

# Dynamisk Varme Lagring i nettet og Demand Side Management i bygninger

Præsentation af resultater fra IEA Annex VII projekt 2005:8DHC-05.06, der nu er afsluttet.



**EFFEKTIVISERING**

Af Benny Bøhm, Danmarks Tekniske Universitet, Michael Wigbels, Fraunhofer UMSICHT, Tyskland, Kari Sipilä, VTT, Finland, Børge Smith Hansen, Gert Jensen og Arne Madsen, Næstved Varmeværk A.m.b.A.

Et fjernvarmenet har et stort potentiale for at lagre energi, og en optimal udnyttelse heraf vil forøge fjernvarmesystemets nyttevirkning.

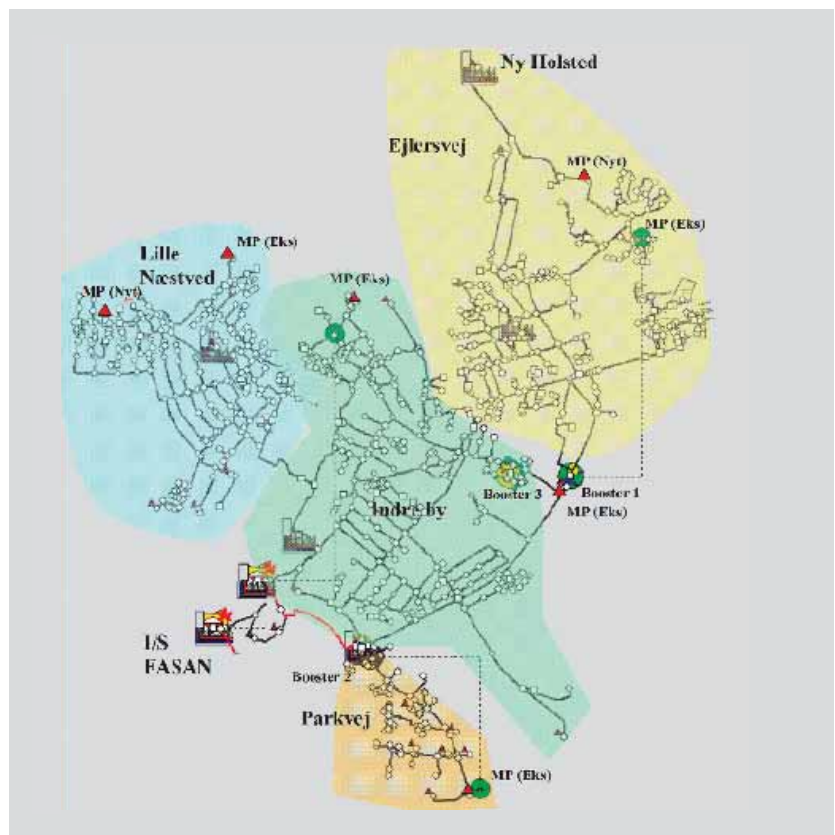
Medens Dynamisk Varme Lagring (DVL) kan anvendes ved produktion og distribution, så er Demand Side Management (DSM) en lovende mulighed for at forbedre økonomien ved at reducere belastningsspidser fra bygningerne.

I FJERNVARMEN 9/2004, ref. /1/, findes en kort beskrivelse af IEA projektet, der blev gennemført af UMSICHT, Tyskland, VTT, Finland, og MEK DTU. I projektet blev strategier for Dynamisk Varme Lagring og Demand Side Management analyseret som et supplement til varmelagring i ståltanke eller i andre typer af varmelagre.

I Næstved er det vist, hvordan DVL kan anvendes til at lagre varme i fjernvarmenettet, hvis der opstår et forsyningssvigt fra affaldsforbrændingen eller kraftvarmeværket.

For delområdet Parkvej i Næstved og Jyväskylä i Finland er det vist, hvordan DVL kan benyttes til at undgå anvendelsen af dyrt brændsel ved en morgenspids.

