

Simple modeller for belastningsudjævning og driftsoptimering

Fysisk-matematisk modellering af fjernvarmesystemer ved anvendelse af aggregerede modeller kan minimere driftsomkostningerne og beregne effekten af belastningsudjævning i de tilsluttede bygninger.



DRIFTSOPTIMERING

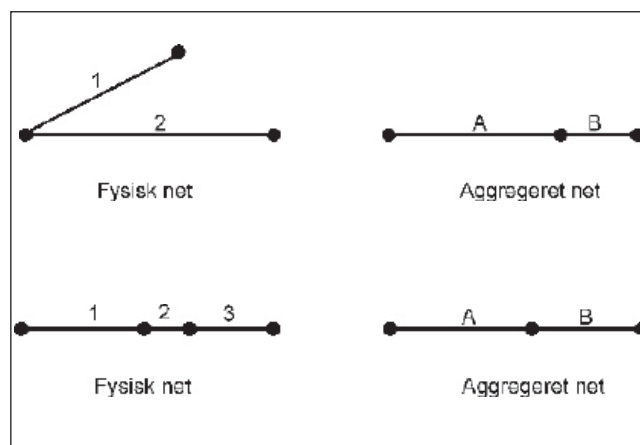
Af Benny Bøhm, MEK DTU, og Helge V. Larsen, Systemanalyse Risø.

EFP01-projektet "Simple models of district heating systems for load and demand side management and operational optimisation" ("Simple modeller for fjernvarmesystemer med henblik på belastningsudjævning og driftsoptimering") er netop afsluttet.

Projektet er gennemført i et samarbejde mellem Institut for Mekanik, Energi og Konstruktion (MEK), Danmarks Tekniske Universitet, og Forskningscenter Risø, Afdeling for Systemanalyse, samt Fjernvarmeforsyningen i Rødovre kommune, Vestegnens Kraftvarmeselskab og Danfoss A/S.

Modellering og aggregering

Fysisk-matematisk modellering af fjernvarmesystemer kan – i modsætning til "black box" modellering (f.eks. tidsserieanalyse) – håndtere komplek-



Figur 1. Metode til aggregering af fjernvarmenet. Ændring fra træstruktur til linienet, samt efterfølgende fjernelse af korte ledninger.

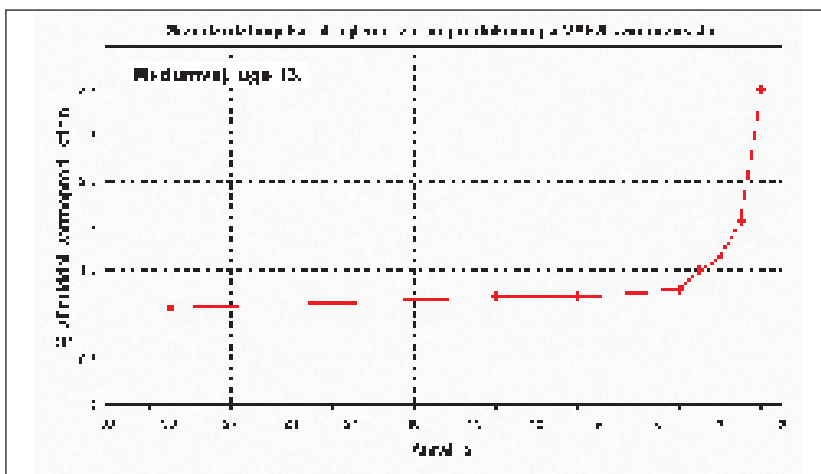
se fjernvarmenet og fjernvarmesystemer med flere produktionsenheder. En ulempe ved fysisk-matematisk modellering er, at der må foreligge information (viden eller antagelser) om fjernvarmenettets fysiske struktur, om varmebehovene i bygningerne og om varmeanlæggenes afkøling (samt om andre størrelser) for at en simulering kan gennemføres.

Selv med dagens hurtige computere er det at finde en optimal fremløbs-temperaturkurve for den kommende periode (1-2 døgn), samt fordelingen af produktionen på flere produktionsenheder, en stor udfordring.

For at reducere beregningstiden er aggregerede modeller af fjernvarmenet og forbrugere (bygninger) et attraktivt alternativ til at anvende en fuldstændig fysisk beskrivelse af fjernvarmesystemet.

Figur 1 viser de grundlæggende skridt ved en aggregering af fjernvarmenet. Først føres informationen fra sidegrenene ind på hovedledningerne. Ved denne procedure ændres de fysiske parametre til aggregerede størrelser, f.eks. størrelsen på ledningsdiametre og længder. I næste skridt reduceres antallet af knudepunkter i det opnåede linienet. Aggregeringen kan fortsættes, indtil der kun er en ledning tilbage.

Det er i rapporten vist, at antallet af ledninger og forbrugere kan reduceres til 3-5, uden at det forøger simule-



Figur 2. Madumvej, uge 13 2003. Fejl i % af middelvarmeproduktionen som funktion af antallet af rør.

ringsunøjagtigheden væsentligt, jvf. figur 2. Ved en on-line applikation vil usikkerheden hidrørende fra vej- og belastningsprognoser være langt større end den unøjagtighed, der kommer fra aggregeringen.

