

Rapport

Superstrukturopptimering

2. April 2014
Vores reference: 30.9098.01

Til : Aarhus Kommune
Fra : Jens Møller Andersen
Vedlagt :
Kopi til :

1 INDHOLD

Denne Rapport beskriver beregninger og konklusion fra projektet "Optimeret fjernvarmestruktur i Region Midtjylland – Forstudie" sponsoreret af Dansk Fjernvarmes F&U-Konto.

1	Indhold.....	1
2	indledning	2
3	Formål	2
4	Beslutningstøtte ved udbygning med ny kapacitet eller rørforbindelser.....	5
5	metode	9
5.1	Den valgte struktur.....	10
5.2	Forudsætning i forstudiet	13
6	Matematiske nørderier	19
6.1	Gennemgang af Horsens modellen	20
6.2	Rør modellen	24
7	beregninger	26
7.1	Fortolkning af foreløbige resultater	27
8	Konklusion	28
9	Videre arbejde	28
	Appendiks A: Findes der alternativer?	29
	Appendiks B :Beskrivelse af anvendelse af modellen	35

2

INDLEDNING

Dette notat beskriver beregninger og konklusion fra projektet "Optimeret fjernvarmestruktur i Region Midtjylland – Forstudie" sponsoreret af Dansk Fjernvarmes F&U-Konto.

Projektet har haft en del forskellige navne i løbet af projekt perioden bl.a. "Superstrukturopptimering af fjernvarme i Midt- og Østjylland"

Dette skyldes at projektet som eksempel sigter på at anvende superstruktur-optimering til at studere optimale strukturer for fjernvarmenet i Øst- og Midtjylland.

Dette forstudies egentlige formål er et metodestudie af mulighederne for at koble investeringsomkostninger med driftsomkostninger for en 20 års periode ved hjælp af det der matematisk kaldes MINLP optimering.

I dette forstudie er der regnet helt simpelt, med et model år uden renter og prisstigninger. Dette er selvfølgelig ikke realistisk, hvis disse beregninger skulle bruges som grundlag for investeringer. Men da beregninger primært skal bruge til at vurdere om beregningsmetoden kan anvendes er dette en uproblematisk forsimpeling.

3

FORMÅL

Projektet har haft et sigte på dels et metodisk mål og dels at prioritere mellem konkrete projekter. Dette er formuleret på følgende måde i ansøgningen til dansk fjernvarmes F&U konto:

Formålet med projektet er at beregne den optimale struktur for fjernvarme-forsyningsnet i den østlige del af Region Midtjylland når det gælder nybygning af værker, anvendelse af forskellige brændsler og varmelagre.

Hele projektet deles i to delprojekter: 1)Forstudie og 2)Udvikling af beregningsmodel...

Forstudiet, som denne rapport er afrapportering af, sigter primært mod at afdekke metodisk vanskeligheder, sekundært på at beregne prioritering mellem konkrete projekter i den Østjyske fjernvarmestruktur.

Det er dog søgt, i videst muligt omfang, at give så mange konkrete svar og anvisninger som muligt, på de i ansøgningen stillede spørgsmål.

3.1.1

Opsamling fra Workshop om simulering og optimering af investeringer i den fremtidige fjernvarmestruktur, mandag d. 24. marts 2014, Fjernvarmens hus.

Præsentationer ses her : <http://bit.ly/1ifYuks>

Oplægget var: Hvordan simuleres og optimeres investeringer i den fremtidige fjernvarmestruktur?

- a. Restlevetid for eksisterende produktionsanlæg
- b. Etablering og anvendelse af transmissionsledninger
- c. Etablering og anvendelse af varmelagre
- d. Investeringer i ny varmeproduktionskapacitet – type, størrelse, lokalisering og timing

De overordnede konklusion på workshoppen var:

Der er ingen som har en god løsning på det overordnede problem!

Der er meget store penge på spil – selv en meget lille % fejl investering giver meget store tab – der er god historisk belæg for at markedssituationen og afgifter mv. fejlvurderes. Det vil sige at der bør tænkes stor robusthed ind i de valgte løsninger.

Den model, som er udviklet i dette projekt, har givet enkelte svar på nogle strukturspørgsmål, men den mangler væsentlig trimning før den har en kvalitet så den kan give alle de svar der ønskes. Og der er også et problem med beregningstiderne.

EA-energi analyse har brugt balmorel til et projekt i Nordsjælland med et lidt lignende sigte. Men grundet opbygningen af balmorel, var de kommet til nogle beregningsmæssige begrænsninger, således at det ikke var muligt at regne på et time baseret system. Hvorved optimering af driften af de enkelte anlæg op i mod elmarkedet delvist forsvinder. Derfor bliver estimatet på økonomien ved driften af teknologier som kraftvarme og varmepumper og det samspil der er med varmelagring usikkert. Det vil sige at der skal ændres grundlæggende på den måde Balmorel simulere elmarkedet på, før der kan forventes at modeller der benytter time-beregninger giver beregningstider som kan håndteres.

EnergyPlan og EnergyPro kan ikke for nuværende anvendes, men kan måske modificeres til at kunne bruges.

COMPOSE værktøjet fra energianalyse.dk kan i den nuværende for heller ikke anvendes, men kan muligvis også modificeres.

En anden type af konklusion var at store fjernvarmenet næste er en nødvendighed, for at kunne decentralisere varmeproduktionen med sol, varmepumper, varmelagre og en mindre mængde kraftvarme. Fordi den type af varmeproduktion er dels meget pladskrævende dels afhængig af spredte energikilder.

Derfor bør det undersøges mere præcist hvilke ændringer de nuværende værktøjer kræver før de rigtig kan bruges. Det vil del kræve en langsigtet forskningsindsats. Men der er et behovet her og nu – så der bør også gøres noget andet.

BESLUTNINGSTØTTE VED UDBYGNING MED NY KAPACITET ELLER RØRFORBINDELSER.

