fjärrvärmenät, vilket minimerar arbetet med att manuellt modellera varenda liten komponent inom ett fjärrvärmenät. Här är det även viktigt att det finns stöd för att löpande förbättra existerande modeller av ett givet fjärrvärmenät, exempelvis att man utgår från en sammanslagen konsumtionspunkt som sedan efterhand kan utvecklas till enskilda fastigheter vid behov.

Det grafiska användargränssnittet är förbättrat för att på ett mer intuitivt sätt visualisera resultat med koppling till den geografiska spridningen i fjärrvärmenätet. Det finns även möjlighet för att koppla till debiteringssystem för att ytterligare förbättra kopplingen mellan simulatormodell och vad som verkligen händer ute i fjärrvärmenätet. Ytterligare en viktig förbättring är en tydligare uppdelning mellan projekt- och simuleringsinställningar, vilket underlättar projekthanteringen inom simuleringsverktyget.

Till denna versionen skall även en generell genomgång av simulerings- och optimeringsmodeller utföras. I detta arbete ligger att skapa en utökad palett av ekvationsmodeller som baserat på samma fjärrvärmenät kan simulera olika aspekter såsom snabba transienta förlopp eller mångårigt långsiktiga produktionsoptimeringar. I samband med detta kan det eventuellt bli aktuellt att implementera möjligheter för Monte Carlo metoder. Den här typen av metoder bygger på stokastisk modellering baserad på sannolikhetsfördelning, till skillnad från normala simuleringsmetoder som

bygger på deterministiska testfall. Styrkan med den här typen av simuleringar bygger på förmågan att hantera osäkerhet i indata, exempelvis när man studerar risker inom marknader. Det kan potentiellt vara en viktig aspekt när man studerar mer komplexa systemövergripande frågor såsom realtidstaxering eller praktiskt tredjepartstillträde inom fjärrvärmesystem.

Det system som beskrivs som version 1.0 kommer att kräva en stor insats för att realisera. Uppskattningsvis handlar det om två till tre månars utvecklingsarbete fördelat på ett par tre personer med olika inriktning inom projektet.

9 REFERENSER

Arvastsson, L.: "Stochastic modeling and operational optimization in district heating systems" Lund Institute of Technology, Sweden, ISBN 91-628-4855-0, 2001

Axelrod, R.: "Advancing the art of simulation in the social sciences" Santa Fe Institute, paper no. 97-05-048, 1997

Böhm, B. et al: "Simple Models for Operational Optimisation" IEA District Heating and Cooling, ANNEX VI: Report 2002:S1

Chua, L.O., Lin, P.-M.: "Computer-Aided Analysis of Electric Circuits" Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, USA, ISBN 0-13-165415-2, 1975

Dahlroth, B.: "Öppnade fjärrvärmenät i Storstockholm" Rapport 2009. Fastighetsägarna Stockholm, 2009

Davidsson, P. Logan, B. and Takadama, K.: "Multi-Agent and Multi-Agent Based Simulation" LNAI series Vol. 3415, Springer, 2005

Johansson, C., Wernstedt, F.: "Dynamic Simulation of District Heating Systems" In proceedings of the 3rd European Simulation and Modelling Conference, 2005

Johnsson, J. Rossing, O. Wallentun, H.: "Produktion, distribution och kundcentraler, System i Samverkan" Rapport 2009:6, Svensk Fjärrvärme, 2009

Valdimarsson, P.: "Modelling of Geothermal District Heating Systems" Doctoral Thesis, University of Iceland, 1993

Wernstedt, F., Davidsson, P., Johansson, C.: "Demand Side Management in District Heating Systems" In proceedings of Sixth International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, Honolulu, Hawaii, USA, 2007

Wood, D.J., Charles, C.O.A.: "Hydraulic Network Analysis Using Linear Theory" ASCE Journal of the Hydraulics Division, Vol. 98, No. HY7, July, 1972

Östergaard, T. : "Why should district heating companies spend money on carrying out hydraulic analyses?" News from DBDH 1/2005, Danish Board of District Heating, 2005



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.fjarrsyn.se

DYNAMISK FJÄRRVÄRMESIMULATOR

Simulering används av fjärrvärmebolag för att optimera och förbättra fjärrvärmesystemets operativa och strategiska funktion. Oftast modellerar och simulerar man produktion, distribution och konsumtion var för sig, men det finns stora fördelar om de olika simuleringarna kopplas samman.

Det här är en förstudie av simulatorprogrammet Dhemos som är baserat på öppen källkod och som har möjlighet att sammanfoga olika simuleringsmodeller för att man ska få en övergripande översikt. Syftet har varit att utvärdera Dhemos status och kapacitet och att jämföra med existerande kommersiella simulatorprogram.

Resultaten visar att Dhemos har grundläggande egenskaper som gör att programmet har potential inför framtiden, men att det saknar viktig funktionalitet som gör att det i nuläget inte kan anses moget att fullt ut jämföras med kommersiella alternativ.