For Oberhausen (EVO) i Tyskland er det analyseret, hvordan en adskillelse af varme- og elproduk-



Figur 1. Fjernvarmesystemet i Næstved.

tionen i et kraftvarmesystem kan føre til en økonomisk gevinst.

## Projektets resultater kan kort siges at være:

For fjernvarmesystemer med elproduktion (Jyväskylä og EVO) kan DVL forøge muligheden for at producere strøm, resulterende i besparelser på op til 2% per dag. For den finske fjernvarmesektor skønnes besparelsen at være omkring 20 Mkr. pr. år.

For fjernvarmesystemer uden elpro-

duktion vil besparelsen være mindre, men DVL kan anvendes til at gemme varme produceret på det billigste brændsel.

DSM kan anvendes til at reducere spidsbelastninger for at omlægge fra dyrt til billigt brændsel. Besparelspotentialet er 1-2 % (Jyväskylä og Næstved). For den finske fjernvarmesektor er den mulige besparelse på omkring 40 Mkr. pr. år. Hertil kommer, at behovet for at bygge spidslastcentraler ved en

mulig udvidelse af fjernvarmesystemet mindskes.

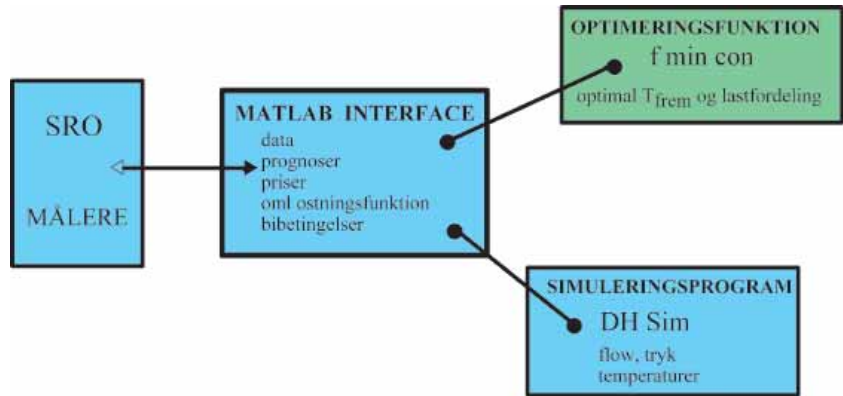
**Optimering af Parkvej, Næstved, for 21.-22. januar 2004**

Som beskrevet i FJERNVARMEN 9/2004 er der blevet opsamlet data fra de 17 største bygninger i Næstved, og disse data blev sammen med en aggregeret model af hele Næstved-nettet benyttet til at analysere, hvad der sker, hvis affaldsforbrændingen stopper (tilsigtet eller utilsigtet).

Delområdet Parkvej åbnede endvidere muligheden for at gennemføre simuleringer og optimeringer for et fjernvarmesystem, hvor samtlige varmekonsumter er kendte.

Området består af 41 bygninger i den sydøstlige del af Næstved, jvf. Figur 1. Samtlige målere fjernaflæses, og endvidere måles flow og temperaturer ved indgangen til området. For at skabe en interessant (men realistisk) driftssituation antages det, at Næstved består af 5 ens områder, hver svarende til Parkvej, herefter kaldet Ny Parkvej.

Det antages endvidere, at prisen på naturgas ved et forbrug over 30 MW er ca. 3 gange dyrere end prisen under 30 MW. Middelbelastningen i Ny Parkvej er 31.2 MW i perioden.



Figur 2. Opbygning af optimeringsmodel.

Med denne kontrakt på naturgas gælder det altså om at holde belastningen mest mulig under 30 MW, og for at opnå dette kan man enten prøve at gemme varmen i fjernvarmenettet, og/eller man kan regulere bygningernes belastning (DSM).