Når der skal tages beslutninger om udbygning med nye varmeproduktionsenheder vil det normalt være et valg mellem en række forskellige teknologier, som ikke nødvendigvis udelukker hinanden. Fx hvis et varmekværk ønsker ny forsyning, kan der vælges mellem solvarme, varmepumper, kraftvarmeanlæg (som kan have forskellige brændsler som gas, kul, biomasse...) eller selvstændige varmekedler og med forskellige brændsler. Endnu en mulighed kan være kobling via nye fjernvarmerør til et nærliggende anlæg med overskydende kapacitet. Her til følger en række beslutninger om bygning af spids og reserve kapacitet.

For et varmekværk som skal udbygge vil der samlet set vil der skulle træffe mere en 10 beslutninger, som er afhængige af hinanden, i form af valg af teknologi (eller eventuelt kombination af flere teknologier som solvarme, flisfyrede kedler og gas backup kedler). Endvidere vil der skulle vælges størrelse af de enkelte enheder.

Denne række af beslutninger er betinget af en række beslutninger i det omgivende samfund, hvor energiafgifter for nuværende er den væsentligste parameter. Men også tilgængeligheden af resurser spiller en væsentlig rolle. Dette skal forstås således at hvis en lokal resurse som overskydende halm fra landbruger er udtømt kan det være en risikabel investering at satse på halm som brændsel til et nyt varmeproducerende anlæg. I det mindste vil der kunne påregnes stigen priser på halm.

Ser man på det valgte område, se figur 1, som er blevet studeret i dette projekt, vil den ovenstående række af sammenhængende beslutninger skulle tages for alle de involverede fjernvarmeområder.

Ses der på listen med de 6 primære byer involveret i dette studie er der mindst 25 sekundære byer eller landsbyer som har interesse i de skitserede udbygninger af fjernvarmenettet. Det er følgende:

Århus - Silkeborg (Herskind, Galten, Harlev, Låsby, Linå, Voel, Sejs, Storing, Lillering, Soring)

Silkeborg - Skanderborg (Ry, Gl. Rye, Alling, Bjedstrup, Svejstrup)

Horsens (Flexcities projektet: Hatting, Hundslund, Hovedgård, Gedved, Østbirk, Brædstrup, Nim)

Horsens - Hedensted (Løsning, Hornsyld)

Hedensted - Vejle (Daugård)

Det til kommer at der ligger end del industri som har overskudsvarme som ikke bliver udnyttet i dag. Ved at udbygge fjernvarmenettet vil der være bedre muligheder for at udnytte denne varme.



Figur 1 Udover de 6 hoved rørforbindelser kommer der så også beslutninger om tilkobling af de mindre byer som passerer i en eller anden afstand, sammen disse.

Nogle af disse mindre byer har fjernvarme og det vil derfor kun være et spørgsmål om de skal tilkoble sig den nye rørstruktur. Hvorimod andre vil skulle tage beslutning om et helt nyt fjernvarmenet.

Hvis der tages mange detaljer med, for hver at de involverede byer, vil det også hurtigt give så mange kombinationsmuligheder at undersøgelser og beregning af optimale strukturer i praksis vil blive ikke matematisk løsbart.

Det vil sige at når der bygges modeller af denne type, vil det være en fordel at kunne "låse" beslutninger, som er helt indlysende, for på den måde at mindske kompleksiteten af beregningerne.

5

METODE

Dette afsnit beskriver hvorfor der er udviklet en selvstændig model og beregningsmetode til dette projekt, i stedet for at anvende en af de eksisterende energisystem modeller.

I ansøgningen om tilskud fra Dansk fjernvarmes F&U konto er der en kort beskrivelse af projektets formål:

Formålet med projektet er at beregne den optimale struktur for fjernvarmeforsyningsnet i den østlige del af Region Midtjylland når det gælder nybygning af værker, anvendelse af forskellige brændsler og varmelagre.

Til dette formål kan ingen af de nuværende danske modeller / værktøjer anvendes. Da de enten er baseret på en metode der ikke kan håndtere problemet, eller der er valgt nogle modelmæssige simplifikationer som resulterer i at modellen ikke kan anvendes til dette problem.

Der er kun studeret danske modeller og beregningsværktøjer da Danmarks særlige energisystem med en meget stor dækning med fjernvarme, høj andel af vind i elproduktionen og en stor andel af kraftvarmeproduktion vurderes at være så speciel at ikke danske energisystemmodeller vil få meget svært ved at ved at håndtere det beskrevne problem.

De undersøgte modeller er:

1. EnergyPlan – Beregner resultater af fastlagte strukturer. Men kan ikke optimere.
2. EnergyPro simulerer og optimerer drift af værker og anlæg
3. SIVAEL – simulering af elmarkedet med samproduktion af el og varme. Men medtager ikke geografiske forhold og kan ikke håndtere varmelagring
4. Balmorel – Laver markedssimuleringer og kan optimere drift af anlæg. Men kan ikke overføre varme mellem forskellige områder.

Der er nærmere beskrivelse af de enkelte modeller i Appendiks A. Beskrivelserne i Appendiks A er hentet fra modellernes hjemmesider.

Balmorel er den model der i sin struktur kommer nærmest til at kunne anvendes til dette problem. Men begrænsningen, at den ikke kan overføre varme mellem områder gør, at den ikke kan anvendes her (der finde dog et add on modul der kan lidt i den retning – men ikke rigtigt). Balmorels opbygning omkring modelsproget GAMS gør at den med ombygninger burde kunne komme til at håndtere dette problem. Den umiddelbare vurdering er dog at det nok vil være lige så arbejdskrævende at ombygge Balmorel som at udvikle en ny model. Dette forventes at blive diskuteret på en kommende workshop.

Hvis der kan skaffes adgang til grundstrukturerne i Balmorel og EnergyPro kan det være, at der med fordel kan anvendes delkomponenter fra disse modeller.

5.1 Den valgte struktur

Der er i dette forstudie fokus på Midtjylland. Dette er der er argumenteret for i de indledende notater på følgende måde

Der er flere grunde til at det netop er i region Midtjylland, at der er potentiale for at anvende, de her under beskrevne systematiske metoder, til design af energiinfrastrukturen.

