

Final report

1.1 Project details

Project title	Driftsoptimering af smart grid-fjernvarmesystemer for lavtemperatur
Project identification (program abbrev. and file)	EUDP-2013, Journalnr.: 64012-0238
Name of the programme which has funded the project	Energiteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram
Project managing company/institution (name and address)	Teknologisk Institut, Kongsvang Allé, 8000 Aarhus C
Project partners	Affaldvarme Aarhus, Halicon, Danfoss Redan A/S, Landis & Gyr, Silkeborg Forsyning A/S.
CVR (central business register)	DK 5697 6116
Date for submission	28/10 – 2015

1.2 Short description of project objective and results

1.2.1 Dansk version

Formålet med projektet er, via kendte softwareværktøjer og statistiske metoder, at inkorporere datamaterialet fra 78 fjernaflæste fjernvarmemålere med minutaflæsning i en modellingsstrategi med henblik på at kunne analysere forskellige driftsoptimeringer af et fjernvarmenet. Den store datamængde, der genereres af disse målere, giver unikke muligheder for at analysere driftsforhold og forbrugsmønstre samt for at afprøve tidligt højtopløselige modellingsstrategier for driftsoptimering. Det er desuden formålet at estimere usikkerheden på resultatet af analyserne.

Der er blevet udviklet flere forskellige softwareværktøjer til usikkerhedsberegning på målerdata og til at foretage forskellige analyser af driftssituationer. Der er blevet installeret og afprøvet nye fjernvarmeunits hos fire kunder, og desuden er nye automatiske omløbsskabe blevet afprøvet og optimeringspotentialer er blevet dokumenteret.

1.2.2 Engelsk version

The objective of the project was via known software tools and statistical concepts to incorporate data from 78 remotely read district-heating meters with one-minute reading intervals in a modelling strategy, to be able to analyze different strategies of optimizations for improving the operating conditions. The huge amount of data from these meters enables new unique opportunities to analyze the operating conditions and patterns of consumptions and to test highly detailed time-related strategies for optimizing the operating conditions. Furthermore, the objective is to make an estimation of the uncertainties of the analyses.

Various software tools were developed for uncertainty calculations and for analyzing the operating conditions. New heating units were installed and tested at four households. Furthermore, new automatically shunts were tested and the potential for optimization with these shunts were documented.

1.3 Executive summary

Fjernvarmen dækker over 60% af boligernes varmekonsum i Danmark, og der er stor – og stærkt stigende dansk eksport af fjernvarmekomponenter. Der er samtidig energipolitisk ønske om i stigende grad at anvende vedvarende energi (VE).

For at kunne udnytte VE-kilder optimalt i et fjernvarmesystem kræves et nøje kendskab til de forskellige driftsparametre og dynamikken i systemet, herunder forbrugsmønstre. I disse år installeres der landet over et stort antal forbrugsmålere "Smart Meters", der er i stand til at levere omfattende data med høj tidslig opløsning og som kan fjernaflæses. Dermed er der unik mulighed for at få indblik i dynamikken i fjernvarmenettet samt forbrugeradfærden og for driftsoptimering med betydelig energibesparelse til følge. En væsentlig udfordring er imidlertid at håndtere, analysere og bearbejde denne datamængde, så den kan indgå i samspil med traditionelle simuleringsprogrammer for driftsoptimering af fjernvarmesystemer.

AffaldVarme Aarhus har to forsøgsområder, hvor der er installeret 78 fjernaflæste Smart Meters, der leverer data på minutbasis, hvilket er en usædvanlig høj samplingsfrekvens. Den store datamængde, der genereres via disse unikke målere, giver særlige muligheder for at analysere driftsforhold og forbrugsmønstre samt for at afprøve tidsligt højt opløselige modelleringsstrategier for driftsoptimering.

Projektets formål var derfor, via anvendelse af disse testmuligheder, at udvikle metoder, der inkorporerer det store datamateriale i en generisk modelleringsstrategi i sammenspil med eksisterende hydrauliske modelleringsværktøjer, samt at udarbejde generiske modeller for dynamikken i distributionsnetværket via detaljerede analyser af forbrugsmønstre.

Projektet omfatter derfor følgende aktiviteter:

- Udvikling af modelleringsstrategier baseret på datamaterialet fra de 78 Smart Meters
- Afprøvning af tilpassede fjernvarmeunits hos udvalgte forbrugere.
- Afprøvning og analyse af optimeringspotentialer af automatiske ventiler placeret i såkaldte omløbsskabe.

Ved hjælp af MATLAB® og forskellige databasesystemer er der udviklet flere forskellige prototype softwareværktøjer til håndtering og lagring af den store datamængde genereret af de 78 Smart Meters i projektet. Disse værktøjer omfatter også algoritmer til interpolering af datahuller, usikkerhedsberegning og værktøjer til at foretage forskellige driftsanalyser af fjernvarmenet bl.a. af samtidighedsfaktoren.

Desuden er udviklet en metode til at foretage netværksanalyser og usikkerhedsberegning på resultaterne med TERMIS® baseret på minutdata. Resultaterne fra test af forbedrede omløbsventiler er blevet analyseret og optimeringspotentialer ved anvendelse af disse ventiler er blevet dokumenteret.

Erfaringen indhentet ved opsætning og drift af de nye Smart Meters med minutaflæsning har bidraget til fintuning og optimering af den Smart Meter-pakkeløsning der tilbydes.

De software-prototypeværktøjer der er udviklet i løbet af projektperioden danner grundlaget for videreudviklingen af fremtidige generiske softwareværktøjer til analyser og optimering af distributionsnet. Resultaterne fra afprøvning og analyser af de nye automatiske omløbsventiler vil bidrage til udbredelse og indkøring af denne løsning i hele Aarhus' fjernvarmesystem, og på sigt i andre varmforsyningssektors fjernvarmenet med økonomiske og energimæssige besparelser til følge.

1.4 Project objectives

1.4.1 Baggrund for projektet

I Danmark er fjernvarme meget udbredt og ca. 62 % af de private danske husstande får varme via fjernvarmesystemet. Det danske fjernvarmesystem er desuden et af de mest veludviklede i Europa, hvor energien i form af varme leveres fra forskellige producenter. Typisk er disse producenter kraftvarmeværker, der er baseret på forskellige typer brændsler bl.a. halm (9 %), naturgas (30 %), olie (4 %), kul (19 %) og affald (17 %). Endvidere har fjernvarmesystemet potentialet til også at integrere andre VE-kilder.

Det overordnede politiske mål om at 50 % af det danske strømforbrug skal komme fra vindkraft i 2020 og den generelle fokus på vedvarende energikilder (VE) kræver at det danske energisystem bliver endnu mere fleksibelt og robust i forhold til at kunne aftage den meget fluktuerende energiproduktion fra VE kilder som f.eks. sol og vind. Et sådan system forudsætter en stor tilpasningsevne og at der i systemet eksisterer en eller anden form for "intelligent" styringsredskab. I det elektriske forsyningsnetværk er dette alsidige system refereret til som et Smart Grid. I fjernvarmesammenhæng kan et lignende billede tegnes for hele forsyningsnettet fra produktionsenhederne gennem transmissionsnettet og distributionsnettet og helt ud til den enkelte kunde. Fjernvarmesystemet som energiforsyningssystem er dog i flere henseende meget forskelligt fra el nettet pga. af den træghed der er i energiforsyningen fra produktion af varme til varmelevering hos kunderne.

Der har i de seneste år i den forbindelse være fokuseret meget på el-nettet (Smart-Grids) og i mindre grad på at inkorporere teknologier til at udnytte energi fra forskellige VE-kilder i fjernvarmenettet. Dette er ved at ændre sig nu, og der er flere projekter undervejs hvor sigtet er øget inddragelse af flere VE-kilder samt nye energilagere.

For at kunne udnytte VE-kilder og inkorporere dem i et eksisterende fjernvarmesystem på en optimal måde kræves et nøje kendskab til de forskellige driftsparametre og dynamikken i forsyningssystemet.

I disse år installeres der landet over et stort antal husstandsmålere med mulighed for online aflæsning og fjernkommunikation (Smart Meters). Alene i Århus er en udrulning af 50.000 målere planlagt, som er i stand til at levere omfattende data med høj tidslig opløsning (f.eks. pr. time) og som kan fjernaflæses. Dermed er der unik mulighed for at få indblik i dynamikken i hele fjernvarmeforsyningsnettet samt i varmekundernes forbrugsadfærd. Data fra fjernaflæste varmemålere bruges endnu kun i begrænset omfang og stort set kun i forbindelse med afregning og i et vist omfang i forbindelse med forbrugsvisualisering over for varmekunderne. Den store og detaljerede datamængde, som de mange målere potentielt giver adgang til, udgør en unik mulighed for driftsoptimering (både for fjernvarmeselskabet og for kunderne) med væsentlig CO₂-reduktion og energibesparelser til følge. Det forbedrede kendskab til dynamikken i fjernvarmenettet vil ligeledes understøtte integreringen af VE i dette system.

Anvendelse af data fra Smart Meters giver mulighed for at få detailkendskab til flere forskellige driftsparametre og dermed dynamikken i fjernvarmenetværket bl.a. forbrugsmønstre.

AffaldVarme Aarhus (AVA) påbegyndte i 2011 et projekt, hvor to forskellige fjernvarmeområder i Aarhus blevet udpeget til testområder. Dette indebar opsætning og installation af nye unikke fjernaflæste energimålere i alle husstande i de to områder, samt forskellige andre tiltag såsom opsætning af omløbsskabe og sektionsmålere. Dette betyder at der samlet set er blevet installeret 78 fjernaflæste Smart Meters, der leverer forbrugsdata på 1-minuts basis, hvilket er en usædvanlig høj samplingsfrekvens sammenlignet med gængse installationer. Det ene testområde består af parcelhuse bygget i årene 1955 – 65 og det andet område er et parcelhusområde fra 1998 - 99, udelukkende med gulvvarme. Disse to områder udgør således et meget repræsentativt udsnit af en udbredt boligmasse i Danmark.

Med afsæt i AVA's to testområder blev der i foråret 2012 formuleret og indsendt en ansøgning til et toårigt projekt til Energistyrelsens "Energiteknologisk udviklings- og demonstrationsprogram" (EUDP). Ansøgning blev i efteråret 2012 udvalgt til at modtage støtte med projektstart i januar 2013. Denne rapport afslutter således nærværende projekt.

1.4.2 Formål med projektet

I nærværende projekt udnyttes allerede kendte softwareværktøjer Termis[®] fra Schneider Electric og MATLAB[®] fra Mathworks samt kendte statistiske metoder til at inkorporere det store datamateriale fra energimålerne, i de to testområder, i forskellige modelleringsstrategier. Formålet er således ved hjælp af allerede kendt software at udvikle værktøjer og strategier til modellering og analyser af fjernvarmenettet, samt foretage afprøvning og demonstration af forskellige driftsoptimeringstiltag med henblik på at opnå energibesparelser. Det er derfor hensigten at de udviklede værktøjer og metoder der kan facilitere energibesparelser ved:

- at anvende minutdata fra Smart Meters til at få detaljeret information om forbrugsmønstre rettet mod en mere dynamisk drift af systemerne samt til vurdering af potentialet for energibesparelse ved ændret forbrugeradfærd.
- at anvende minutdata samt viden om forbrugsmønstre, med supplerende modeller til optimering af frem- og returløbstemperaturen, herunder adressere det problem at fremløbstemperaturen ikke kan sænkes uhæmmet.
- at analysere optimeringspotentialet for driften af distributionsnettet ved tilpasning/udskiftning af forbrugerfjernvarmeunits med henblik på en optimeret/forbedret afkøling af fjernvarmevandet hos forbrugeren når fremløbstemperaturen sænkes.

1.4.3 Milepæle

Nedenfor beskrives projektets milepæle, som de er formuleret i projektansøgningen, og hvorledes og i hvilken grad projektarbejdet har opfyldt dem. Detaljeret beskrivelse af værktøjer og metoder der opfylder milepælene kan ses under punkt 1.5 "Project results and dissemination of results".

M1: Kickoff-workshop afholdt

Beskrivelse: Der afholdes en kickoff-workshop, hvor der inviteres andre danske aktører med viden og erfaring på området f.eks. DTU, AU, m.fl. Formålet med denne workshop er at få integreret nyeste viden på området i projektet.

Opfyldelse: Den 4. september 2013 blev der afholdt en workshop på Teknologisk Institut, hvor 5 af projektdeltagerne havde indlæg. Desuden var der indlæg fra Ålborg Universitet (AAU), hvor lektor Carsten Bojesen fortalte om AAU's projekt(er) om 4. generations fjernvarme. Der var ca. 50 deltagere til workshoppen der blandt andet var inviteret via VE-net, se links til præsentationer under punktet "Annex" nederst. Milepælen er således opfyldt.

M2: Generisk værktøj til bearbejdning af data udarbejdet

Beskrivelse: Arbejdet vil resultere i en generisk strategi/metode for bearbejdning af data fra de mange Smart Meters.

Opfyldelse: Projektet har resulteret i, at der er udarbejdet flere forskellige softwareværktøjer, der kan hente data i databasen med rådata og via forskellige algoritmer og processer behandle dem (lokalisere huller i data, udfylde huller, validere dataværdier og beregne usikkerheder) og derefter overføre de behandlede data til en udstillingsdatabase, hvorfra data kan tilgås for brug i videre analyser. Milepælen er således opfyldt.

M3: Termis[®] model for netværk i forsøgsområde etableret

Beskrivelse: Der udarbejdes en model i programmet Termis[®] (numerisk værktøj til hydraulisk og termodynamisk modellering og simulering af bl.a. tryk, temperatur og energi i forsyningsnettet for både frem- og returløb) hvor beregningerne bliver baseret på det filtrerede datamateriale fra de mange målere.