Figur 2 fremgangsmåden ved optimeringen. Vi har her valgt at anvende Matlab som interface, og at foretage optimeringen med funktionen "fmincon" i Matlab. Historiske data (5-minutters værdier) overføres fra SRO-anlæg og fjernaflæsningssystem via

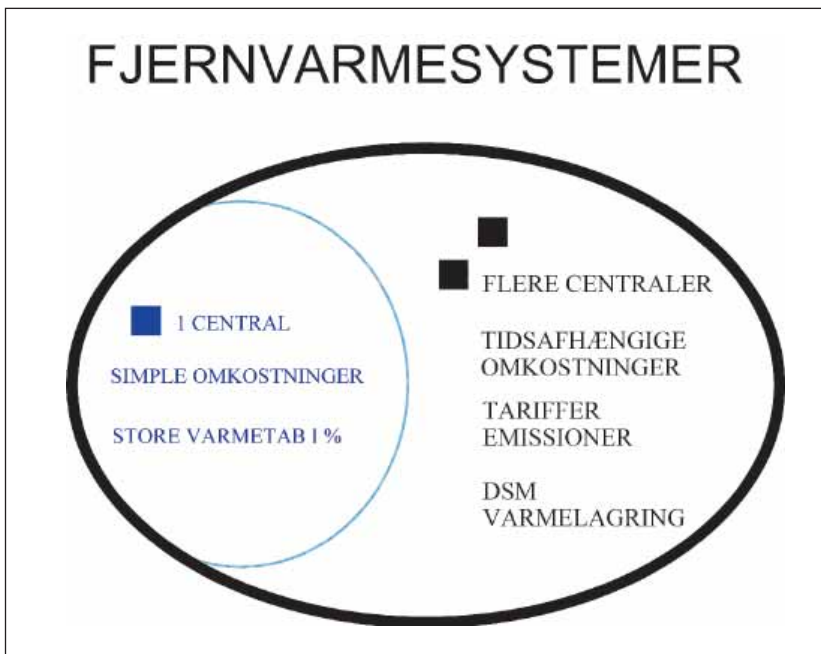
Interfacet til simuleringsprogrammet DH Sim, jvf. /1/, der simulerer driften gennem den valgte periode (her er valgt 48 timer i januar 2004).

Resultatet fra simuleringen overføres via Interfacet til "fmincon", der successivt bestemmer den fremløbstemperaturkurve, der minimerer driftsomkostningerne – vel at mærke uden at bibetingelserne overskrides. Der er her typisk tale om pumpekurven og den maksimale tilladte ændring af fremløbstemperaturen, her 2 °C pr. time. Det antages endvidere, at første og sidste værdi for fremløbstemperaturen skal være ens.

Som nævnt har vi anvendt Matlab og DH Sim, men der kunne også være tale om GAMS som interface og Bofit som simuleringsprogram (anvendes ofte af UMSICHT) eller andre programmer. Den valgte metode kan håndtere generelle optimeringsproblestillinger, og skal ses i modsætning til visse "pseudo-optimeringer", der undertiden anvendes for særligt simple tilfælde, f.eks. hvor varmetabet er den dominerende omkostning, jvf. figur 3.

DHSim anvender målte tidsserier for varmebehov og primær returtemperatur fra bygningerne. Det er meget vigtigt, at returtemperaturens afhængighed af fremløbstemperaturen modelleres korrekt ved optimeringen.

(fortsættes næste side)



Figur 3. Figuren viser de tilfælde, hvor det er nødvendigt at beregne og minimere driftsomkostningerne, samt nogle mere simple tilfælde, hvor fremløbstemperaturstyring kan anvendes (det blå område).