I Midtjylland er der, efter danske forhold, en relativ høj befolkningstæthed, og der er mange større byer, med flere fjernvarmenet som ligger relativt tæt på hinanden. Men disse byer er ikke koblet sammen i et fjernvarmenet, som det ses i hovedstadsregionen. Mellem de større byer som Århus, Randers og Viborg, er der en række mindre byer, som også kan forsynes med et netværk af fjernvarmerør og varmelagre.

Dette giver en særdeles kompleks struktur, som er vanskelig at overskue, uden en klar systematik. Endvidere er de eksisterende produktionsanlæg relativt gamle, og falder alle for deres designlevetid, inden for en kort årrække (Randers, Herning. Den ene Studstrup blok er dog levetidsforlænget).

Det vil være godt hvis hele regionens (eller det meste af regionens) energiforsyning, kunne sammentænkes i en optimeret løsning, som tilgodeser de særlige forhold der netop er i Region Midtjylland, som fx at kun Randers, Horsens og Studstrup har havneforhold i nærheden af kraftvarmeværkerne. Og fx at der er begrænsede interne resurser af halm og biogas.

Som udgangspunkt for de beregninger som præsenteres her blev det valgt at se nærmere på den struktur, som er skitseret på figur 3 her under.

Der er i modellen en redundant forbindelse til Silkeborg. Dette er valgt fordi det ikke umiddelbart var klart hvilken af de to forbindelser der er den mest interessante. Det viste sig dog at der var for lange beregningstider. Derfor blev kompleksiteten af modellen reduceret. Men ved mange gentagne forsøg på beregninger og fejlfinding blev det klart, at det var varmepumpmodellen for Horsens, der var problemet. Denne del af modellen blev så låst fast og der blev arbejdet videre med en reduceret struktur.



Figur 3: Oprindelige fjernvarmestruktur som blev undersøgt

Det viste sig i projektets forløb at være vanskeligt under rammerne i dette forprojekt at regne på hele den viste struktur.

Dette skyldes nok primært at der var problemer med varmepumpe modellen for Horsens. Inden dette problem blev indkredset, erkendt og håndteret, var der gået så lang tid at det var vanskeligt at nå op på det oprindelige ambitionsniveau.

Derfor bør der ved en forsættelse af projektet ses på følgende:

- Tidsrammen
- Den (relativt langsomme) computer som var til rådighed
- Begrænsninger i optimerings softwaren
- Ambitionsniveau

Af ovenstående årsager blev modellen kun udviklet til at regne på den struktur som ses på figur 4.

Den reducerede struktur ses på figuren her under. Modellen har fokus omkring Horsens – der er den mest komplekse af modellerne for hver by.

Modeller og strukturer beskrives efterfølgende.



Figur 4: de reducerede fjernvar struktur som der blev regnet på.

5.2 Forudsætning i forstudiet

Her præsenteres forudsætninger til beregningsmodellen, som omkostninger ved etablering af nye installationer af rør og værker mv.

Samspeilet mellem detaljeringsniveauet af grunddata og modellen er vigtigt for at få gode beregningsresultater. Hvis værksdata er for detaljerede vil beregningerne ikke lykkedes og hvis data er alt for forsimplede kan man risikere et forkert beregningsresultat.

Forudsætningerne er her splittet op i følgende punkter

- Timedata
- Rør
- Værker
- Varmelagre
- Sol

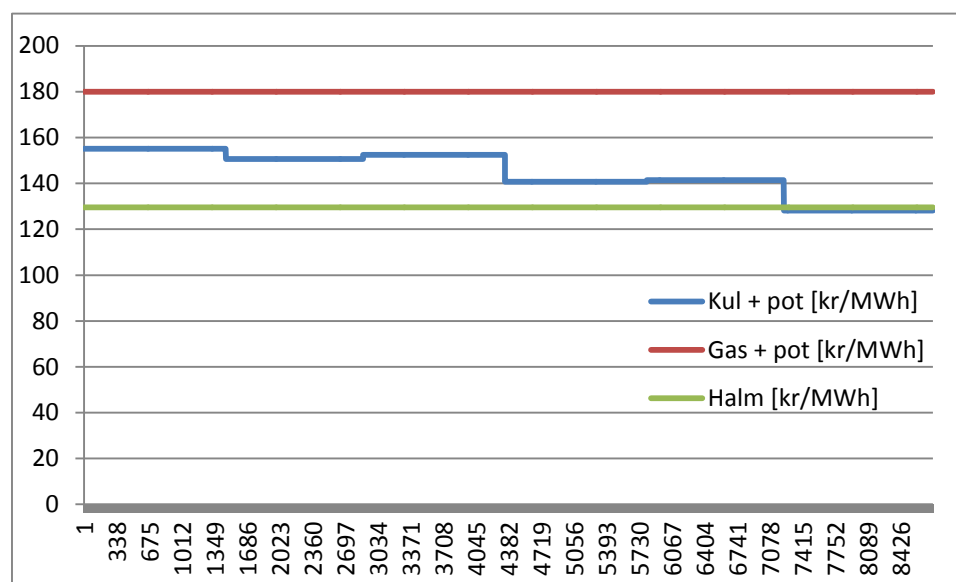
På de næste sider uddybes ovenstående punkter

5.2.1

Time data

Modellen regner time for time for et år. Dette skyldes at strøm afregnes på timeniveau på www.nordpoolspot.com og at det ikke ligger langt fra de tidsintervaller som fjernvarmsystemet håndterer enheder i, med hensyn til varmelagring og opstart af anlæg mv. Dvs. at der ikke er væsentligt grunde til at gå længere ned i tidsinddeling (fx 5 minutters intervaller). Og en finere tidsinddeling vil give større problemer med lange beregningstider (hvilket er et meget væsentligt problem).

Der lægges priser ind for brændsler og CO₂, mv. time for time. Disse grunddata har ikke en detaljeringsgrad på time niveau. Dette ses som trapper på figur 3 med grunddata.