Opfyldelse: Der er udarbejdet flere forskellige modeller i Termis[®] for de to testområder. Desuden er der udviklet en metode, så der via Data Manager i Termis[®] kan hentes 1-minutdata, eller reduktioner af 1-minutdata, ind til at simulere forskellige scenarier. Milepælen er fuldt opfyldt.

M4: Endelig modelleringsstrategi færdigudviklet

Beskrivelse: Færdiggjort modelleringsstrategi og -værktøj til brug i arbejdsplanerne 2-3

Opfyldelse: Modelleringsstrategien og værktøjerne til at håndtere og modellere data er blevet færdiggjort. Der er endvidere beskrevet hvorledes modellerne vil kunne anvendes til Monte Carlo optimering i Termis®, og det er specificeret hvilke værktøjer der i så fald skal udvikles i Termis for at muliggøre dette. Milepælen er opfyldt.

M5: Værktøj til prædiktion af kritiske tryktab etableret

Beskrivelse: Generisk værktøj til at udregne og finde kritiske tryktab for enhver streng i distributionsnettet for ethvert datalogningstidspunkt.

Opfyldelse: Der er udviklet en grafisk brugergrænseflade i MATLAB® til at skabe distributionsnettes topologi. Endvidere er der udviklet et modul til at beregne forskellige parametre i strengene (rørene), blandt andet tryktab, baseret på rørsystemets topologi og målerdata fra alle Smart Meters i netværket. Milepælen er således opfyldt.

1.4.4 Kommercielle milepæle

KM1: Resultater fra test af samplingsfrekvens for Smart Meters tilgængelig

Beskrivelse: For at undersøge om den høje samplingsfrekvens (1 min^{-1}) er en fordel i drifts-optimeringsøjemed, sammenlignet med f.eks. timebaserede målinger, analyseres minutbase-rede data kontra data fra samme måler, men med en lavere samplingsfrekvens for evt. at finde en kritisk samplingsfrekvens hvorunder vigtig information bliver udvisket.

Opfyldelse: Der er gennemført en omfattende analyse der belyser flere aspekter af hvorledes information i data udviskes med logningsintervallet og hvorledes dette varierer for de to test-områder. Endvidere er det undersøgt om der er forskelle mellem de forskellige fyringssæso-ner hvor fordelingen mellem opvarmningsforbrug og varmtvandsforbrug varierer. Milepælen er således opfyldt.

KM2: Afprøvning og analyse af fjernvarmeunitsystemer konkluderet

Beskrivelse: Analyse af potentialet med fjernvarmeunitsystemer, der er optimeret i forhold til ændrede driftsbetingelser (sænket fremløbstemperatur og forøget volumenflow) i forbindelse med optimering af distributionsnettets drift.

Opfyldelse: Hos fire kunder i de to testområder er der blevet udskiftet og installeret fjernvar-meunitsystemer. Anlæggende er blevet udstyret med en bimåler til at måle forbruget af varmt brugsvand med henblik på kunne skille forbruget i en rumvarmedel og en varmt brugsvandsdel. Anlæggene er blevet fintunet og data bliver sendt til datalageret for både varmeenergimålerens og bimålerens vedkommende. Desværre blev det ikke muligt inden for projekts tidsmæssige rammer at opfylde den sidste del af denne milepæl, nemlig at analy-sere data fra de nye unitsystemer.

KM3: Automatiske omløbsventiler integreret, testet og analyseret

Beskrivelse: Analyse af besparelspotentialet både økonomisk og varmetabsmæssigt ved implementering af automatiske omløbsventiler i omløbsskabe.

Opfyldelse: Der er installeret og testet ventiler i 11 omløbsskabe – 9 i Aarhus og 2 i Silke-borg, og data blevet bearbejdet med henblik på at analysere besparelspotentialet ved brug af automatisk (intelligente) omløbsventiler. Milepælen er således opfyldt.

1.5 Project results and dissemination of results

1.5.1 Generelle projektforsudsætninger

I projektet hentes data fra tre datakilder placeret i de to testområder. Først og fremmest hentes data fra 65 Landis og Gyr UH50 målere installeret hos kunderne, dernæst opsamles data fra 9 målere placeret i omløbsskabe samt fra 2 sæt (samlet 4 målere) hovedmålere. Hvert sæt af hovedmålere er placeret i såkaldte blandeskabe, placeret som indløb til og udløb fra de to testområder. Hvert sæt hovedmålere består således af en energimåler i fremløbet og en i returløbet. Data fra alle 78 målere indsamles og lagres i en Oracle database (rådatabasen), hvor alle data logges med 1-minutsinterval. Fra hver af de 65 husstandsmaalere lagres følgende dataværdier: Tidstempel, total gennemstrømmet vandmængde [m^3], flow [m^3/h], Fremløbstemperatur [$^{\circ}\text{C}$], returtemperatur [$^{\circ}\text{C}$], total forbrugt energi [Wh], effekt [W], samt et par andre parametre der ikke er direkte anvendelige for driftsoptimeringen såsom f.eks. samlet driftstid.

1.5.2 Modelleringsstrategier og -værktøjer

1.5.2.1 Baggrund og problemstillinger

Mange fjernvarmeværker benytter i dag forskellige softwareprogrammer til driftsovervågning og driftsoptimering af både transmissionslinjer og distributionsnetværk. De numeriske værktøjer der pt. anvendes inden for fjernvarme til realtidssimulering og optimering af f.eks. fremløbstemperatur baserer sig på hydraulisk- og termodynamisk modellering. Inputparametre er f.eks. det målte varmeforbrug, frem- og returtemperatur, tryk, flow m.v. fra forskellige målepunkter i netværket. Desuden findes der værktøjer der alene benytter sig af statistiske algoritmer til optimering.

Der installeres i disse år et stort antal målere der logger forbrugerdata asynkront på timebasis, hvilket betyder at datalogningen for de enkelte målere sker en gang i timen, men ikke nødvendigvis på samme tidspunkt for alle målerne. Data fra målere i dette projekt er samlet med en noget højere frekvens (1 min^{-1}) og er derfor unikke for detaljerede undersøgelser af driftsforhold og -betingelser og for afklaring af hvilke fremtidige krav der bør stilles til målerne således at de ikke bare opfylder kravene til afregning men også tilføjer maksimal værdi til driftsoptimering. Der har ikke tidligere været et så detaljeret forbrugerdatamateriale tilgængeligt, som det der nu genereres via de 78 Smart Meters i de to testområder der indgår i projektet.

En af problemstillingerne der arbejdes med i projekt er, at de softwaresystemer der i dag anvendes til driftsoptimering og overvågning af fjernvarmenettet, har en række begrænsninger i forhold til at kunne anvendes med det tidligt højt opløste datasæt, der leveres fra de mange Smart Meters i netværket.

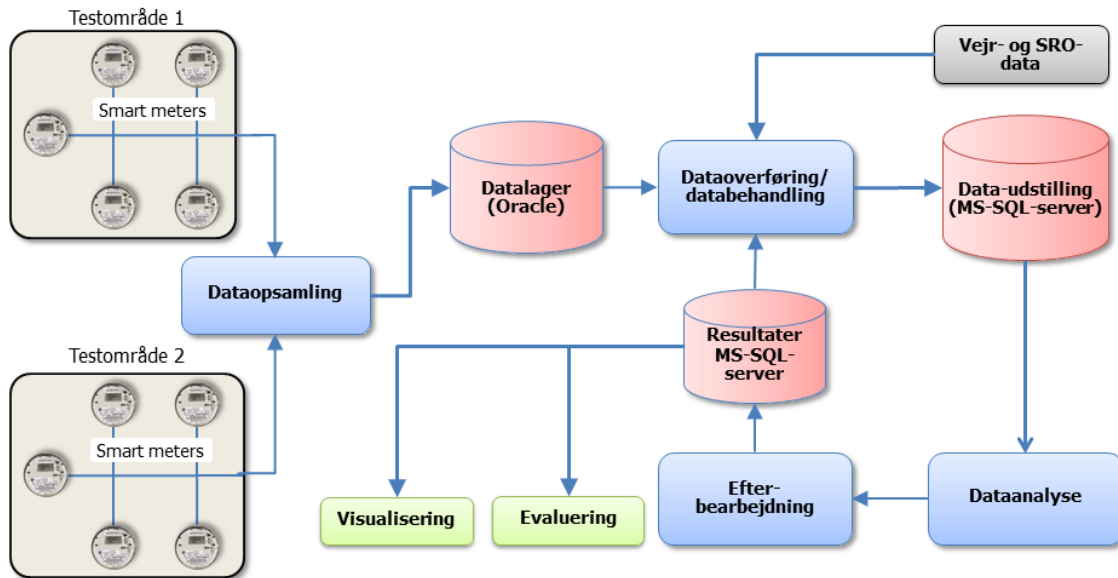
Gennem arbejdet i projektet ønskes at muliggøre anvendelsen af det minutbaserede datamateriale, fra de installerede forbrugsmålere, som grundlag for detaljerede og præcise beregninger af driftssituationen i distributionsnettet.

Det har derfor blandt andet været formålet i dette projekt at muliggøre håndtering og anvendelsen af det minutbaserede datamateriale, fra de installerede forbrugsmålere, som grundlag for detaljerede og præcise beregninger af driftssituationen i distributionsnettet.

1.5.2.2 Håndtering af data

I hvert af de to testområder logges målerdata fra alle de installerede målere på minutbasis og overføres via et radionetværk til en fælles centralt Datalager, rådata-databasen, hvor data lagres ubehandlet. Med ubehandlet menes at der ikke er gjort noget ved data ud over den beregning, der er foretaget internt i måleren af regneenheden. Denne centrale database, hvor målerdata overføres til og lagres kan være flere forskellige typer alt afhængigt af, hvad der er valgt i det pågældende setup. I dette projekt bruges en Oracle-database, som rådata-datalager.

For at klargøre data til de videre analyser og beregninger og for at kontrollere datas validitet overføres data, via et dataoverføringsværktøj (MATLAB-algoritme), fra Oracle-databasen til en generisk udstillingsdatabase (Microsoft SQL Server database). I overføringsprocessen fra rådata-datalageret til udstillingsdatabasen kontrolleres, behandles og omstruktureres data, på Figur 1 ses en principskitse af den samlede datahåndtering.



Figur 1: Dataflow og datahåndtering.

Processerne implementeret i dataoverføringsværktøjet beskrives under afsnit 1.5.2.6 Dataoverføringsværktøj.

Meningen med udstillingsdatabasen er, ud over at have en database med validerede data også at have en database, der fungerer som en generisk database, hvor data er struktureret på en bestemt måde. Uanset hvordan data bliver opsamlet og lagret i det primære datalager, vil data i den generiske database (dataudstillingen) altid være struktureret på samme måde og have de samme tabelnavne og feltnavne mm. Dette er nødvendigt for at data fra forskellige målerområder med forskellige målere kan tilgås og analyseres med det samme værktøj. Det stiller dog store krav til dataoverføringsværktøjet, der skal være så fleksibelt, at det kan hente data fra forskellige databasetyper og databaser struktureret på forskellig måde. I dette projekt er der kun arbejdet med at hente data fra den Oracle-database, der indeholder datagrundlaget for projektet. Fra dataudstillingsdatabasen kan der nu hentes verificerede data til forskellige dataanalyser i f.eks. Termis®. Efter dataanalyserne kan der evt. foretages forskellige former for postprocessing (efterbearbejdning) inden data lagres i en resultatdatabase. Fra resultatdatabasen kan data tilgås for at visualisere resultaterne eller på anden måde videre-evaluere på dem.

1.5.2.3 Usikkerhedsanalyse af data

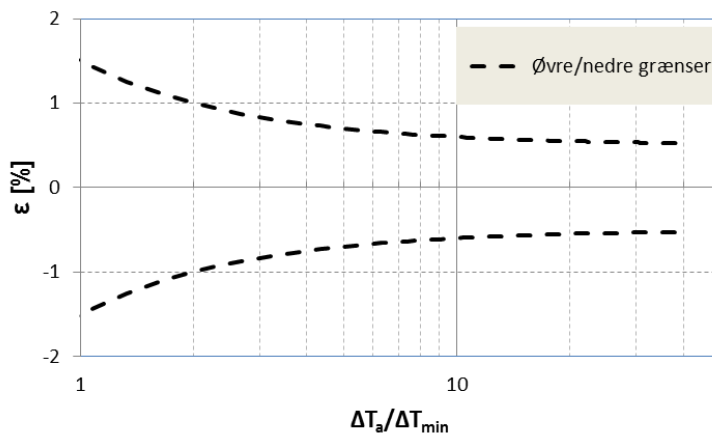
I projektet hentes og gemmes data, som beskrevet ovenfor, fra tre kilder: fra målere i blandskabe og omløbsskabe og fra målerne hos kundernes egne installationer. Data bliver således logget af et Smart Meter ved i alt 78 steder, der bl.a. måler volumenflow og temperaturer, samt beregner afkøling og energiflow, hvorefter data bliver videresendt til databehandling. Foruden flow og temperatur bliver der også registreret trykmålinger ved 13 af de 78 steder, via en udvidelse af de allerede installerede Smart Meters. Trykmålingerne bliver kun foretaget ved blande- og omløbsskabe.

Udover de nævnte tre datakilder hentes yderligere data fra AVA's vejrstation der registrerer udetemperaturen.

De data der kommer fra de i alt fire kilder kan deles op i to forskellige typer data, målte data og afledte/beregnete data. De målte data der kommer ind til databehandling er værdier der måles direkte af sensorer i Smart Meteret, hvor de afledte data er fremkommet ved at foretage videre beregninger ud fra de målte data.

For alle de opsamlede data, både målte og beregnede er det gældende, at de skal overholde de krav der stilles til øvre og nedre fejlgrænser i den europæiske standard for varmeenergimålere EN 1434. Kravene der stilles til fejlgrænserne er afhængig af hvilken datatype der er tale om og hvilken sensor der benyttes. Dertil kommer at fejlgrænserne ændrer sig afhængig af hvilken værdi der måles. Sensorerne har typisk en angivet minimumsgrænse for, hvad de kan måle. Jo tættere en måling er på denne grænse, desto større fejl (relativ) tillades.