(fortsat fra forrige side)

For Ny Parkvej anvendes følgende udtryk for den nye returtemperatur  $Tr\_prim^*(t)$  ved en ny fremløbstemperatur  $Ts\_prim^*(t)$ :

$$Tr\_prim^*(t) = Tr\_prim(t) + [(Ts\_prim^*(t) / Ts\_prim(t))^{(a)} - 1] \cdot 5,$$

med

$a = -1$ , når ny fremløbstemperatur  $Ts\_prim^*(t) >$  målt fremløbstemperatur  $Ts\_prim(t)$

og

$a = -3$ , når  $Ts\_prim^*(t) \leq Ts\_prim(t)$ .

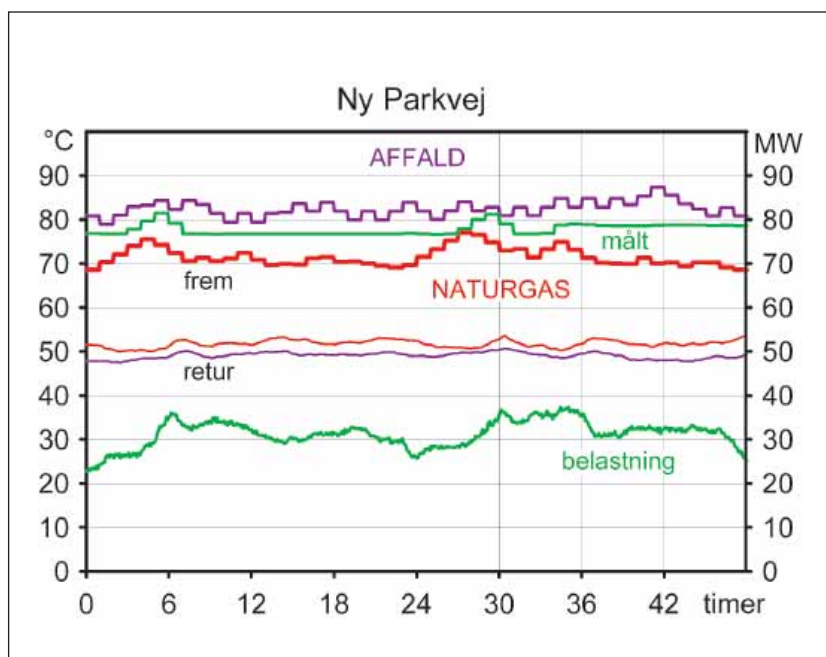
Udtrykket er tilpasset en pladevarmevekslers respons på en ændret fremløbstemperatur. Figur 4 viser den beregnede returtemperatur ved to forskellige fremløbstemperaturkurver.

Ved optimeringen minimeres produktionsomkostningen for en periode på 48 timer. Da brændselsprisen afhænger af belastningen, må omkostningen til at opvarme bygningerne medtages i omkostningsfunktionen ud over driftsomkostningen. Heri indgår varmetab, pumpeomkostning og nyttevirkning

TABEL 1	TABEL 1
Priser anvendt i optimeringen af Ny Parkvej.	
<b>Elektricitet til pumper:</b> 1120 kr/MWh	
<b>Produktionspriser:</b>	
▪ affald: 286 kr/MWh	
▪ naturgas ( $\leq 30$ MW): 456 kroner/MWh	
▪ naturgas ( $> 30$ MW): 1500 kroner/MWh	

for pumpen, medens der ses bort fra en mulig afgift for  $CO_2$ -emission. De anvendte priser fremgår af Tabel 1.

Som et eksempel på de udførte beregninger viser Figur 4 den optimale fremløbstemperaturkurve, dels når varmen produceres på affald, og dels med den omtalte variable gaspris. Figuren viser, at man ikke altid skal anvende den lavest mulige fremløbstemperatur, og at det optimale temperaturniveau afhænger af brændselsprisen. For tilfældet med variabel gaspris viser Tabel 2 produktionsomkostningerne,



Figur 4. Optimeringsresultater for Ny Parkvej. Målt fremløbstemperatur og belastning vist med grønt. Optimale fremløbs- og returtemperaturer vist med lilla for produktionspris baseret på affald og med rød for variabel gaspris. Bemærk venligst i sidstnævnte tilfælde, hvordan fremløbstemperaturen hæves, før morgenspidsen for at lagre varme i fjernvarmenettet.

dels ved den optimale løsning og dels, når den målte fremløbstemperatur anvendes. Det fremgår af Tabel 2, at det kan betale sig at forøge driftsomkostningen (pumpearbejdet) mod til gengæld at reducere omkostningen til opvarmning af bygningerne.