Figur 5: priser på brændsler time for timer for hele 2011. Det ses at det primært er prisen for kul der variere over året.

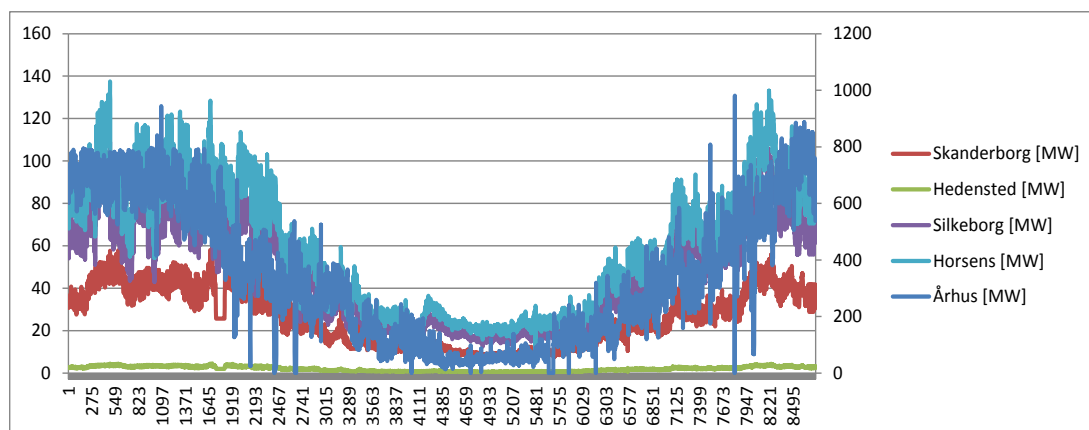
Der har været anvendt realistiske, men ikke helt trimmede data for brændselspriser. For et projekt med superstruktuuroptimering, som skal anvendes til beslutningsstøtte, er dette et væsentligt punkt at få diskuteret godt igennem.

5.2.2

Varmegrundlag

Der er anvendt data for fjernvarmebehov på time niveau. Disse data er indhentet fra de enkelte fjernvarmeselskaber. Fjernvarme data har været af meget uens kvalitet. Data fra Horsens var meget detaljerede men krævede en stor bearbejdning. Disse timeprofiler blev så anvendt som model for de værker, hvor der kun var overordnede data fra.

Varmegrundlaget ses på figur 6



Figur 6: varmegrundlag time for timer for hele 2011. Det ses at Århus har sin egen sekundær akse for ikke at gøre figuren ulæselig.

Fra figuren ses at der ikke er helt sammenfaldende variationer i varmeforbruget i Århus, Horsens og Skanderborg. Det giver i sig selv en mulighed for at udnytte en rørforbindelse mellem disse byer.

Varmeprofilen for Silkeborg er fremkommet ud fra data for den samlede mængde leverede varme med sammen profil som Horsens.

5.2.3

Sol

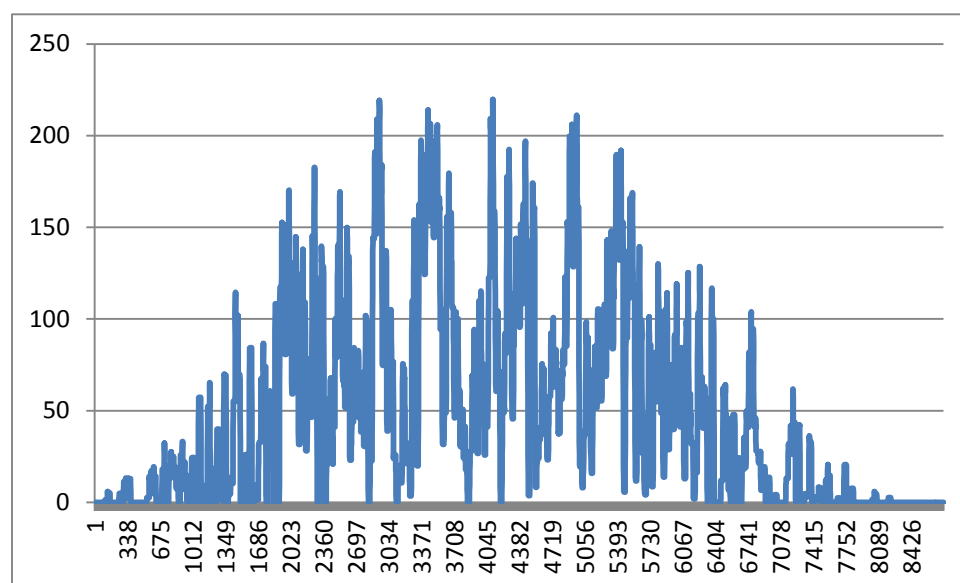
Central solvarme ses her som en fuldt skalerbar teknologi der kan indpasses overalt i et fjernvarmesystem. Dette vil ikke altid være en rigtig antagelse, for fx har Århus så høje fjernvarmetemperaturer i transmission systemet (op til 125C) at det ikke er egnet til at transportere solvarme.

Solvarme, som det regnes her, ville skulle indpasse i distributionssystemet. Men det passer fint sammen med at det er i nærheden af distributionssystemet der typisk er plads til solvarmeanlæg.

Data for solvarme er hentet fra hjemmesiden <http://solvarmedata.dk/>

Der er anvendt data fra Brædstrup fra 2012, for ydelsen af 1 m² solfanger. De anvendte data er let forsimplede og tager ikke hensyn til solfangernes effektivitet som funktion af produktionstemperaturen.

På figur 7 her under er der afbilledet døgnmiddel varmeproduktionen i wh pr m² solfanger.