Denne grænse vil dog bliver tilnærmet asymptotisk, hvilket vil sige at der ved målinger der ligger langt fra sensorens grænse, er en meget lille forskel i kravene til fejlene. Dette er illustreret i Figur 2, der viser kravene til bestemmelse af afkølingen (forskellen mellem de to temperatursensorer), hvor ϵ er den højeste tilladte fejl i procent og $\Delta T_a/\Delta T_{\min}$ er forholdet imellem den målte afkøling og den mindst målbare afkøling, der er lig 1 når målt afkøling er lig den mindst målbare afkøling.



Figur 2: Fejlgrænser for afkøling.

I forbindelse med projektarbejdet blev det observeret, at der til tider fremkom entydige fejl (bias) i temperaturmålingerne. På baggrund af disse observationer blev normgrundlaget for de forskellige parametre gransket. Resultatet af undersøgelsen blev beskrevet i en ud af tre artikler, udgivet i Fjernvarmen nummer 3 marts 2015 "Optimal udnyttelse af forbrugsmålere i et smart grid".

Artiklen beskriver hvordan normgrundlagets krav til fejl for bestemmelse af afkølingen, tillader at måleproducenten vælger to temperatursensorer der begge har enten entydig negativ eller positiv fejl, da normkravet til usikkerhed der vedrører temperaturforskellen er væsentlig skarpere end for de enkelte sensorer. Det betyder, at fejlene ikke vil blive udjævnet over tid, og der vil opstå en konsekvent ensidig fejl. Hvis en parameter man ønsker at bestemme, eller optimere, er afhængig af fremløbs- og/eller returløbstemperaturmålinger, vil den entydige fejl være problematisk.

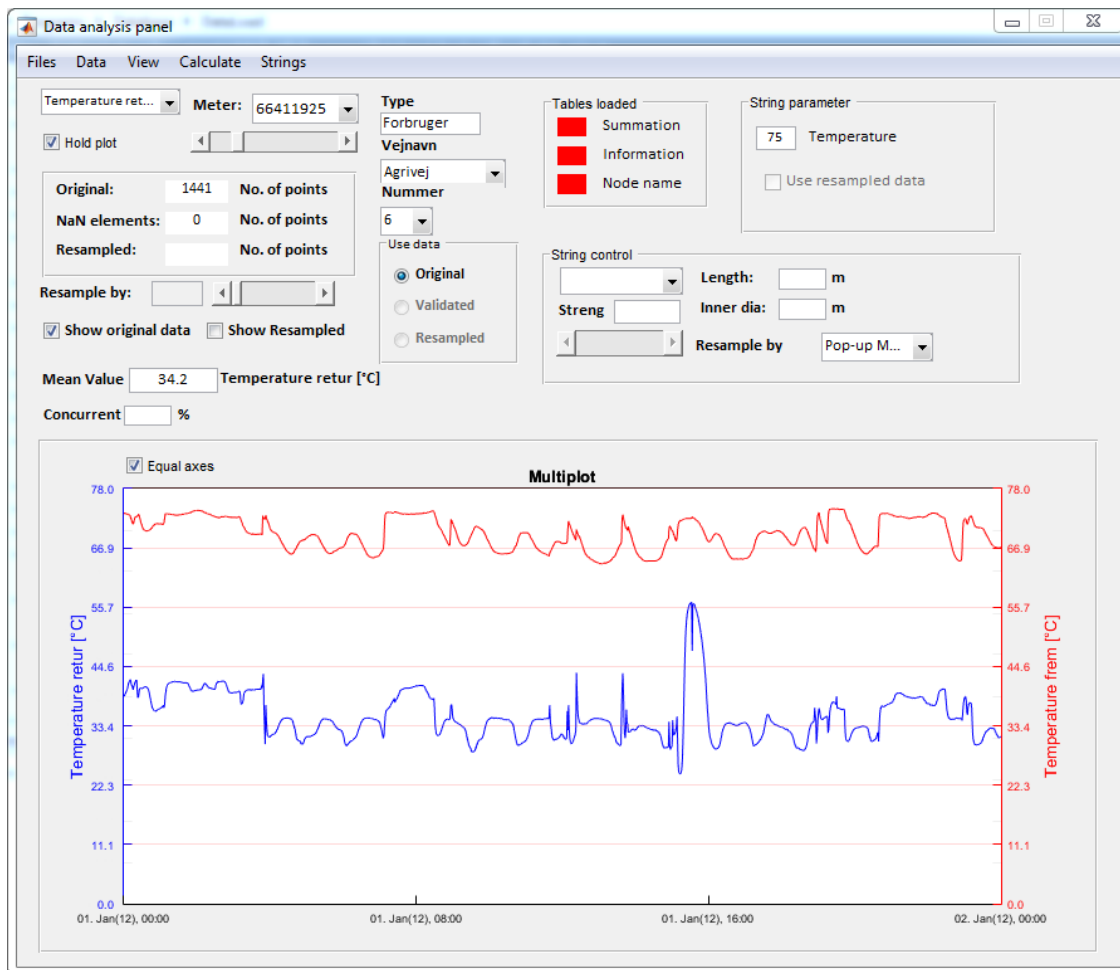
1.5.2.4 Generisk strategi og værktøjer for bearbejdning af data

Udarbejdelsen af robuste værktøjer til håndtering af data, dataoverføring og databehandling har været centrale elementer i dette projekt og der er udarbejdet fire værktøjer til at håndtere, visualisere, analysere og bearbejde data. Værktøjerne er udviklet i matematikprogrammet MATLAB®. Det har været vigtigt at udvikle generiske værktøjer og algoritmer, der kan bruges fremadrettet til analyser og beregninger på andre fjernvarmedata og -distributionsnet.

De fire værktøjer er et datavisualiserings- og datainspektionsværktøj, et dataoverføringsværktøj, et beregningsværktøj og et tryktabsberegningværktøj. De fire værktøjer er beskrevet nedenfor.

1.5.2.5 Datainspektionsværktøj

Det første værktøj der blev udarbejdet, var et værktøj til at visualisere og inspicere data fra rådata-datalagret, se Figur 3.



Figur 3: Visualisering og inspektion af rådata.

Formålet med værktøjet er kunne tilgå data på en let og overskuelig måde med henblik på visuelt at kunne inspicere og sammenligne de forskellige parametre. På figuren ovenfor er det vist, hvordan fremløbs- og returløbstemperaturen er sammenlignet for en enkelt dag.

Værktøjet indeholder også en validerings- og beregningsdel, hvor det igen er muligt at foretage forskellige beregninger og inspicere hvilken effekt, det har inden alle data overføres via dataoverføringsværktøjet til udstillingsdatabasen. Værktøjet indeholder også en beregnings- og visualiseringsdel til at visualisere og inspicere data fra beregning af flowparametre i distributionsnettet (rørsystemet), beregning af disse parametre er beskrevet i afsnit 1.5.2.8 Strengberegningsværktøj.

1.5.2.6 Dataoverføringsværktøj

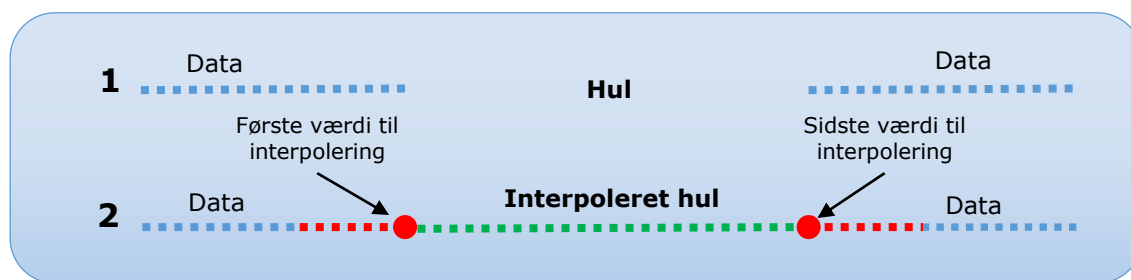
Hensigten med dette værktøj er dels at overføre data fra en givent rådata-datalager, hvor data er indsamlet via Smart Meters, til den generiske udstillingsdatabase. Det vigtigste i overføringsprocessen er dels at sikre at udstillingsdatabasen kun bliver fyldt ud med komplette og validrede datasæt, altså uden huller fra målerudfald, samt omstrukturere data, så de er konsistente og har samme struktur, samt er let tilgængelige for videre brug i drifts- og optimeringssammenhæng.

Først og fremmest kontrolleres data når de flyttes fra rådata-datalagret for fejlbehæftede værdier, hvilket betyder at der kontrolleres for dataværdier, der uden tvivl kan klassificeres som fejlagtige, som f.eks. negative værdier (hvor disse ikke burde kunne forekomme) og værdier uden for målerens måleområde. Begge typer af fejl er set i de aktuelle rådata, der har ikke været observeret nogen systematik i denne fejl og det har ikke været muligt at lokalisere årsagen yderligere.

En del af datasættene i rådata-datalagret indeholder huller (manglende data) i forhold til en fuld tidsserie, hvor alle målinger er logget og registreret for hvert eneste minut. Hullerne i dataserien er af meget varierende længde og kan være alt fra en enkelt 1-minutsværdi, der mangler, til et hul der udgør flere uger. De manglende værdier for længere perioder skyldes

fejl i datakommunikationen mellem måler og dataopsamlingen. Datakommunikationen er efterfølgende blevet optimeret og der observeres nu sjældent huller af længere varighed. Årsagen til de manglende enkelte dataværdier er sværere at finde, men skyldes formentlig en fejl, der opstår i dataopsamling og overførsel mellem målerne og rådata-datalagret. Huller i datasættene kunne muligvis være undgået ved en systematisk overvågning af dataopsamlingen fra de enkelte målere enten via en manuel inspektion eller en automatisk alarmfunktion. Hver måler har et internt datalager, hvor målerdata lagres i en given periode f.eks. en måned. Ved en fejl i kommunikationen mellem måler og dataopsamling og derved manglende indkommende data, kan data genskabes ved aktivt at hente data for en bestemt periode ud af målerens interne datalager. Da måleren kun lagrer data for en begrænset periode kræver dette at overvågningen af dataopsamlingen er effektiv nok til i tide at opdage at en måler ikke leverer data – så det er muligt at "kontakte" måleren for at hente de manglende data.

For at kunne bruge data fra alle målerne i forskellige analyseprocesser er det vigtigt, at der ikke er huller i datasættene fra en enkelt eller flere af målerne. For at sikre komplette datasæt uden huller bliver manglende data udfyldt i overføringsprocessen fra rådata-datalagret til udstillingsdatabasen. De manglende data udfyldes ved at interpolere værdier med en vægtet interpoleringsproces, hvor data før og efter de manglende værdier indgår som vægtning i interpoleringen. Interpoleringen foretages som en lineær interpolering fra starttidspunktet af hullet til sluttidspunktet af hullet. Startværdien for interpoleringen findes som et vægtet gennemsnit af et specifikt antal værdier før hullet, hvor data er tilgængelig. Slutværdien for interpoleringen findes ligeledes som et vægtet gennemsnit af et specifikt antal værdier efter hullet, hvor data igen er tilgængelig. Vægtningen foretages således at punktet længst væk for hullet bidrage mindst til gennemsnittet og punktet tættest på bidrager mest, se Figur 4.



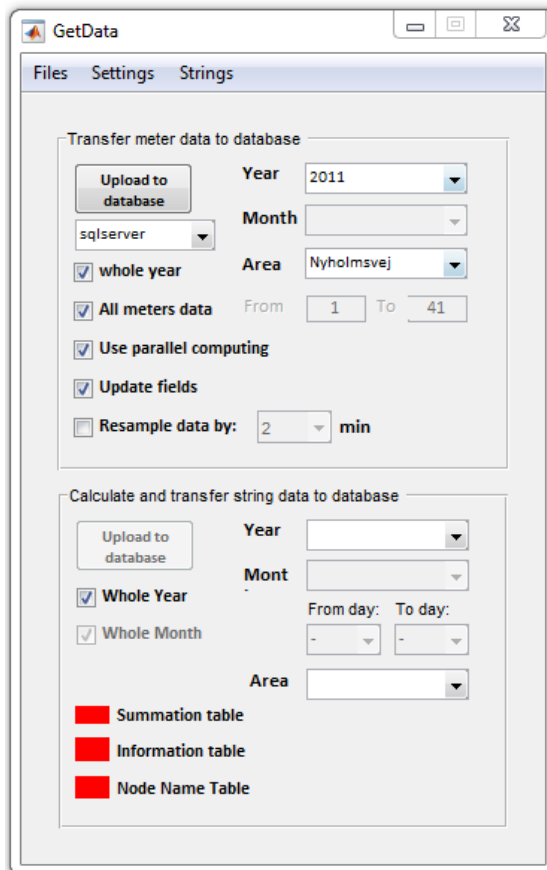
Figur 4: Udfyldning af datahuller.

For at interpolere et hul i flowdata [m^3/h] hentes loggede data for total gennemstrømmet vandmængde [m^3] for tidspunktet for sidste flowdatapunkt inden hullet og første flowdatapunkt efter hullet, hvis disse data total gennemstrømmet vandmængde ellers er tilgængelig. Total gennemstrømmet vandmængde summerer vandforbruget og forskellen mellem to værdier giver det totale vandforbrug i m^3 i en given periode. Kendes længden af denne periode kan det gennemsnitlige flow udregnes ved at dividere den gennemstrømmende vandmængde i givne periode med periodetiden, som er tidsforskellen mellem de to logningstidspunkter. Dette giver en mere nøjagtig bestemmelse af det gennemsnitlige flow end ved interpoleringsfunktionen beskrevet ovenfor, da man kender første og sidste punkt til interpoleringen nøjagtigt i modsætning til metoden beskrevet ovenfor.