Figur 3 viser det fysiske fjernvarmenet i området Madumvej under Rødovre Fjernvarmeforsyning, samt nogle aggregerede linienet af det samme område.

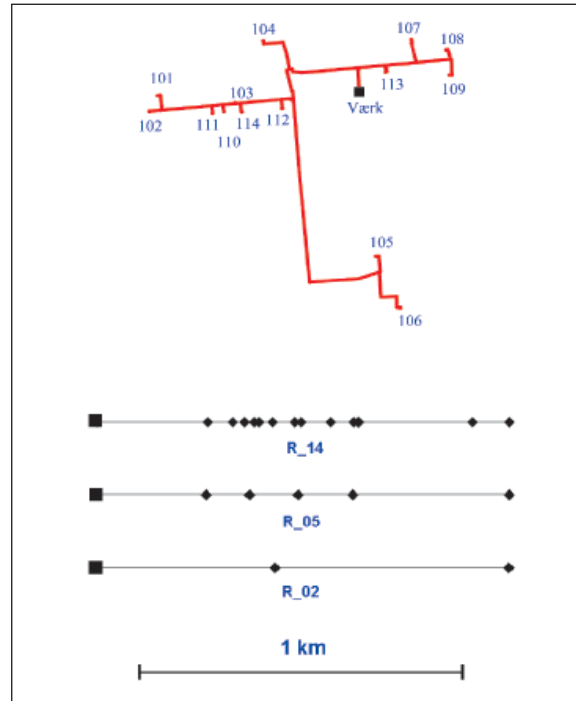
Opnåede besparelser i regnetid

Aggregerede såvel som fuldstændige beskrivelser af fjernvarmesystemer er blevet anvendt til at bestemme det optimale temperaturniveau. Ved optimeringen minimeres driftsomkostningerne for de næste 48 timer ved at vælge det forløb for fremløbstemperaturkurven, der giver de mindste omkostninger. For Hvalsø Kraftvarmeværk med 535 forbrugere kan beregningstiden til at finde den optimale løsning reduceres fra 5 timer til 0,3 time ved at benytte en 12-rørs aggregeret model i stedet for den fysiske model. Reduktionen hænger sammen med løsningen af varmevekslerligningen, og derfor påvirker den model, der benyttes for bygningernes afkølingsevne, den reduktion af regnetiden, der kan opnås. Anvendes der ikke en varmevekslermodel i hver bygning, bliver reduktionen mindre. For Madumvej (uden varmevekslermodel) blev opnået en reduktion i beregningstid fra 50 minutter for den fysiske model til 7 minutter for en 5-rørs model.

Optimal fremløbstemperatur

Det optimale temperaturniveau for et fjernvarmesystem afhænger af en lang række størrelser, f.eks. rørdesign (rørdiameterne påvirker pumpeomkostningen), geografisk udbredelse (ledningslængden påvirker varmetabet), liniebelastning (varmetæthed) og prisstruktur (dyrt eller billigt brændsel sammenlignet med elektricitet til pumper). Hvert fjernvarmesystem har derfor sin egen optimale løsning. Selv om pumpeomkostningen typisk er lille i forhold til totalomkostningen, så skal pumpekurven overholdes i den fundne løsning.

For fjernvarmesystemer med høj linie-



Figur 3. Det fysiske fjernvarmenet på Madumvej, samt tre aggregerede modeller af det samme net.

belastning og lav brændselspris/elektricitetspris-forhold som i Rødovre, er den optimale temperatur høj (90-105 °C om vinteren). For fjernvarmesystemer med store (procentiske) varmetab er temperaturniveauet lavere.

Tariffen bestemmer den optimale fremløbstemperatur

I dette arbejde betragtes fjernvarmesystemer forsynet fra VEKS, og incitaments-tariffen (der indgår i afregningsgrundlaget mellem VEKS og fjernvarmeselskaberne) vedr. daglige belastningsvariationer og returtemperaturen i vekslerstationen skal medtages ved en optimering. Incitamentstariffen har stor indflydelse på den optimale fremløbstemperaturkurve.

Figur 4 viser som et eksempel en optimal fremløbstemperaturkurve for Madumvej. Figuren viser endvidere den beregnede returtemperatur ved veksleren til VEKS, og den samlede målte belastning i bygningerne. Ved at følge den optimale (røde) kurve i stedet for den lilla, så opnår fjernvarmeselskabet en reduktion i afgiften til VEKS for daglige belastningsvariationer. Besparelsen er her 20% af driftsomkostningen, og den opnås først og fremmest ved at reducere betalingen til VEKS for belastningsvariationen, medens pumpeomkostning

og varmetab faktisk stiger 1,8% ved at følge den optimale kurve i forhold til at følge den målte fremløbstemperaturkurve. Figur 5 viser de indgående parametre i incitamentstariffen for de pågældende to døgn, nemlig en vægtet returtemperatur ved veksleren samt f-faktoren, der udtrykker belastningsvariationerne ved veksleren. Reduktionen i f-faktoren har størst betydning. Det fremgår af figuren, at belastningsvariationen på centralen (veksleren) kun kan ændres i beskedent omfang, når bygningernes belastning ligger fast. Er det muligt at flytte belastningen i bygningerne tidsmæssigt, så vil der kunne opnås langt større reduktion i f-faktoren.