Figur 7: døgnmiddel for 1 m² solvarme [Wh/m²]

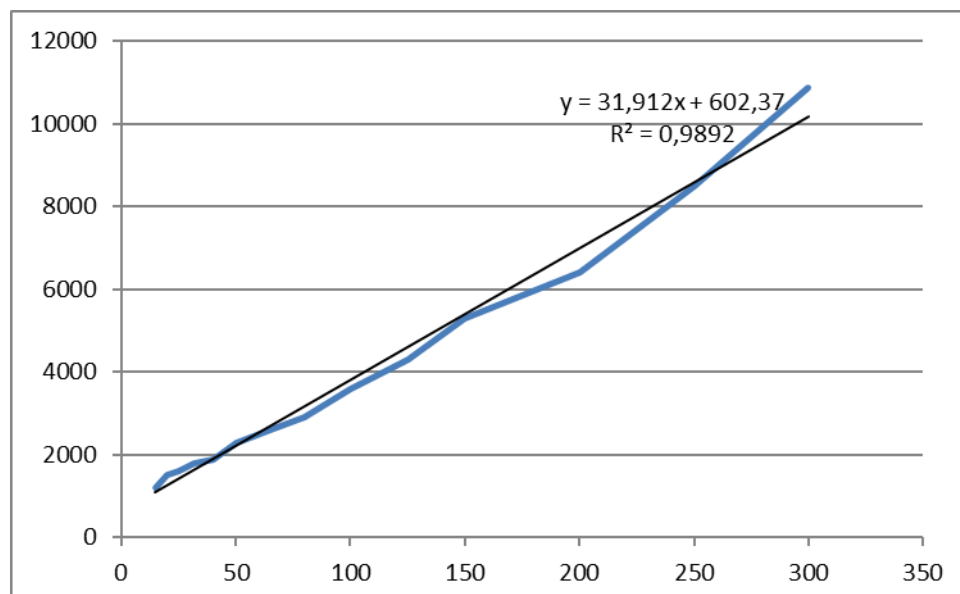
Når der beregnes hvor meget solvarme der skal installeres på de valgte steder (Skanderborg, Hosens og Hedensted) så skaleres der ud fra ydelsen på 1 m² solfanger.

5.2.4

Rør

Der er skaffet priser på fjernvarmerør fra en række forskellige projekter, primært i hovedstadsområdet.

Disse er omregnet til budgetpriser for fjernvarme rør pr. meter afhængig af diameteren.



Figur 8: budgetpris for 1 meter i kr fjernvarmerør (rørpar) som funktion af diameteren i mm (ubefæstet areal).

Da disse rørpriser er fra københavnsområdet, som normalt er et kompliceret område at lægge rør i, er priserne rundet lidt ned så de forventes at passe med priser i Østjylland.

Når dette sammenholdes med de faktiske afstande mellem fjernvarmesystemerne kan der udarbejdes nedenstående lille tabel med omkostninger til at etablere rør forbindelser.

Feltet med data for rørforbindelser ser ud på følgende måde i modellen

Rør ikke rør	Besltningsvariable	Rørpris	kapacitet	Specifik rørpris	Længde	Rør størrelse
SSV Randers	1	596 Mkr	30,39885 [MW]	22940,78 [kr/m]	26 [km]	700 DN
Til Hadsten	0	75 Mkr	10,52335 [MW]	14962,78 [kr/m]	5 [km]	450 DN
Viby - Skanderborg	1	100 Mkr	30,39885 [MW]	22940,78 [kr/m]	17 [km]	700 DN
Skanderborg - Horsens	0	528 Mkr	30,39885 [MW]	22940,78 [kr/m]	23 [km]	700 DN
Horsens - Hedensted	0	275 Mkr	30,39885 [MW]	22940,78 [kr/m]	12 [km]	700 DN
Hedensted - Vejle	0	229 Mkr	30,39885 [MW]	22940,78 [kr/m]	10 [km]	700 DN
Skanderborg - Silkeborg	0	665 Mkr	30,39885 [MW]	22940,78 [kr/m]	29 [km]	700 DN
Viby - Silkeborg	0	780 Mkr	30,39885 [MW]	22940,78 [kr/m]	34 [km]	700 DN

Modellerne af rørene kan varieres meget i kompleksitet, fx kan der modelleres temperatur både i frem og returløb samt vandhastigheder og tryktab. Dette kan sikre at temperatur forholdene passer sammen i begge ender af røret. Endvidere giver det mulighed for at variere den mængde varme som sendes der ved fx at hæve eller sænke temperaturene.

Ved den simple rørmodel, med en fast overføringskapacitet, udnyttes rørets fulde fleksibilitet ikke i modelberegningerne og dermed undervurderes værdien af et rør.

På den anden side skal det også være muligt at løse de matematiske udfordringer. Derfor er der i dette forstudie valgt at bruge en meget simpel rørmodel med en fast overføringskapacitet af en varmeeffekt.

Da dette er et forstudie ses denne simple rørmodel ikke som et væsentligt problem for at uddrage metodiske konklusioner.

5.2.5

Værker

Der er i modellen lagt data ind for de eksisterende varme og kraftvarme værker. Dette bruges som estimat for investeringsomkostninger, hvis de nuværende anlæg erstattes af nogle tilsvarende anlæg når de er nedslidte.

Priser på værkerne er skaleret ud fra prisen på kendte værker af samme type, men typisk af en lidt anden størrelse.

Som skaleringsfaktor er brugt at opløfte investeringen i en faktor 0,7 som funktion af den indfyrrede effekt

Udklip med værksdata fra modellen

Nyt Værk	disse kobler ikke	Værkspris		P	Q	Qb		Brændsel
Randers	0	1000 Mkr		52	110	180	[MW]	bio
SSV-2	0	5000 Mkr		380	522,5	1002,778	[MW]	bio
Hadsten	0	150 Mkr		0	18	18	[MW]	bio
SSV-1	0	4000 Mkr		380	522,5	1002,778	[MW]	bio
Skanderborg	0	100 Mkr		0	20	20	[MW]	bio
Horsens	0	210 Mkr		35	45	88,88889	[MW]	Gas
Hedensted	0	76 Mkr		7,6	10,4	20	[MW]	gas
Vejle	0	1000 Mkr		0	0	0	[MW]	æ-
Silkeborg	0	500 Mkr		108,3	82	216,25	[MW]	Gas

6

MATEMATISKE NØRDERIER

I dette afsnit præsenteres strukturen for den udviklede model. Modellen er udviklet i Excel hvor der anvendes en plugin solver til at løses et MINLP optimeringsproblem med.