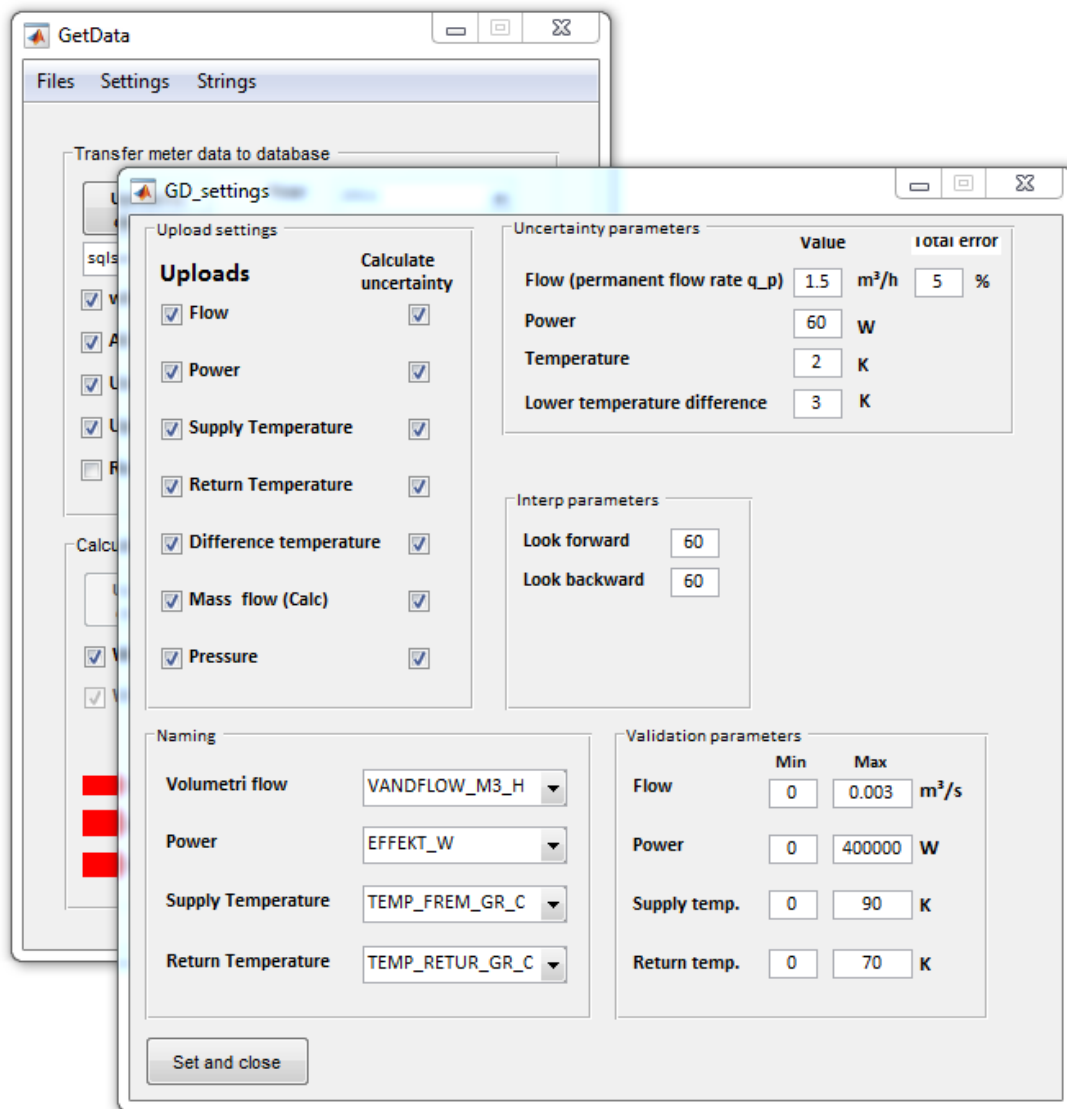
I overføringsprocessen er det også muligt at foretage en "downsampling" (midling) af datasættene, så de lagres med en lavere lognings-frekvens end 1-minutsværdier, f.eks. kan der midles, så man har en tilsyneladende logningsfrekvens på f.eks. timebasis. Dataoverføringsværktøjet er vist på Figur 5. Midlingen foretages ved at tage gennemsnittet af de foregående minutværdier. Midles der f.eks. over en time er en timeværdi gennemsnittet af de foregående 60 minutværdier.

I overføringsprocessen beregnes usikkerheden for hvert målepunkt og overføres efterfølgende til udstillingsdatabasen sammen med de tilhørende dataværdier. Usikkerheden på hvert punkt regnes som den maksimale tilladelige fejl MPE (Maximum Permissible Error) i henhold til standarden EN 1434. Den aktuelle usikkerhed på måleværdien vil dog i langt de fleste tilfælde være lavere end MPE. Det vil dog kræve en kalibrering af hver enkelt måler for at kunne bestemme de reelle usikkerheder for en given måler. I forbindelse med typetest og typegodkendelse i henhold til MåleInstrument Direktivet (MID), er målerne testet og verificerede til at ligge inden for en vis måleevne, som bekræftet ovenfor i afsnit 1.5.2.3 Usikkerhedsanalyse af data. Specifikationerne for måleren og de test der skal udføres er angivet i EN 1434. Det giver derfor et godt udgangspunkt for en usikkerhedsberegning, da måleren i alle tilfælde skal og er verificeret til at ligge inden for grænserne, der er specificeret i EN 1434.

For at gøre dataoverføringsprogrammet generisk kan parametre til usikkerhedsberegningen, samt valideringsparametre (acceptgrænser for korrekte måleværdier) for måleværdier specificeres inden dataoverføringen. Desuden kan det specificeres, hvor mange punkter der skal medtages i det vægtede gennemsnit til interpolering af manglende dataværdier, se Figur 6.



Figur 5: Dataoverføringsværktøj.

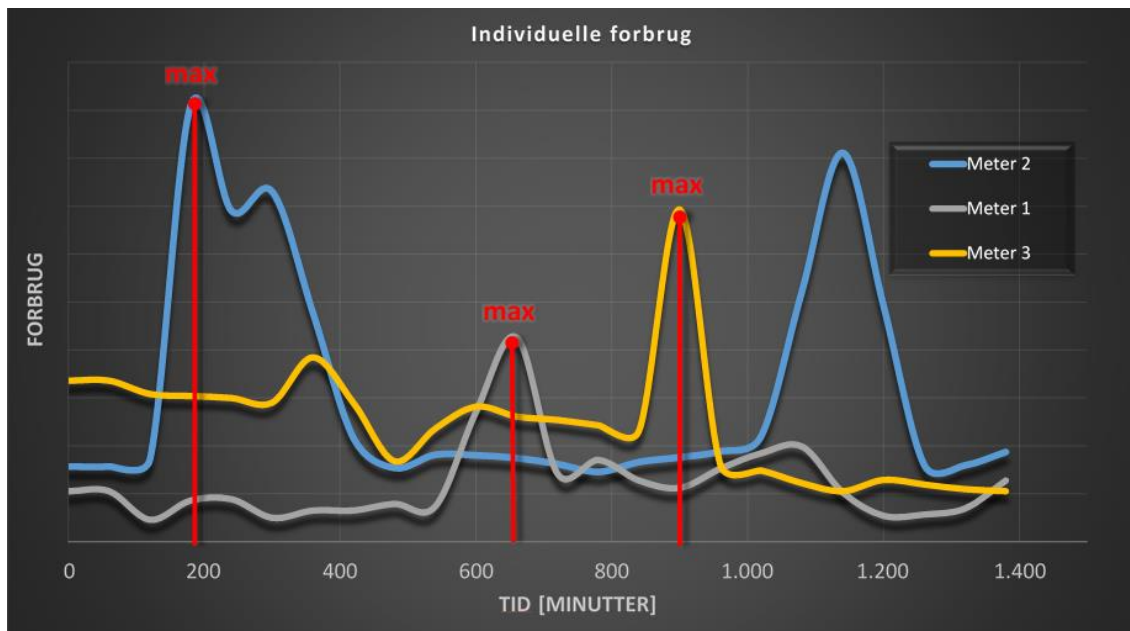


Figur 6: Indstillinger for dataoverførsel

Dataoverføringsværktøjet bruges også til at trække data ud fra dataudstillingsdatabasen og beregne forskellige parametre i strengene (rørene) i distributionsnettet og overføre dem til streng-resultatdatabasen. Denne proces beskrives nærmere i afsnittet 1.5.2.8 Strengberegningværktøj.

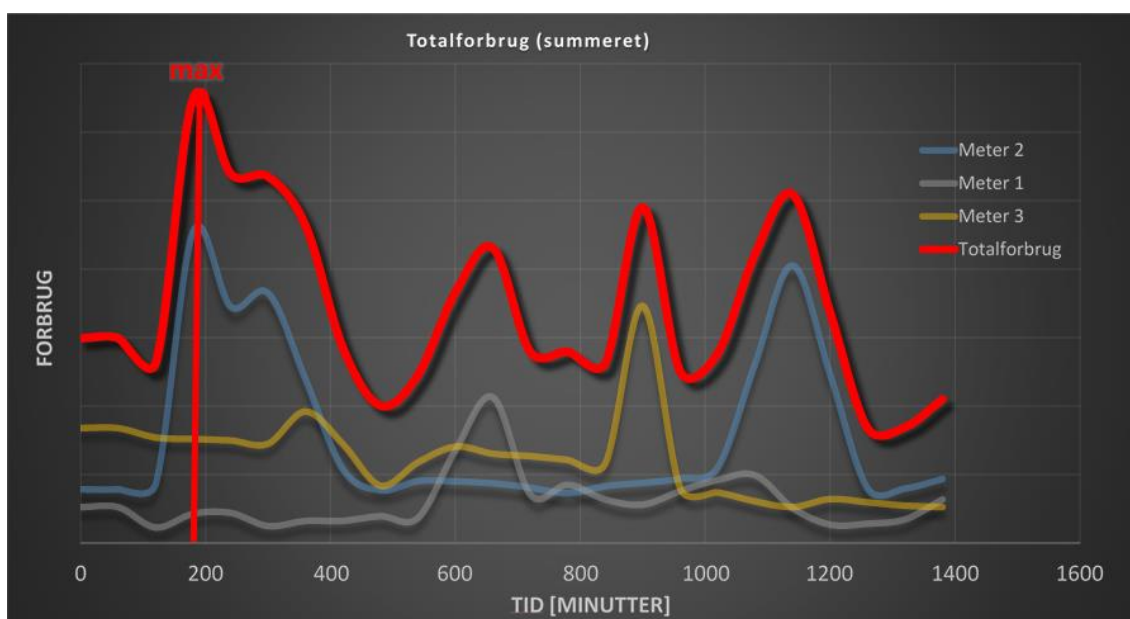
1.5.2.7 Dataanalyseværktøj

Dette værktøj arbejder kun med data fra udstillingsdatabasen og hensigten er at kunne foretage forskellige standardiserede dataanalyser. Programmet kan blandt andet bruges til at udlede samtidighedsfaktoren for et bestemt område og for en bestemt periode. Samtidighedsfaktoren er en faktor der fortæller, hvor stor en procentdel af det potentielle maksimale totalforbrug for et givet antal kunder, der optræder samtidigt. Det totale maksimale forbrug er summen af alle kunders individuelle maksimale forbrug. Men da alle kunderne ikke vil have maksimalt forbrug på samme tid bliver det summerede forbrug også mindre end det potentielle totale forbrug. På Figur 7 vises forbruget for tre målere for en dag. De lodrette streger angiver hvor hver enkelt måler har maksimalt forbrug. Det ses på figuren at de individuelle maksimal forbrug ikke overlapper hinanden i denne situation.



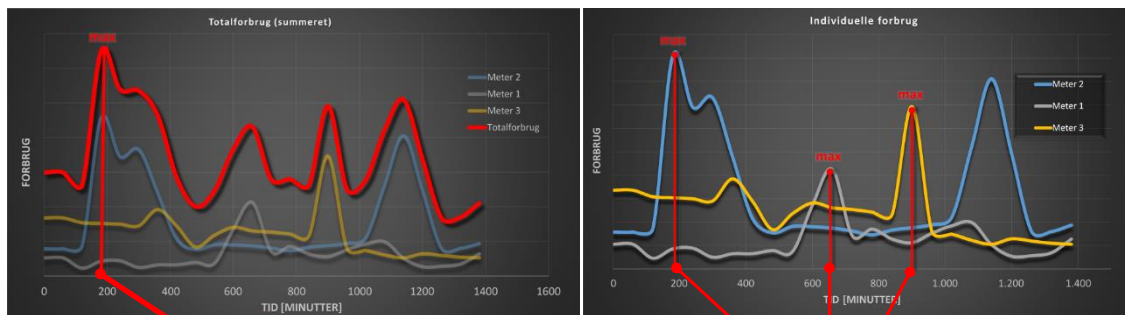
Figur 7: Illustration af samtidighed, individuelle maksimum forbrug.

På Figur 8 ses også forbruget for de tre målere, men yderligere er totalforbruget, summen af de tre målte forbrug, også vist med den kraftige røde kurve. Det reelle maksimale forbrug er markeret med den lodrette røde streg. Der ses et sammenfald mellem maksimale summerede forbrug og det maksimale forbrug for måler 2 (meter 2, Figur 8). Dette er et tilfælde, da måler 2 har så højt et forbrug at det træder markant frem i det summerede forbrug.



Figur 8: Illustration af samtidighed, totalt maksimum forbrug.

Samtidigheidsfaktoren kan nu findes som den maximale værdi af det totale forbrug delt med summen af de individuelle maksimale forbrug, se Figur 9. På figurerne er det data for et døgn der er afbilledet og derfor vil udregning af samtidigheidsfaktoren kun være inden for det pågældende døgn.