Det bør understreges, at returtemperaturens afhængighed af fremløbstemperaturen er baseret på en model for bygningens varmeanlæg, og at strategien ikke er afprøvet i praksis.

DSM og det frie marked

I projektet er også undersøgt, hvilke driftsbesparelser der kan opnås for fjernvarmeselskabet ved at ændre belastningerne i de tilsluttede bygninger. Betegnelsen Demand Side Management (DSM) anvendes ofte for denne ændring af belastningen, hvor man typisk vil flytte spidslast til lav-

(Fortsættes side 28)

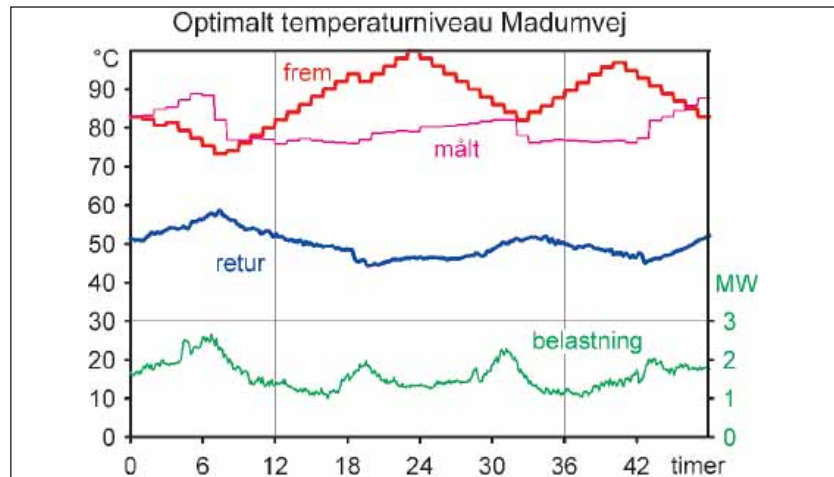
(Fortsat fra side 27)

lastperioder. DSM bør også medtages, når det optimale temperaturniveau fastlægges. Forbrugere og fjernvarmeselskabet bør udarbejde en strategi for DSM til fælles gavn, således at fjernvarmeselskabet kan reducere belastningsspidserne, når det er hensigtsmæssigt. Det er i rapporten vist, at DSM på Ishøj Varmeværk og på Madumvej i Rødovre kan reducere driftsomkostningerne betragteligt.

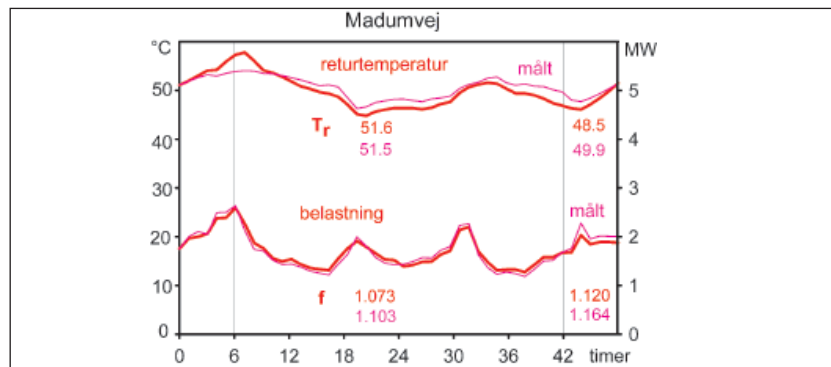
Driftoptimering af fjernvarmesystemer må formodes at blive mere kompliceret i fremtiden, ikke kun for elektricitetsproducerende enheder (eventuelt med tilknyttede varmelagre), men også ved ren varmedistribution. Emissionskvoter (CO₂) og variable gas- og elektricitetspriser må medtages ved en fremtidig optimering foruden de basale driftsomkostninger til pumper og varmetab. Der ligger derfor en stor udfordring – og et stort potentiale – i at videreudvikle de fysisk-matematiske modeller, i at automatisere datagenerering til simuleringssystemet, og i at få optimeringen til at foregå "on-line".

Projektrapporten kan hentes på adressen <http://www.risoe.dk/ris-publ/nei/nei-dk-4389.pdf>.

bb@mek.dtu.dk



Figur 4. Madumvej, uge 13 2003. Optimal fremløbstemperaturkurve (rød), den tilhørende returtemperatur (blå) ved VEKS-veksleren, samt summen af bygningernes belastning (grøn). Den lilla kurve er den målte fremløbstemperatur.



Figur 5. Madumvej, uge 13 2003. Parametre i incitamentstariffen: Returtemperatur og f-faktor ved VEKS-veksleren opgjort på døgnbasis, dels ved den optimale fremløbstemperaturkurve (rød) og dels ved den målte fremløbstemperatur (lilla). For detaljer henvises til rapporten.