(MINLP er en forkortelse for Mixed Integer Non Linear Programming, som er en matematisk optimerings disciplin hvor der blandes heltal, flydende tal og ulinære funktioner.)

Det helt grundlæggende for modellen er at den regner time for time for et år. Regnearket er opbygget således at hver time, for det pågældende scenarie år, har sin egen række. Time 1 for året er i række 29, time 2 i række 30 osv. Dette er lidt vanskeligt at vise på en figur, men det kan ses under gennemgangen af modellen for Horsens.

Der har været afprøvet flere forskellige typer af modeller. Den modeltype som er anvendt for elproducerende enheder ses under beskrivelsen af modellen for gasturbinen for Horsens.

Drift af varmeproducerende enheder har været modeleret på 2 måder, hvor den første metode vil være den bedste. Den metode baserede sig på optimering af lasten af den enkelte enhed for hver time, men den metode kunne den plugin Solver som var til rådighed ikke håndtere på grund af de mange optimeringsvariable (8760 variable for hver enhed). Den sidste metode var opbygget omkring en IF sætning, for hver enhed, for hver time som afgjorde om enheden skulle starte eller ikke, ud fra en prisindikator. Dette gav et meget stort antal diskontinuiteter, som altid vil være vanskelige at håndtere med matematisk optimering.

6.1 Gennemgang af Horsens modellen

Modellerne af de forskellige anlæg i byerne er grundlæggende opbygget på sammen måde. Der skelnes mellem el producerende anlæg og ikke el producerende anlæg.

Affaldsanlæggene antages at køre fuldlast hele tiden med undtagelse af en sommer revisionsperiode.

De el-producerende anlæg styres med en start/stop/last logik som er styret af elprisen i den enkelte time og det start/stop niveau som er optimalt for den konkrete uge.

De varme producerende anlæg er prioriteret efter brændselsprisen ganget med virkningsgrader.

Det er for tiden ikke lovligt at etablere varmepumper i kraftvarmeområder. Men der findes dog flere undtagelser. Varmepumper skal derfor her ses om en fremtidig mulighed. Her regnes der med at varmepumper indgår som øvrig produktion hvor varmeproduktionsprisen regnes ud fra effektivitet (COP) og pris på energiinput (elprisen). Dette giver at varmeproduktionsprisen fra varmepumper varierer meget fra time til time.

Solvarmen styrer sig selv efter solen, men størrelsen af anlægget optimeres så det passer sammen med resten af systemet.

Det giver følgende prioriteret lastfølge:

1. Affald
2. Sol
3. Gasturbine, singel cycle kraftvarmekobling (styres uge for uge)
4. Varmepumpe
5. Gaskedler (spidslast når de mangler varme)
6. Olie kedler (reserve)

6.1.1

Del 1 af Horsens

Her præsenteres modellen kolonne for kolonne

Den mørkegrønne markering viser at det er Horsens modellen. Modellen for de andre værker har fået en anden farve.

Ønsket varmeoverføring mellem Horsens og Skanderborg

Reelt overført varme mellem Horsens og Skanderborg

Ønsket varmeoverføring mellem Horsens og Hedensted

Reelt overført varme mellem Horsens og Hedensted

Horsens														
Rør					FJV	Værk								
Pris spred						tank max					100			
12,19256021						Tank op/afledning					20			
Rør Max														
30,39885														
Rør Skanderborg - Horsens						GT					0,9			
Rør Horsens - Hedensted						Virkningsgrad					SOL			
						produktion								
Rør (ønsket)	Rør (faktisk)	Rør (ønsket)	Rør (faktisk)		FJV	forbrug	last	Brændsel	Brændsel omk	FJV	El	El indtægter	Varmepris	Prod pris
[MW]	[MW]	[MW]	[MW]		[MW]	[MW]	[0:1]	[MW]	[kr/h]	[MW]	[MW]		[kr/MWh]	[kr/MWh]
0	0	0	0	0	71	0,00	0	0	0	0	0	0	0	1,00
0	0	0	0	0	69	0,00	0	0	0	0	0	0	0	1,00
0	0	0	0	0	68	0,00	0	0	0	0	0	0	0	1,00
0	0	0	0	0	71	0,00	0	0	0	0	0	0	0	1,00

Figur: første del af Horsens modellen

Blå markering er Gasturbine modelle (se afsnit 6.1.4)

Orange markering er solvarme

6.1.2

Del 2 af Horsens

Her under ses forklaring til del 2 af Horsens modellen

Den grønne markering viser at de 4 kolonner er varmepumpe beregning

Den lysegrønne markering viser at modellen for affaldsforbrændingen i Horsens

1.162.225,180													
										Ny tank		Vardepirs	350 kr/MWh
										53584,9686 MWh			
										tank max			
										800 MWh			
										total tank			
										54384,9686 MWh			
VP start pris				max									
0				50									
VP afgift													
400													
Kr MWh													
VP	VP køre automatisk	(inge revision)	Laver det der mangler										
Prod pris		Affald	Gaskedel	Virkningsgrad	0,9								
[kr/MWh]	FJV [MW]	El omk kr	FJV [MW]	FJV [MW]	Brændsel [MW]	Brændsel omk [kr]	Samlet FJV prod MW	Tank op/aflednig [MW]		tank indhold [MWh]	omkostninger	indtægter	
										1000	Brændsel [kr/h]	varmeindtægt [kr/h]	el indtægt [kr/h]
0	1,00	0	0	25	0,00	0	0	25	-46	954	0	8750	0
0	1,00	0	0	25	9,91	11,01031931	1981,857476	35	-34	920	1982	12218,25058	0
0	1,00	0	0	25	0,00	0	0	25	-44	876	0	8750	0
0	1,00	0	0	25	0,00	0	0	25	-43	833	0	8750	0
0	1,00	0	0	25	0,00	0	0	25	-46	787	0	8750	0