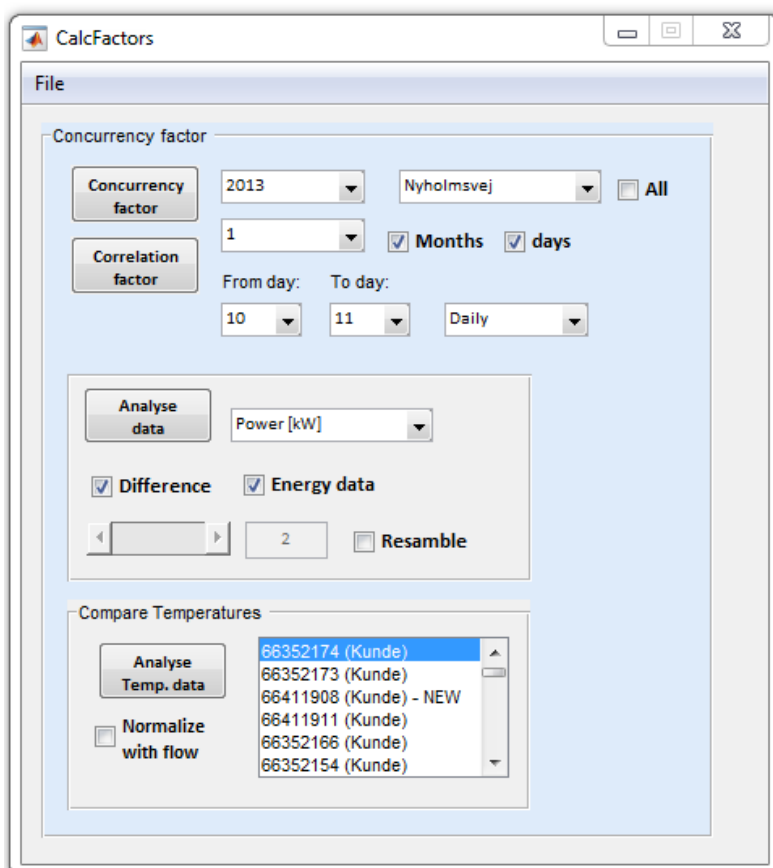
$$\max(\sum_{i=1}^n \text{Meter}_i)$$

$$\sum_{i=1}^n \max(\text{Meter}_i)$$

Figur 9: Illustration af samtidighed, beregning af samtidighedsfaktor.

Traditionelt set bliver samtidighedsfaktoren brugt i dimensioneringsøjemed inden etablering eller renovering af et fjernvarmenet. Faktoren bruges til at dimensionere forbrugsbelastningen fra et givent antal kunder i et område, se "Varmeståbi 6. udgave, afsnit 8.4 Varmebehovet og dets variation". Den traditionelle samtidighedsfaktor som angivet i Varmeståbi baserer sig på teoretiske og statistiske overvejelser og koncepter, der desuden er opdelt i to forskellige bidrag, det ene for rumopvarmning og det andet for varmt brugsvand.

I dette projekt var det intentionen at kunne udlede samtidighedsfaktoren ud fra virkelig data, dels for at kunne se om den er i overensstemmelse med den teoretiske værdi og for at se om faktoren kan bruges som driftsanalyseparameter. Som det kan ses af ovenstående, så er den reelle samtidighedsfaktor, der udregnes her, en sum af henholdsvis rumopvarmning og varmt brugsvand, da det målte forbrug både er det samlede forbrug til rumopvarmning og til varmt brugsvand. Figur 10 viser det udviklede dataanalyseværktøj:



Figur 10: Analyseværktøj til udregning af bl.a. samtidighedsfaktorer.

En væsentlig metode ved driftsoptimering af fjernvarmenettet er dynamisk regulering og generel sænkning af fremløbstemperaturen i det omfang det ikke går på kompromis med kundernes komfort og ikke modvejes af en tilsvarende stigning af returløbstemperaturen. Samlet set vil en sænkning af temperaturen i nettet bevirke at varmetabet fra rørene i distributionsnettet mindskes. Selv en lille temperatursænkning kan bevirke en væsentlig reduktion af energitabet fra rørene (varmetab til omgivelserne). Der er formentlig ikke tale om en lineær sammenhæng mellem temperaturændring og varmetab, da tabet afhænger af andre forhold end blot temperaturforskellen mellem det strømmende fluid og omgivelserne. Bl.a. har flowhastigheden af væsken i røret også en indflydelse. For at kunne foretage simple og hurtige varmetabsberegninger blev der i dataanalyseværktøjet også udviklet en algoritme, der kan bruges til at analysere forskellen mellem hovedmåleren og summen af forbrugsmålerne. Denne forskel angiver det samlede varmetab i selve distributionsnettet i den givne periode og kan således bruges til at analysere nettets varmetab i forskellige situationer og dermed udlede vigtige parametre om driftstilstanden. Det ligger dog uden for projekts afgrænsning at foretage disse analyser, og de er kun anvendt som spottjek, hvorfor de ikke er yderligere dokumenteret.

1.5.2.8 Strengberegningsværktøj

Når fremløbstemperaturen sænkes til et eksisterende boligområde, der ikke er blevet energirenoveret med henblik på sænkningen, skal volumenflowet til området øges, for at der kan leveres den samme energimængde. Det bevirker dels at pumpeeffekten skal øges, samt en forhøjelse af returtemperaturen, da kunders fjernvarmeudstyr (units: gennemstrømningsveksler eller varmtvandsbeholder) ofte ikke er dimensioneret til at give den samme afkøling af fjernvarmevandet ved det forøgede volumenflow.

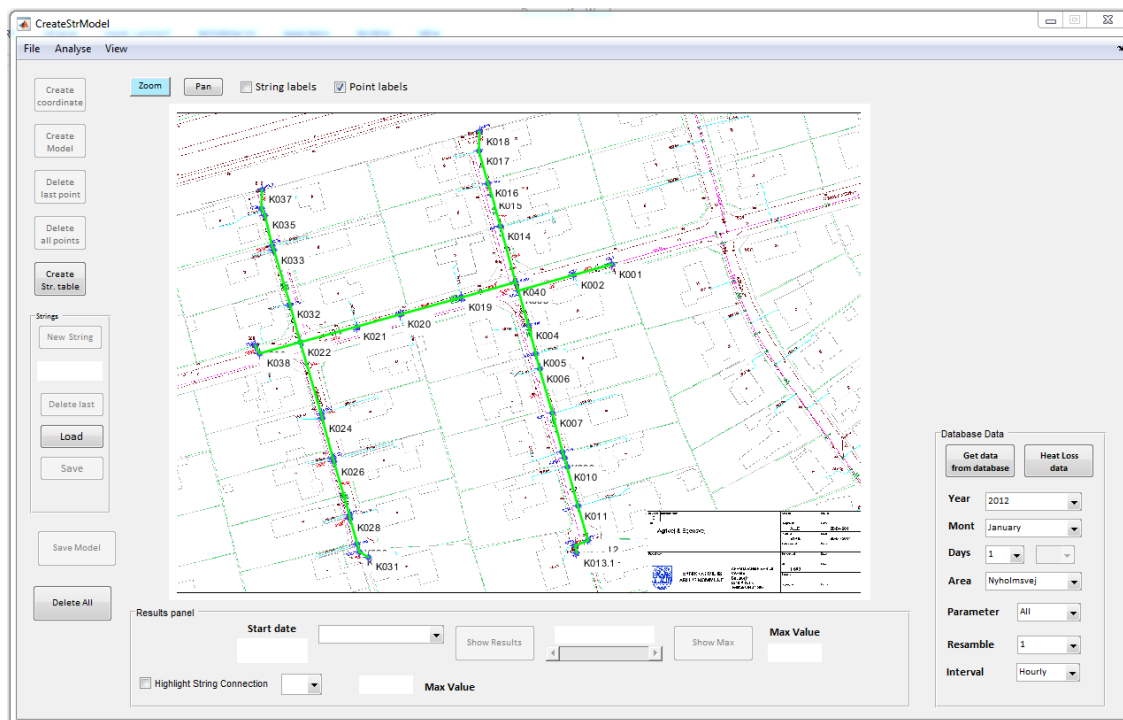
Forskellige parametre ændres som følge af en temperatursænkning bl.a. varmetab, pumpeeffekt og tryktab, som kan blive kritisk i rør der ikke er dimensioneret til det forøgede volumenflow. Desuden kan samtidigheden (angiver andelen af kunder der har maksimalt forbrug samtidigt, se ovenfor) og dermed spidsbelastningsperioder blive forskubbet i forhold til den nuværende situation. Dette skyldes at der arbejdes med en lavere fremløbstemperatur, end den distributionsnettet og forbrugerinstallationerne oprindeligt er udlagt og dimensioneret efter.

Kritiske tryktab kan medføre at et eller flere områder af distributionsnettet bliver dårligt forsynet i en spidsbelastningsperiode eller i værste fald permanent, med forringet forbrugerkomfort som resultat. Dette kan der på nuværende tidspunkt ikke tages højde for i de hydrauliske simuleringer, da det kræver et mere detaljeret datamateriale end hvad der pt. anvendes.

For at kunne beregne de forskellige parametre i alle strenge i distributionsnettet f.eks. tryktab, temperatur, flowhastighed etc. kan man enten benytte et dedikeret netberegningværktøj f.eks. Termis®, der er et numerisk værktøj til hydraulisk og termodynamisk modellering og simulering af bl.a. tryk, temperatur og energi i forsyningsnettet for både frem- og returløb.

Det er dog ikke realistisk at analysere alle tidspunkter i et-minutbaseret data i et program som Termis® for komplekse distributionsnet for større forsyninger.

Der blev derfor udviklet et værktøj til at analysere forskellige strengparametre baseret på de minutbaserede data fra målerne. Programmet giver ikke lige så detaljerede analyser, som andre kommercielle netberegningssystemer, men giver et overblik over tidspunkter hvor driftssituation kan være kritisk og hvor det kan være hensigtsmæssig at foretage detaljerede analyser og på den baggrund tage forholdsregler i forbindelse med en uhensigtsmæssig driftssituation. Strengberegningværktøjet udviklet i dette projekt er ikke bygget op på en numerisk beregningskerne, men parametre i strengene bestemmes ud fra målerdata og viden om distributionsnettes topologi og geometri. Figur 11 viser det modul, der er udviklet til at bestemme distributionsnettets topologi med.

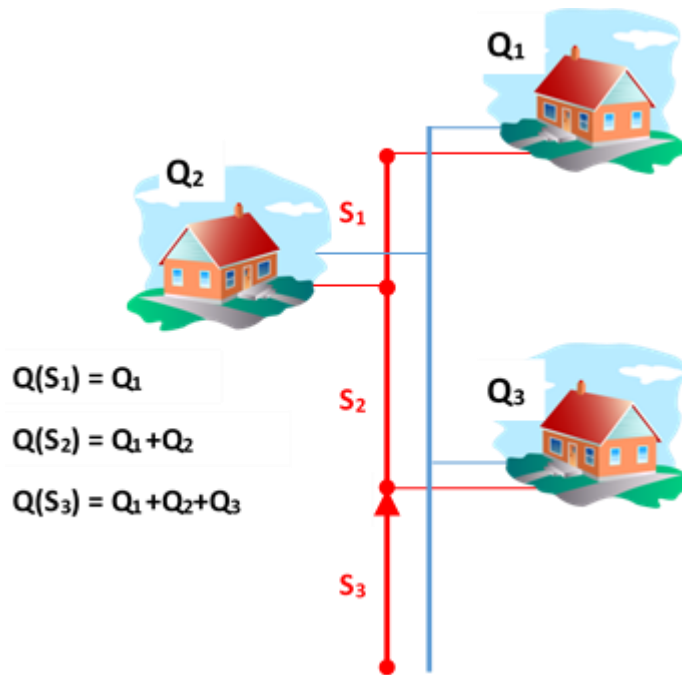


Figur 11: Analyseværktøj til strengberegninger.

Bestemmelse af topologien fungerer grundlæggende ved, at der i det ovenfor viste modul tegnes oven på et kort over distributionsnettet. Indtegningen af netværket foregår ved at indsætte knudepunkter på kortet. Et knudepunkt fortæller hvor en streng starter eller slutter. Fra en ledningsregistreringsdatabase hentes en liste over knudepunkter og en strengliste der fortæller hvilke punkter en streng (et rør) i netværket består af. En streng består altid af to knuder – en start- og en slutknode. En streng går som regel fra en afgrening af en stikledning til en anden eller fra en stikledningsafgrening til en overgang f.eks. en dimensionsændring eller en bøjning osv. Med en algoritme i MATLAB®, der er udviklet i forbindelse med strengberegningsværktøjet, findes forbindelsen mellem de forskellige strenge (topologien af netværket), således at det er bestemt hvilke strenge der hænger sammen og forsyner hinanden. Temperaturen måles ikke i strengene, men inde hos den enkelte kunde. Det betyder at temperaturen i et givent strengstykke ikke kan måles direkte, men må udledes indirekte via temperaturmålingen hos kunderne, som strengen forsyner eller via temperaturen fundet i den forsynende streng et strengstykke opstrøms. Temperaturen bestemmes med en algoritme, hvor der dels tjekkes om der er flow på den givne stikledning og om den målte temperatur er i overensstemmelse med temperaturen i nabostrengene og ikke ligger under et vist niveau.

Dette giver selvfølgelig anledning til en vis usikkerhed i bestemmelse af temperaturen i en streng. En verifikation af metoden kunne udføres ved at placere målepunkter rent fysisk (temperaturfølere) forskellige steder i strengsystemet, som man kunne verificere metoden op mod eller bruge som kalibreringspunkter under selve temperaturbestemmelsen. Det ligger dog uden for projektet afgrænsning at udføre denne verifikation.