Det dynamiske varmetab er beregnet som varmeproduktionen minus bygningernes varmebehov. Det fremgår af tabellen, at i den pågældende periode i januar 2004, udgjorde varmetabet 2,5 % af produktionen, og besparelsen ved at anvende en optimal fremløbstemperatur i forhold til den målte fremløbstemperatur er 2.750 kr/døgn, eller 0,7 %.

Det bør nævnes, at i det virkelige fjernvarmenet i Næstved er varmetabet omkring 10 % af varmeproduktionen i januar måned.

Det fremgår af Figur 4, at når gasprisen stiger drastisk ved en produktion over 30 MW, så vil det være fordelagtigt at lagre varme i nettet, inden belastningsspidsen indtræder om morgenen. Selvom Næstved faktisk anvender en forøgelse af fremløbstemperaturen til Parkvej på ca. 3 °C, så er forøgelsen ved en variabel gaspris både en smule større, og den indtræffer tidligere.

Tilsvarende beregninger er gennemført, når belastningen i bygningerne udjævnes ved hjælp af DSM. Det skal dog understreges, at disse beregninger er simplificerede, da der ikke har været midler til at foretage en nærmere vurdering af varmeanlæg og varmekapacitet i de enkelte bygninger. DSM medfører yderligere driftsbesparelser.

#### Sammenfattende kan det siges:

- At for konstante brændselspriser udgør besparelserne 1,8-6,5 % af driftsomkostningerne. Dette svarer til  $< 0,2$  % af produktionsomkostningerne, da varmetabet i Ny Parkvej er lille.
- At for variabel naturgaspris udgør besparelsen 0,7 % af totalomkostningen, men medfører en forøgelse af driftsomkostningen på 1,3 % (pga. et større flow).
- At udjævning af belastningen i bygningerne med 20%, henholdsvis 80%,

**Tabel 2. Ny Parkvej. Produktionsomkostninger for 48 timer. Variabel gaspris.**

	Optimum fremløbstemperatur	Målt fremløbstemperatur
Dynamisk varmetab MWh	39,0	43,6
Pumpearbejde, MWh	4,9	2,3
Produktion, MWh	1539	1543
Omkostning bygninger (1500 MWh), kr.	805.154	811.007
Omkostning, drift. Kr.	26.534	26.186
Total omkostning, kr.	<b>831.687</b>	<b>837.193</b>

medfører besparelser på 1-2,6 % af totalomkostningen i forhold til ikke at anvende DSM.

Med hensyn til de øvrige resultater, specielt DSM i Jyväskylä, henvises til projektrapporten, ref. /3/.

**Litteratur:**

/1/ Bøhm, B. et al.: "Fup eller fakta om driftsoptimering". Fjernvarmen 9 2004, pp. 20-22.

/2/ Wigbels, M., Bøhm, B., Sipilä, K.: "Operational Optimisation. Dynamic Heat Storage and Demand Side Management Strategies". EuroHeat&Power, English Edition, II/2005.

/3/ Wigbels, M., Bøhm, B., Sipilä, K.: "Dynamic Heat Storage Optimisation and Demand Side Management". IEA DHC CHP, Annex VII 2005:8DHC-05.06. Senter Novem. Henvendelse vedr. rapporten kan ske til Danmarks repræsentant i IEA-samarbejdet, dir. Lars Gullev, VEKS.

bb@mek.dtu.dk