Lys brun markering er gaskedlen

6.1.3

Forklaringer til modeldetaljer

Der anvendes en binær variabel som beslutningsvariable for om der skal være et rør mellem byerne, hvis denne variabel er 1 (så er røret der) og så ganges den ønskede overførte effekt med 1, hvorefter får den reelt overførte effekt. På denne måde medtages samtidig omkostninger til at etablere røret og mulighederne for at flytte varme

Der var problemer med Varmepumpe modellem for Horsens – når den var koblet til optimal drift så ville modelle ikke afslutte beregningerne. Der blev af flere omgange ventet op mod 65 timer før beregningen blev afbrudt. Dette var en meget langsommelig proces før det beregningsmæssige problem blev lokaliseret til netop optimal drift af varmepumpen.

6.1.4

El producerende enheder styres på uge niveau

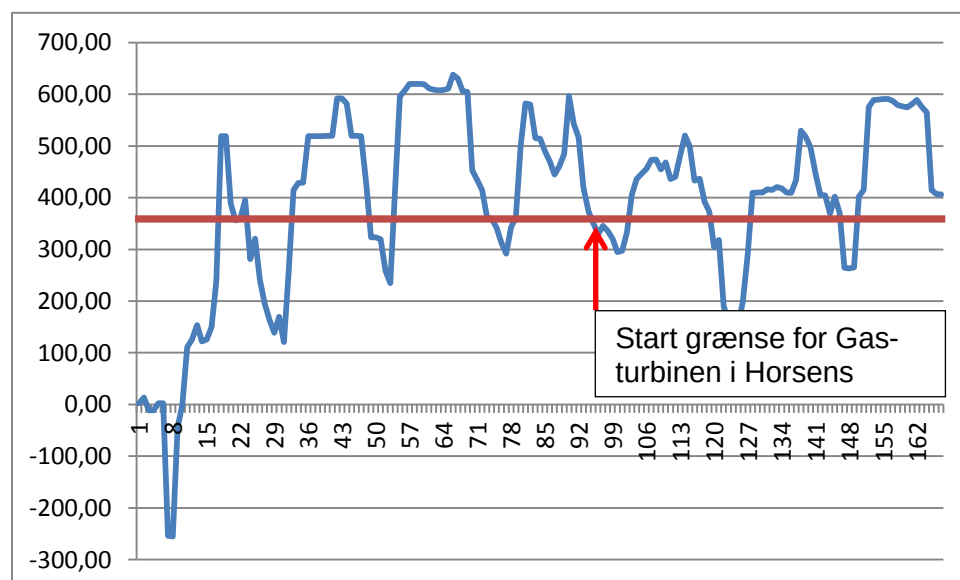
For Horsens er gasturbinen den eneste el producerende enhed. Grundet mangel på optimeringsvariable, med den Solver som var til rådighed, blev der valgt at styre de el producerende enheder efter de bedste timer på en uge (en metode som der tidligere har været gode erfaringer med). Måden det blev gjort på var ved at have en variabel som angav hvornår anlægget skulle starte for hver uge.

Figuren her under viser et udsnit af disse "ugevariable"

Det ses (for den konkrete beregning) at gasturbinen i Horsens skal starte i uge 1 ved en elpris over 363 kr/MWh.

Horsens	Hedensted	Silkeborg	Århus / SSV
GT	VP	Motor 1-4 sa combined cy	SSV4
		varmebehov st	Varmebehov stort
363	327	374	568
440	443	479	700
368	387	433	600
383	210	540	625
534	400	469	484
354	402	700	293
75	356	283	426
412	401	260	205
548	343	253	249
397	443	360	475
294	574	544	664
337	388	579	451

Dette er afbilledet her under



Figur 9: Viser el timepriser for uge 1 med start grænse for gasturbinen i Horsens indtægt

6.2

Rør modellen

Modellen for at overføre varme mellem byerne, når modellen siger at der er et rør, er udformet på lidt forskellig måde for de enkelte rør. Der er valgt forskellige modeller for at teste hvordan de virker hver i sær.

Hvis der findes tilstrækkelig mange optimeringsvariable (men det gør der ikke med den nuværende solver) kan der optimeres direkte time for time.

Det er blevet valgt at se på flere måder at prissætte varmen som overføres mellem forskellige enheder. Det kan enten gøres ud fra følgende principper

- Marginal produktionspris i den enkelte time
- Gennemsnitlig produktionspris for varme lagret i tanken
- Gennemsnitlig produktionspris for produceret i den time
- Højeste marginalpris for det sammenhængende fjernvarmesystem med alle rørforbindelser.

Diskussionen af principperne for hvornår der skal overføres varme mellem de forskellige fjernvarmeområder, lægger op til en fremtidig diskussion af hvordan et varmemarked skal fungere.

Modellen for varmeoverførsel mellem Hedensted og Vejle er baseret på at der udveksles varme efter faste priser. Når så produktionsprisen i Hedensted kommer ned under salgsprisen, så skubbes der varme til vejle. Omvendt når produktionsprisen i Hedensted kommer over en fast pris så trækkes der varme fra Vejle. Dette er tænkt som en model for et område hvor anlæggets produktionsomkostninger og kapacitet ikke er kendes i detaljer.

Modellen for varmeoverførsel Horsens - Hedensted er baseret på en forskel mellem marginal produktionspris i hver time.

Modellen for varmeoverførsel Skanderborg - Horsens - er baseret på en forskel mellem produktionsprisen i hver time af største produktionsenhed.

Der kan opstilles mange andre modellen end de, der er nævnt her. Konkret vil der for hvert rørpar være tale om forhandlinger mellem de involverede selskaber om til hvilken pris de ønsker at sælge og købe varme. Det vil sige at modellen, for at være realistisk, skal afspejle de reelle handelsbetingelser for varme.

Det vil også sige at modellem kan bruges til at sige noget om hvordan forskellige handelsmodeller påvirker selskabernes økonomi.