Flowet i en streng findes ved en summeringsproces, hvor flowet i den fjerneste streng i en afgrening bestemmes først. Flowet i denne streng kan kun være summen af de flowmålinger hos de kunder strengen forsyner. Flowet i den næste streng opstrøms for den første bestemmes ved at summere flowet fra den første streng med flowet målt hos de kunder strengen forsyner, Figur 12 neden for.



Figur 12: Skematisk udsnit af et netværk med tre kunder tilknyttet. Figuren viser princippet i hvorledes flowraten i et strengstykke (rør) kan findes ved en summeringsproces, hvor f.eks. flowet i streng S3 $Q(S_3)$ kan findes som summen af de tre forbrug denne streng skal dække, nemlig Q_1 , Q_2 , og Q_3 .

1.5.3 Udarbejdelse og verifikation af Termis[®]-model

Til simulering af fjernvarmesystemet er der i projektet benyttet simuleringssoftwaren Termis[®] der produceres af Schneider Electric. I projektperioden er der bygget modeller i Termis[®] version 5 der sidst i forløbet er blevet opdateret til Termis[®] version 6.

Målinger fra såvel Smart Meters som fra AffaldVarme Aarhus' SRO-system sendes til en server hvor Data Manager modulet i Termis[®] processerer data. Herefter sendes data over til den server hvor simuleringsskemaerne kører.

I Termis[®] er der bygget fire modeller: to testmodeller (detailmodeller) der med høj detalje grad simulerer testområderne i Risskov og Skæring, og to vekslermodeller simulerer hele vekslerområder hvori de to testområder befinder sig. Transmissionsmodellen, der kun dækker værker og veksler, simulerer forholdene i transmissionsnettet ved at benytte SRO-data fra de værker der leverer varme. Resultaterne for de veksler der er tilknyttet Risskov og Skæring områderne, sendes derefter videre til de to respektive modeller, hvor de indgår som input til simuleringer.

Modellerne er grundlæggende genereret ud fra AVA's GIS system og forbrugsdatabase samt inddragelse af baggrundskort. Der er etableret en generisk metodik til bygning, vedligehold og konfiguration af modeller der skal anvende detailviden fra blandeskabe, omløbsskabe og individuelle kundemålere som indført under projektet. Det vil dermed være muligt at udvide detailmodellerne til at dække flere forbrugsområder ud fra den etablerede metodik.

Detailmodellerne kan herefter anvendes til at optimere de enkelte forbrugsområder og verificere/optimere den krævede fremløbstemperatur ved fremløbsskabet for at hver enkelt kundes behov er opfyldt. Da disse modeller endvidere er koblet op mod udstillingsdatabase kan det identificeres hvorvidt enkelte kunders varmesystemer er skyld i at der skal holdes en forholdsvis høj temperatur ved blandeskabet, og hvad den potentielle gevinst vil være ved at optimere den pågældende kundes installation.

Vekslermodellerne kan herefter anvendes til at beregne hvad de reducerede krav til fremløbstemperatur ved blandeskabene betyder for fremløbstemperaturen ved veksleren, og på den måde kan både distributionssystemet og transmissionssystemet optimeres fra kunderne og tilbage til vekslerne.

1.5.3.1 Analyse af usikkerhed i outputtet fra modelleringsværktøj

Usikkerheden i outputtet fra Termis® er estimeret ved at udføre en serie sensitivitetssimuleringer i Termis®. Overordnet set er der undersøgt to ting:

- Modelresultaternes sensitivitet overfor forskellige datareduktioner.
- Modelresultaternes sensitivitet overfor målerusikkerhed.

Modellerne konfigureres med faste randbetingelser for SRO-målingerne, dvs. målinger fra blandeskabe og omløbsskabe. Modellsensitivitet evalueres ud fra responser ved kunder og omløbsskabe. Responser vurderes ud fra konsekvens på beregnet fremløbstemperatur og returtemperatur. Sensitivitetssimuleringerne er foretaget for begge forsøgsområder for to dage, hhv. en vinterdag og en overgangsdag.

For at evaluere usikkerheden på modelberegningen er der defineret to typer af sensitivitetssimuleringer:

- De aktuelle målinger for effekt og returtemperatur er anvendt som randbetingelser og derefter er den beregnede fremløbstemperatur sammenlignet med den målte fremløbstemperatur hvorved et estimat for den numeriske og empiriske fejl introduceret af simuleringen fremkommer. Denne usikkerhed består af komponenter fra kombinationen af de hydrauliske og termodynamiske relationer samt den numeriske løsningsalgoritme.
- De aktuelle målinger for effekt og returtemperatur justeres hhv. op og ned med den **maksimalt fejl** og anvendes som randbetingelser hvorefter et estimat på modellens nøjagtighed beregnes som før. Dette vil angive yderpunkterne af modellens nøjagtighed som funktion af målerens nøjagtighed.

Ideelt set burde simuleringen angivet under punkt 2 være udført som en Monte Carlo simulering hvor der foretages et stort antal simuleringer hvor de enkelte målerfejl angivet "tilfældigt" (normalfordelt inden for udfaldsrummet). Termis® indeholder dog ikke funktionalitet der understøtter batchsimuleringer og det har derfor ikke været muligt at foretage denne analyse, der dog heller ikke ligger inden for projektet afgrænsning. For at illustrere nytten af en sådan batchkørsel er der under punkt 2 manuelt foretaget yderligere en serie simuleringer hvor alle målere påtrykkes samme fejl inden for udfaldsrummet som er inddelt i 20 intervaller.

Resultaterne for hver model, for hver periode, er gemt i individuelle databaser hvorved den endelige overordnede statistiske sensitivitetsanalyse kan foretages på disse data.

Ved online simuleringer er der desuden nogle forhold der skal adresseres relateret til energi og massebalance. I og med at flow og temperatur er målt ved alle forsyningssteder, omløb og forbrugssteder i testmodellerne vil der være en vis ubalance i systemet i og med at de beregnede masseflowmålinger på frem- og returløb ikke vil være identiske ligesom de målte returtemperaturer ved kunderne ikke nødvendigvis vil stemme overens med den målte returtemperatur ved blandeskabet. Termis® indeholder to funktioner, flowadaptation og returtemperaturadaptation som i et overbestemt onlinesystem forcerer massebalancen og returtemperaturen til at matche det der er mål ved forsyningsstedet, blandeskabet. Dette minimerer en del af effekten af fejl fra de individuelle forbrugsmålere.

Med dette in mente har sensitivitetssimuleringerne vist, at anvendes effekt som randbetingelse og påtrykkes en fiktiv fejl på ca. $\pm 2.5\%$, svarende til den maksimale tilladelige fejl på energimålerne, så vil Termis® beregne returtemperaturer ved kunderne indenfor $\pm 0.1\%$ og fremløbstemperaturen indenfor $\pm 0.5\%$ hvilket absolut er tilfredsstillende.

Disse resultater er dog kun indikative, og der bør foretages en større serie af simuleringer til at fastlægge hvorledes usikkerheden fordeler sig samt indflydelse fra fejl på temperatursensorer som i følge normen tillades at være $\pm 2.0\text{ °C}$ for den enkelte måler.

1.5.3.2 Analyse af samplingsfrekvensens indflydelse på resultatet

Med adgang til 1-minutsdata, som der opsamles under dette projekt, vil det være nærliggende direkte at antage at brugen af disse 1-minutsdata for samtlige modelkomponenter, shuntskabe, omløbsskabe og kunder vil føre til den mest nøjagtige og virkelighedstro model.

At det ikke er tilfældet, skyldes både de fysiske og termodynamiske relationer, softwaremæssige udfordringer og opløsningens indflydelse på bestemmelse af visse parametre.

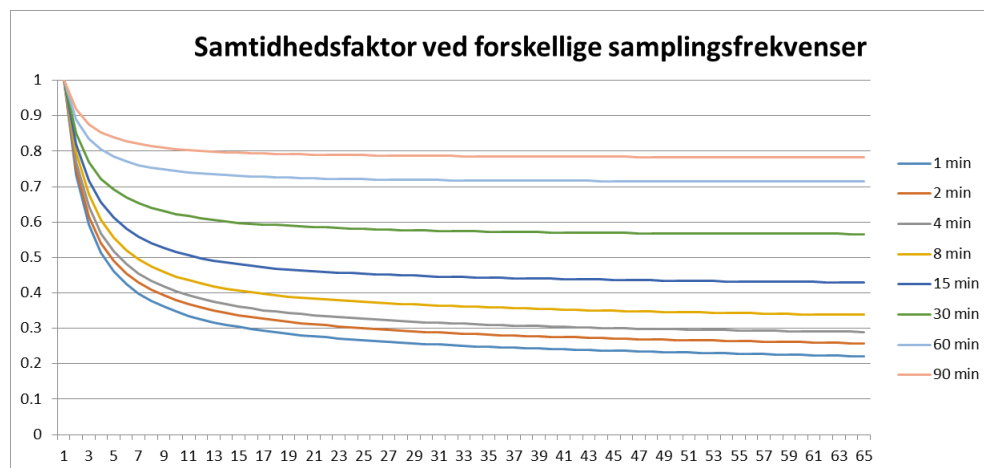
Et eksempel på en problemstilling der giver softwaremæssige udfordringer er transporttid i ledningsnettet. Når der sker en momentan ændring i forbruget hos en kunde, så slår det igennem på den tilhørende central (eller veksler eller shunt) øjeblikkeligt for flow og tryk, mens ændringer i temperatur slår i gennem i forhold til transporttiden. Dette kan føre til inkonsistens i energibalancen. Det vil typisk sige at dataopløsningen for måledata skal stemme nogenlunde overens med modellens beregningsopløsning for at få valide simuleringresultater.

En anden problemstilling er bestemmelse af samtidighedsfaktoren. Tidspunktet for maksimalt effektbehov varierer over hele døgnet for den enkelte kunde, når der betragtes meget korte intervaller, ligesom døgnprofilet for den enkelte forbruger kan ligge langt fra produktionsprofilet ved den tilhørende central (eller veksler/blandeskab/shunt). Når den maksimale belastning i et område af nettet skal bestemmes i forhold til eksempelvis ledningsdimensionering, benyttes en samtidighedsfaktor der beskriver hvor stor en andel af det maksimale forbrug der kan forventes at forekomme samtidigt.

Faktoren varierer for ledning til ledning og er afhængig af hvor mange kunder der forsynes fra den pågældende ledning (enten direkte eller nedstrøms). Er der én kunde er det denne kundes maksimale forbrug der er dimensionsgivende, i så fald er faktoren 1. Jo flere kunder der kobles på ledningen, desto mindre bliver faktoren da sandsynligheden for at alle kunder har maksimum forbrug på nøjagtigt samme tidspunkt falder. Når antallet af kunder bliver stort nok, vil værdien af samtidighedsfaktoren stagnere.

Når samtidighedsfaktoren bestemmes ved forbrugsmålinger, er samplingsfrekvensen af stor betydning. Jo højere opløsning data har, altså jo mindre samplingsfrekvens, desto mindre vil samtidighedsfaktoren være. Det skyldes særligt at brugsvandforbruget optræder i relativt korte intervaller, hvilket vil sige at der ved høj opløsning (1-, 2-, 4- eller 8 minutter) typisk ikke sker en udjævning af de individuelle peaks, samtidig med at de optræder på mange forskellige tidspunkter. Det betyder at summen af de individuelle maksimum forbrug bliver størst mulig samtidig med at maksimum af det totale forbrug bliver mindst mulig. Reduceres data i stedet til en lavere opløsning (30-, 60- eller 90 minutter) vil de fleste peaks udjævnes samtidig med at flere vil falde i samme interval og samtidighedsfaktoren vil derfor vokse. I yderste konsekvens vil samtidighedsfaktoren være identisk 1 hvis samplingsperioden var 1 døgn.

I projektet er samtidighedsfaktoren beregnet ved forskellige samplingsfrekvenser for de to områder hver for sig og for de to områder samlet. Til at bestemme faktoren er der udviklet en algoritme der løber alle måledata igennem i alle kombinationer og derved generer en middel samtidighedsfaktorkurve med tilhørende spredning for samplingsfrekvens. Figur 13 viser middelværdien for samtidighedsfaktorer der er bestemt for de samlede områder ved forskellige samplingsfrekvenser.



Figur 13: Eksperimentel samtidighedsfaktor for begge testområder.

Resultaterne af denne omfattende databehandling og analyse er udgivet i Fjernvarmen nummer 6 juni 2015 " *Eksperimentelle samtidighedsfaktorer fra et smart grid*". Artiklen belyser metoden til bestemmelse af samtidighedsfaktoren og diskuterer hvordan de i projektet bestemte faktorer ligger i forhold til den i Varme Ståbien angivne faktor. Derudover betragtes forskellen på de to områder og den effekt det har på den beregnede samtidighedsfaktor.

Analyserne af samplingsfrekvensens indflydelse på simuleringresultaterne har vist at der bør benyttes forskellige datareduktioner til forskellige formål. På baggrund af de udførte analyser er der draget følgende konklusioner:

- Ved modellering der alene skal belyse de hydrauliske forhold kan der anvendes datareduktioner helt ned til 1 minut om vinteren og 15 minutter om sommeren.
- For entydig fastlæggelse af maksimum last såvel i tid som størrelse bør datareduktionen være mindst 15 minutter om vinteren og 30 minutter om sommeren.
- Datareduktioner større end 60 minutter bør ikke anvendes hvis data skal anvendes til at modellere driftsvariationen over døgnet.
- Hvis man ønsker, at inkludere enkeltkunder i modelberegningen er det nødvendigt, at udjævne de stokastiske peaks fra enkeltkunder, hvilket betyder at datareduktionen bør være mindst 30 minutter om vinteren og 60 minutter om sommeren. Dette kan dog kompenseres og reduceres til 15 og 30 minutter respektivt, hvis modellen simplificeres således at de yderste knuder repræsenterer mindst 20-30 kunder.
- Usikkerheden på et standardiseret forbrugsprofil vil være mindre end 1-2% hvis datareduktionen er mindst 8 minutter og der indgår mindst 20 forbrugere til generering af profilet.
- Samtidighedsfaktorerne er størst om vinteren og mindst om sommeren. Samtidighedsfaktorerne aftager desuden nærmest eksponentiel mod en asymptotisk værdi med stigende antal kunder. Den asymptotiske værdi nås typisk efter 20-30 kunder.

I forhold til generel brug af online modellering som en del af et overvågnings- og optimeringssystem betyder det at en realtidsmodel der alene benyttes til overvågning af de hydrauliske forhold kan anvende 1-15 minutters data, og en realtidsmodel der anvendes til f.eks. temperaturoptimering bør anvende 30-60 minutters data.

1.5.4 Driftoptimering via automatiske omløbsventiler

1.5.4.1 Baggrund og problemstillinger

For at og sikre optimal kundekomfort, i perioder med intet eller meget lavt forbrug anvendes omløbsskabe for at sikre en tilstrækkelig høj temperatur i de fjerneste ender af distributionsnettet. I omløbsskabene ledes det varme fremløbsvand via en reguleringsventil direkte over i returledningen, hvilket bevirker at der altid er varme selv i de yderste dele af netværket. Omløbsskabene er hovedsageligt nødvendige i sommerperioden, hvor fjernvarmeforbruget er lavest, da der stort set ikke er noget behov for rumopvarmning og forbruget af varmt brugsvand er meget periodisk. Derfor ønskes en sommer- og vinterdriftsindstilling af omløbsskabene med henblik på at opnå en ikke ubetydelig energibesparelse. AffaldVarme Aarhus har ca. 3200 omløbsskabe og energibesparelspotentialet ved at køre med sommer- og vinterdrift i alle omløbsskabe er på forhånd vurderet til at være ca. 6. mio. kr. Der vil imidlertid være en ganske stor omkostning forbundet med manuelt at skulle omstille alle omløb 2 gange årligt for at skifte fra den ene driftssituation til den anden. Hvis dette kan gøres automatisk og uden at skulle anlægge permanent strømforsyning i omløbsskabene, er besparelsen opnået.

I projektets 3. arbejdsopgave testes omløbsventiler med automatisk omstilling fra sommer- til vinterdrift og tilbage igen. Forsøget blev igangsat den 1. januar 2011 og i hele 2011 blev der registreret, hvad der skete i ledningsnettet og hvor stor en vandmængde der løb igennem omløbene. I de to områder er der i alt 9 omløbsskabe, med en fordeling på 5 stk. i det ene område og 4 stk. i det andet.

Inden forsøget blev sat i gang blev alt indmad i omløbsskabene ændret, således at de efterfølgende var bestykket med hovedhaner, snavssamler, Samson Ventil type 2430K. For at

kunne registrer vandflowet i omløbet, blev der ligeledes monteret en varmeenergimåler fra Landis & Gyr af typen UH50, samt en tryktransmitter. I hele 2011 registreredes vandflowet gennem de 9 omløb hvert minut.

Den 1. januar 2012 blev fremløbstemperaturen til de to områder sænket og i den forbindelse blev alle omløb lukket i, således at der kun løb tilstrækkeligt med vand gennem omløbene til at holde dem frostfri.

Efter at have målt og registreret vandmængden gennem de daværende installerede ventiler i et år, blev det valgt at afsøge markedet for ventiler der kunne regulere bedre. Efter en del undersøgelse og test af andre ventiler fandt vi en Frese-ventil af type OPTIMA Compact. Begrundelsen for at ville sænke vandmængden var, at der i AffaldVarme Aarhus' forsyningsområde er over 3000 omløb og ved en nedsættelse af vandmængden gennem omløbene kunne der opnås store besparelser.

Den alternativ reguleringsventil fra Frese blev undersøgt og i marts 2012 blev der monteret en ventil af den type i et omløbsskab. Det viste sig hurtigt at Frese ventilen var væsentlig mere trykuafhængig end den daværende Samson ventil. Der blev dog formuleret yderligere krav til den nye ventil: Ventilen skulle kunne reguleres to gange årligt, en vinterindstilling og en sommer indstilling, hvor sommer indstillingen skulle være 60 °C i fremløbet ved omløbsskabet og vinterindstillingen 10 °C. Ventilen skulle desuden kunne reguleres fra et centralt sted, så det ikke var nødvendigt at have personale til at køre ud til omløbsskabet for at indstille ventilen to gange om året. Frese fandt en løsning på denne problemstilling sammen med Halicon (www.halicon.dk). Løsningen gik ud på, at generere strøm via temperaturforskellen mellem omgivelserne og det varme fjernvarmevand via såkaldte TEG-moduler (Thermo elektrisk generator).

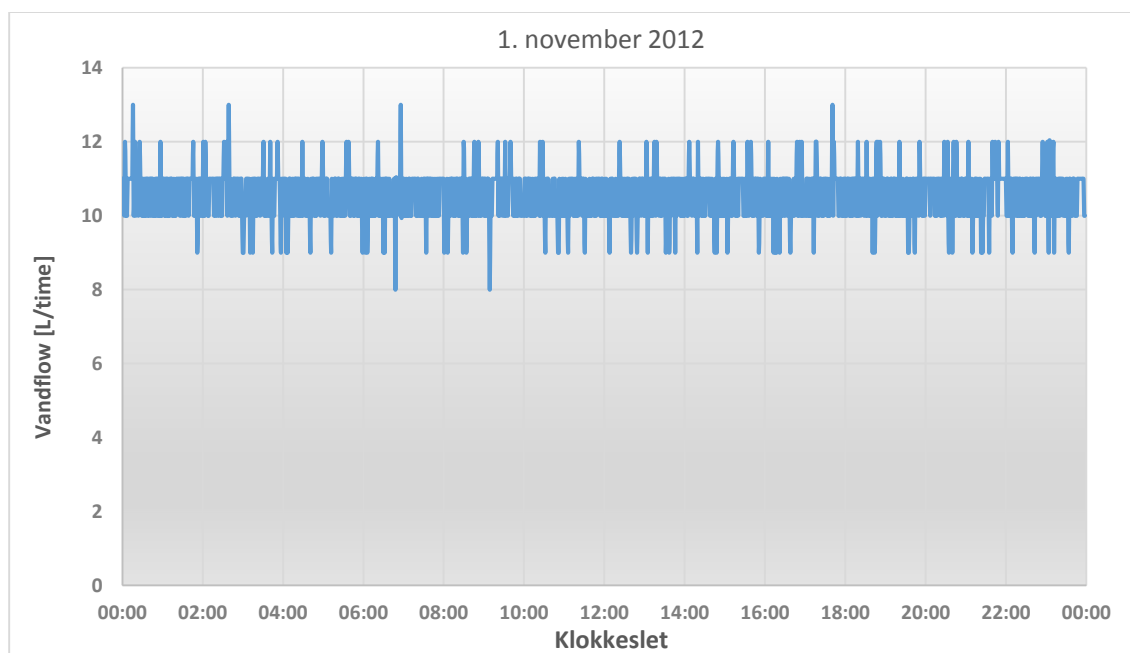
Den 1. maj 2012 blev alle ventiler i de 9 omløbsskabe udskiftet til Frese OPTIMA Compact ventiler. Ventilerne blev dog i første omgang monteret med et termostathoved for at få en fornuftig regulering, indtil TEG-modulerne var klar.

Halicon arbejdede videre med en løsning og fik foretaget de nødvendig tests. I slutningen af august 2012 blev der monteret et TEG modul i alle omløbsskabe. Den 1. september blev TEG-modulerne sat i drift og har siden leveret strøm til at regulere ventilerne i omløbsskabene.

1.5.4.2 Resultater

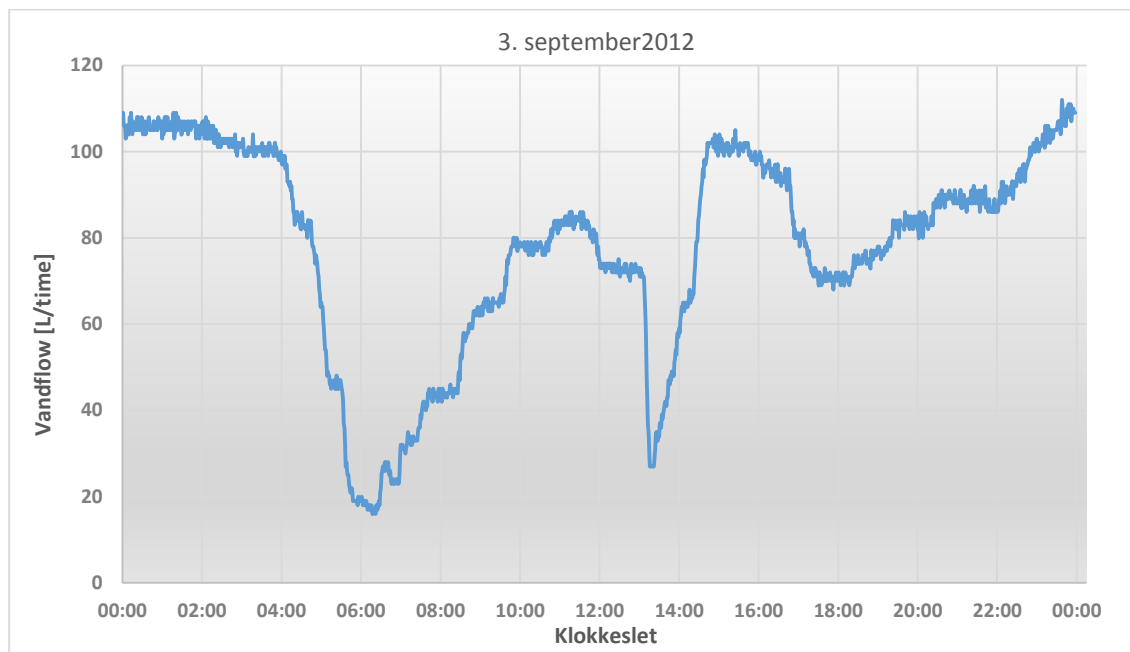
Den 1. oktober 2012 blev ventilerne indstillet på vinterdrift. Det vil sige at vandflowet gennem omløbene blev reduceret til max. 10 L/h. Hvilket svarer til at den holdes frostfri.

På Figur 14 kan ses en typisk dagsituation for en vinterdag, med en meget konstant vandmængde gennem omløbet.



Figur 14: Vandflow gennem et omløb en novemberdag

Som beskrevet ovenfor blev alle de 9 omløb sat i vinterdrift den 1. oktober 2012. Den 1. april 2013 blev de 9 omløb igen skiftet til sommerdrift. Sommerdrift vil sige at de skulle holde en temperatur på 60 °C under alle driftssituationer. Af Figur 15 fremgår en sommerdrifts situation for et af de 9 omløb.



Figur 15: Vandflow gennem et omløb en sommerdag

Af kurven for sommerdrift fremgår det klart at kundernes forbrug har en indflydelse på vandflowet gennem det enkelte omløb. AffaldVarme Aarhus har over en periode på 4 år holdt øje med besparelsespotentialer i de 9 omløb.

I nærværende er der kun fokuseret på vandflowet. Det vil sige at der kun er regnet med besparelse i vandflow, der skal tilbage til varmekædet/vekslerstationen for at blive opvarmet. Der er ikke indregnet et ændret varmetab i ledningsnettet ved den ændre flowsituation, samt et fald i returtemperaturen. Besparelsen i vandflowet vil også give et fald i pumpeudgifterne, hvilket heller ikke er regnet med i nærværende besparelse.

I de 9 omløb var der i 2011 en cirkulerende vandmængde på 5.429 m³. I 2012 var der en cirkulerende vandmængde på 1.532 m³ gennem de 9 omløb. Det skal dog bemærkes at der i 2012 blev udført en del forskellige test for at presse systemet.

I 2013 var der en cirkulerende vandmængde på 2.195 m³ gennem de 9 omløb. I 2013 blev de 9 omløb reguleret via den nye selvregulerende ventilløsning med TEG-moduler.

I 2014 er vandmængden gennem omløbene ligeledes registreret, dog har der ved opgørelsestidspunktet kun data fra de første 11 måneder, men i disse måneder har der været en samlet vandmængde gennem omløbene på 2.796 m³.

Da der i 2011 er en væsentlig større vandmængde gennem omløbene og de efterfølgende år er et generelt fald, dog med en stigning i vandmængden i perioden fra 2012 til 2014, er det undersøgt hvordan graddagene har været i de 4 år.

År	2011	2012	2013	2014 (11 måneder)
Graddage	2.733	2.918	2.890	2.040 (11 måneder)
Vandmængde i m ³	5.429	1.532	2.195	2.796
Vandmængde (m ³) pr. graddag	1,99	0,52	0,75	1,37

Det kan ud fra tabellen ovenfor konkluderes at jo varmere det er over et år (jo flere antal graddage) jo større vandmængde skal der gennem omløbene.

Delkonklusion:

I AffaldVarme Aarhus' forsyningsområde er omløbene placeret i omløbsskabe eller i omløbsbrønde ved næsten alle veje. I omløbsskabe/brønde er der monteret en nåleventil, en FJVR returventil eller en Samson ventil. I forsøget i dette projekt er der ændret på ventiltypen og måden at regulere ventilen på. Måden at regulere ventilen på er sket via en Thermo elektrisk Generator som producerer strøm via differensstemperaturen mellem fjernvarmevandet og omgivelserne. Det har vist sig at der via TEG-modulerne kan fremstilles tilstrækkelig strøm til at regulere ventilerne og via SMS'er sende temperatur indstillingen på ventilen tilbage til den centrale styring hos forsyningselskabet. Etablering af denne regulering faciliterer at der kan opnås store besparelser på vandgennemstrømningen i omløbene.

Det kan derfor konkluderes at man ved at regulere vandflowet gennem omløbene kan opnå store besparelser i sit fjernvarme system.

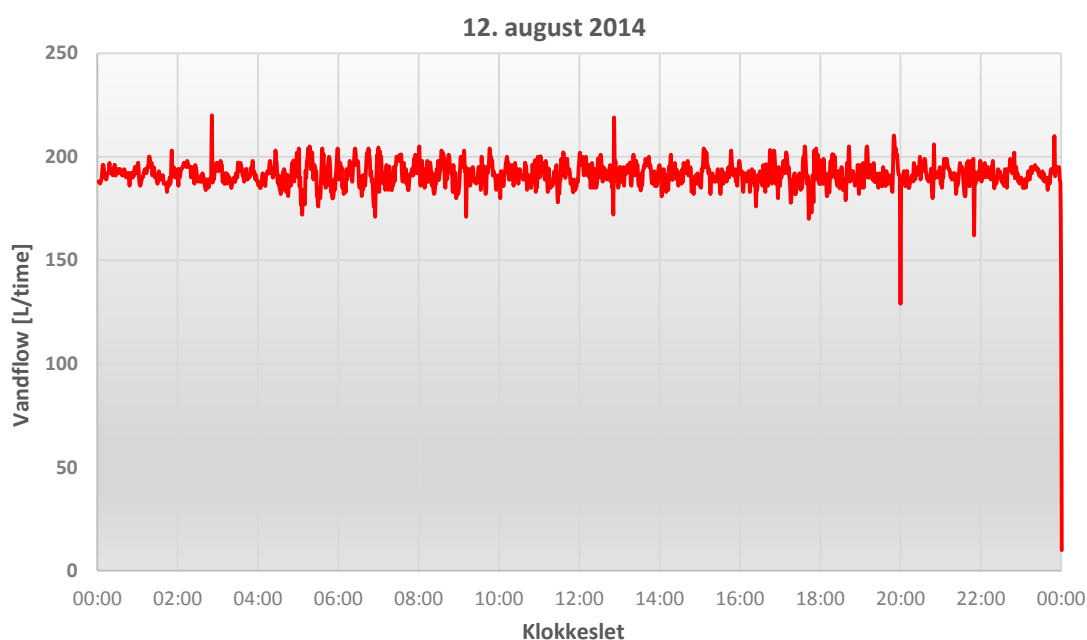
1.5.4.3 Afprøvning og analyse af potentiale hos andet fjernvarme selskab:

For at konstatere om samme effekt kan opnås ved andre fjernvarmeværker i lighed med AffaldVarme Aarhus' ledningsnet blev der i 2013 opstillet 2 omløbsskabe i Silkeborg Forsynings område.

Der blev opstillet to omløbsskabe i to forskellige områder i Silkeborg. De to skabe blev opstillet i sommeren 2013 og Affald Varme Aarhus modtog de første data fra de 2 skabe den 3. september 2013. På grund af antenneforholdene i området var der i starten en del udfordringer med data fra de to omløbsskabe. Dette blev løst hen over efteråret og i slutningen af året var dataflowet tilfredsstillende.

I forbindelse med udskiftning af antenner på de to omløbsskabe i Silkeborg blev de også indstillet til vinterdrift. Der blev opretholdt vinterdrift på de to omløb i Silkeborg frem til den 23. april 2014.

Døgnkurverne for de to omløb i Silkeborg ligner ikke de døgnkurver i Aarhus (se Figur 16).



Figur 16: Vandflow gennem omløb for et døgn i Silkeborg

I vintersituationen er vandmængden den samme som i Aarhus et sted mellem 8 og 10 l/h for at holde omløbene frostfri.

Men når de bliver indstillet til sommerdrift ændres mønsteret i de to omløb i forhold til døgnmønsteret for de 9 omløb der er etableret i Aarhus.

I det ene omløb er temperaturen holdt på ca. 60 °C, mens den i det andet ligger omkring de 57 °C.

Fra den 1. maj 2014 og til den 29. september 2014 har man fra Silkeborg Forsynings kraftvarmeværk haft en gennemsnitlig fremløbstemperatur på 66,1 °C. fra værket.

Omløbene i Silkeborg er placeret meget langt væk ca. 6-7 km fra værket, mens de 9 omløb i forsøgsområderne i Aarhus kun er ca. 1,5 km fra blandesløjfen i blandeskabet.

Et andet faktum er at omløbene i Silkeborg kører mere efter fremløbstemperaturstyringen via Termis® og derfor har behov for en større vandmængde gennem omløbene for at oprettholde de 60 °C. i den fjerneste ende af ledningsnettet.

Omløbs nummer	Vandmængde [m ³] gennem omløb
Omløb 156	516
Omløb 157	353
Omløb 158	943
Omløb 159	117
Omløb 610	167
Omløb 611	75
Omløb 612	378
Omløb 613	215
Omløb 668	32
Silkeborg 1	931
Silkeborg 2	1.053

Delkonklusion:

For Silkeborg har vi desværre ikke data fra de to omløb i en førsituation. Selv om der er forskel på vandmængden gennem de to omløb og de 9 omløb der findes i Aarhus er det vores vurdering at montering af et såkaldt intelligent omløb giver en stor besparelse i forhold til det klassiske termostatisk omløb.

1.5.5 Projektformidling

Projekt er blevet formidlet gennem 4 artikler i Dansk Fjernvarmes månedsskrift "Fjernvarmen" se ANNEX, med en femte på vej.

Desuden er projektets og dets resultater blevet præsenteret via forskellige indlæg på Flowte-madag i 2013 Og 2014, Dansk Fjernvarmes landsmøde 2014 og på et IDA arrangement i IDA-E 2015.

1.6 Utilization of project results

Et af de vigtigste resultater af projektet for AVA er den øgede viden omkring samtidighedsfaktorer og afhængigheden af boligmassens type samt opvarmningsform, kombineret med perioden hvorover spidslasten skal leveres. Denne viden vil indgå i AVA's strategi for fremtidige udbygninger og renoveringer. Eksisterende erfaring fra AVA har vist, at bygherre ofte oplyser uforholdsmæssigt store krav til ønsket maksimaleffekt, der viser sig kun at optræde meget sjældent og kun i korte minut-intervaller. Disse få minut-spidsværdier påvirker ikke driften af nettet grundet trægheden i nettet, men vil føre til en overinvestering ved tilslutning af kunderne. Ved at have øget fokus på sammenhængen mellem ønsket maksimaleffekt og perioden hvorover denne skal leveres, kan der opnås potentielt store anlægsbesparelser. Projektet har belyst princippet, men yderligere data bør inddrages for at dokumentere dette endeligt med tilstrækkelig statistisk konfidens og derved underbygge tendensen.

Projektet har for Landis+Gyr vedkommende været en verificering af, at Landis+Gyr's fjernvarmeløsning med legale målere vil kunne bruges parallelt til dels at indhente data fra nettet i høj opløsning kombineret med eksterne sensorer og automatisk styring af ventiler i intelligente omløb hos forbrugerne, til optimering af fjernvarmenettet med hensyn til tryk, temperatur og flow. Landis+Gyr har under projektførelsen kunnet fintune den pakkedløsning som nu markedsføres og tilbydes vores fjernvarmekunder i bestræbelserne på intelligente og automatiske optimeringsløsninger i kombination med eksisterende Landis+Gyr intelligente fjernvarmemålere.

For Teknologisk Instituts vedkommende har projektet resulteret i forskellige softwareværktøjer til datahåndtering og databehandling udviklet i MATLAB® med MS-SQL SERVER som database platform, samt en indsigt i databehandling og dataanalyser af fjernvarmeforbrugsdata.

Disse værktøjer og indsigt vil inddrages i fremtidige projekter og forsøgt videreudviklet til værktøjer der forhåbentligt kan bruges enten af Teknologisk Institut til at tilbyde rådgivning og analyser for mindre fjernvarmeforsyninger eller til færdige værktøjer det kan benyttes af fjernvarmeforsyningerne selv.

1.7 Project conclusion and perspective

Projektet har været et vigtigt skridt i retningen af at bruge data fra fjernaflæste afregningsmålere til andet end afregning, hvor der har været arbejdet med at generere en lang række af konkrete værktøjer og metoder til at foretage analyser på fjernvarmenet, som på sigt kan være med til at optimere driften af fjernvarmenet og dermed forbedre økonomien og effektiviteten ved drift af fjernvarmedistributionsnet. Desuden er der foretaget forskellige indledende konkrete analyser af driftsparametre f.eks. samtidighedsfaktoren, en analysemetode som også er blevet implementeret i et af de udviklede softwareanalyseværktøjer. Desuden er der foretaget analyser af optimerede omløbsventilløsninger, der har dokumenteret denne løsnings energimæssige og økonomiske besparelspotentiale.

Projektet har vist at selv med data fra et begrænset antal målere (de 78 stk. i dette projekt) er datahåndtering, -verificering og -behandling en udfordring, der ikke er trivial at løse.

Projektet har genereret prototyper af nye softwareværktøjer, som på sigt kan udvikles til værdifulde optimeringsværktøjer der giver detaljerede driftsanalyser i forbindelse med driften af fjernvarmesystemer. Dataanalyser foretaget i projektet har vist at logningsintervallet for en forbrugsmåler ikke er ligegyldig når data ikke udelukkende skal bruges til afregning, men også indgår i forskellige driftsanalyser, som det er vist for analyse af samtidighedsfaktoren.

Hovedkonklusionerne af projektet er samlet i nedenstående liste:

- Øget indførelse af Smart Meters giver mulighed for dynamisk optimering af driften af fjernvarmenetværket samt bedre og hurtigere lokalisering af uheldsmæssige eller deciderede defekte kundeinstallationer. Standarden for varmeenergimålere, norm EN-1434, er dog alene baseret på at måleren anvendes til afregning hvilket ikke er tilstrækkeligt for optimal udnyttelse af Smart Meters som et støtte til drift og optimering. Fjernvarmeforsyningen bør derfor stille yderligere krav til målerne ved indførelse af Smart Meters. Ideelt set bør standarden revideres.
- Standarden for brug af samtidighedsfaktorer som angivet i Varme Ståbi er blevet kvalitativt eftervist og holder stadig. Dog er der fundet grundlag for at overveje en yderligere kvantitativ differentiering af samtidighedsfaktoren da denne er indikeret værende afhængig af såvel boligmasse og opvarmningsform samt perioden hvorover maksimal varmebehov skal kunne leveres. Det vil derfor være interessant at etablere et forsøgsprojekt med større datagrundlag til yderligere undersøgelse af dette.
- Ved brug af hydrauliske og termodynamiske modelleringsværktøjer, som f.eks. Termis® kan de øgede informationer om kundernes individuelle varmekonsum anvendes til at skabe mere detaljeret viden om optimering af nettet end det tidligere har været muligt. Den øgede mængde af data er anvendt til at udføre en sensitivitetanalyse for både anvendt dataopsamlingsinterval samt målerusikkerhed, hvor følgende er fundet:
 - Dataintervaller kortere end 30 minutter bør ikke anvendes for termodynamiske analyser grundet trægheden den energimæssige træghed i nettet. For hydrauliske analyser kan der anvendes kortere intervaller.
 - Målerfejl der ligger på den maksimale tilladelse i henhold til EN-1434 vil føre til en gennemsnitlig fejl i simuleringerne på 0,1 % for returtemperaturer ved kunderne og 0.5 % for fremløbstemperatur ved veksler

De softwareværktøjer der er udviklet i MATLAB® og de metoder der er implementeret i Termis® har et stort videreudviklingspotentiale, som der vil blive arbejdet videre med via forskellige projekttiltag og kommercialiseringer i fremtiden. Dette indbefatter bl.a. strengberegningværktøjet, der er et relativt simpelt værktøj til at foretage simple og hurtige analyser af driftsparametre i et fjernvarmenet, som ved videreudvikling kan blive et værktøj, der kan

bruges af mindre fjernvarmeværker til at få en dybere og mere detaljeret indsigt i alle grene af deres distributionsnet. Videreudvikling omfatter bl.a. udvikling af et generisk modul til at hente fjernvarmeforsyningernes kundeforbrugsdata fra forskellige databasesystemer (ikke kun ORACLE, som der er blevet brugt i dette projekt), data som skal anvendes i værktøjets netberegningsdel. En anden konkret videreudvikling er at kombinere modelgenereringen i Strengberegningstværktøjet med GIS-data, så knudepunkternes placering kan genereres automatisk, hvorved det manuelle og krævende arbejde med placering af mange knudepunkter kan undgås og strengmodellen kan således genereres fuldautomatisk.

Validering og vurdering af måledatas kvalitet er et andet vigtigt fokuspunkt, som der bør arbejdet videre med. Gennem projektet er det blevet klart, at hvis man ønsker at bruge måledata fra legale afregningsmålere til videre analyser eller som inputparametre i analyseværktøjer som f.eks. Termis® er datakvaliteten, og herunder usikkerheden på måledata, vigtig en vigtig parameter at holde sig for øje.

Annex

Links:

Kickoff-workshop:

<http://www.teknologisk.dk/projekter/driftsoptimering-af-smart-grid/seminar-om-fjernvarmens-rolle-i-smart-energy/34137,2>

Artikler:

Fjernvarmen nr. 2 februar 2014: Fjernvarmeforsyning er også et Smart Grid

Fjernvarmen nr. 3 marts 2014: Et fjernvarme-Smart Grid i praksis

Fjernvarmen nr. 3 marts 2015: Optimal udnyttelse af forbrugsmålere i et smart grid

Fjernvarmen nr. 6 juni 2015: Eksperimentelle samtidighedsfaktorer fra et smart grid

Indlæg:

Flowtemadag, Teknologisk Institut, Aarhus, 2013 (ca. 30 deltagere)

Flowtemadag, Force Technology, Brøndby, 2014 (ca. 50 deltagere)

Dansk Fjernvarmes landsmøde, Aalborg, 2014 (ca. 500 deltagere)

IDA arrangement i IDA E, København, 2015 (ca. 28 deltagere)