6.2.1 Beregningstider og modelstruktur

Som modellem er opbygget nu med en stor del af IF sætninger giver det en ikke kontinuert og ikke differentiabel model.

Dette vil i en senere fase af modellen med fordel kunne omformes til en mere stringent matematisk struktur baseret på en blanding af flydende tal med grænser og binære optimeringsvariable.

6.2.2 Diskussion af detaljeringsgrad af modellerne

På grund af de til tider meget lange beregningstider, vil det i næste fase være vigtigt at reorganisere modellen med fokus på at få hurtigere beregninger. Det skal her nævnes at modellen ikke har gennemført en fuld beregning under 1½ timer og at normalen er ca. 4 timer (selv uden kobling til Silkeborg og med varmepumpe modellen låst). Beregningerne er flere gange blevet standset efter mere end 60 timer, uden at det har været kendt hvor tæt beregningerne var på at være færdig.

Dette leder til en række overvejelser om alternativer til de anvendte modeller

- | | | |
|----|--|---|
| 1. | kal modellerne være en ren start/stop model? | S |
| 2. | vor langt ned i last skal de enkelte anlæg kunne køre? | H |
| 3. | kal der tillægges startomkostninger? | S |
| 4. | vilken degradering af anlæg skal medtages? | H |

Disse 4 punkter vil sammen med en masse andre forhold kunne gøre modellerne mere eller mindre komplekse og dermed være med til at styre beregningstiden.

7

BEREGNINGER

Modelberegningerne, i den nuværende form, gav en række udemærkede bud på dels om der skal bygges nye rørforbindelser og muligheder for udbygning med solvarme og varmelagring.

Beregningerne har vist følgende ret stabilt (ret uafhængigt af mange af forudsætningerne):

- Hvis ikke der skal bygges nye produktionsenheder, så vi modellen ikke etablere nye rørforbindelser.
- Rør forbindelsen Skanderborg-Viby bør vedligeholdes (gæt 100 Mkr)
- Modellen siger også at der ikke skal etableres central solvarme i Horsens, hvis der etableres en forbindelse til Studstrupværket via Skanderborg.
- Ca. 7000m² sol i Hedensted (ret uafhængig af andre forudsætninger)
- 200.000 - 400.000 m³ varmlager i Hedensted (Det er et stort varme lager)
Det vil sige at modellen peger på et reelt sæsonlager til varme i Hedensted.
(det skyldes at det giver motor anlægget mulighed for at)

Der blev udført beregninger hvor modellen var tvunget til at etablere 2 rørforbindelser, uden at sige hvor nogle af rørforbindelser det skulle være. Dette skal ses som et forsøg på at få modellen til at sige noget om hvor det er bedst at investere, hvis der skal investeres.

I det tilfælde pegede modelle på Horsens- Hedensted og sekundært Hedensted –Vejle. Dette virker ikke urealistisk, men kan være et resultat af den måde modellerne af rørforbindelse til vejle er modeleret på. Konklusionen på denne regne øvelse er, at denne type af modelberegninger er relativt nemme at udføre.

Hvis modellen tvinges til at etablere rørforbindelser mindsker den straks mængden af solvarme, varmepumper og varmelagre.

Det må derfor konkluderes at modelle reagere rimeligt på de input den får. Og at modellen viser hvordan forskellige projekter påvirker hinanden.

Som tidligere beskrevet resulterede den først valgte model i meget lange beregningstider og begrænsninger i modellen omfang. Dette ses som et resultat af de konkrete projektbegrænsninger ikke som et generelt problem. Der er derfor gode muligheder for at omforme modellen så dette undgås frem over. En anbefaling er her at dette problem undersøges og løses inden næste fase af projektet sættes i gang.

7.1 Fortolkning af foreløbige resultater

Mår man ser på modelberegninger er det altid vigtigt at være opmærksom på at der kun kan komme resultater som er inkluderet i modellen, og at model resultaterne er et resultat af en kombination af model og beregningsmetode. Så hvis der er anvendt u-fysiske modeller af fx kraftvarmeværker mv. så kommer der et u-fysisk beregningsresultat.

Et af de forhold der kan kritiseres i dette forstudie er at der ikke er medregnet varmetab fra varmelagrere. Derfor tror modellen at der er mindre omkostninger ved at drive varmelagere end der faktisk er. Dette resulterer i at modellen vil pege på at der skal overinvesteres i varmelagre. Hvilket nok delvist er det der ses i disse forstudie beregninger for varmelager i Hedensted.

Der er brugt 2011 som el pris reference år. 2011 er et middel til højpris år. Hvis der havde været brugt 2012 (som var et lavpris år) havde det prioriteret varmepumper højere.

Fremtidige beregninger skal derfor baseres på flere forskellige model år. Men da de fundamentale fysiske forhold i elmarkedet forandres hele tiden (fx idriftsættes Skagerrak 4 kablet i år og der er vedtaget et nyt HVDC kabel til Holland) Er det meget vanskeligt at udvælge repræsentative model år.

8

KONKLUSION

Der ses muligheder for at bruge denne type af modelberegninger og optimeringer som beslutningsstøtte til samordning af investeringsbeslutninger i fjernvarmsystemer, som der er muligheder for at koble sammen. Det gælder både investeringer i nye produktionsenheder og rør mellem fjernvarmeområderne.

Beregningerne giver en god sammenligning af forskellige projektet på et meget transparent grundlag.

Der bliver mulighed for på en fair måde at vurdere forskellige antagelsers indflydelse på forskellige beslutninger. (fx hvordan afgift ændringer påvirker flere forskellige projekter)

Denne type af modeller kan bidrage med mere præcis beregninger af samspillet mellem flere af hinanden afhængige investeringsbeslutninger end de eksisterende energisystem modeller kan bidrage med.

Der er vigtigt at få testet en solver uden begrænsninger på antallet af variable og der til hørende modeller af værker, anlæg og rør

9

VIDERE ARBEJDE

Der ses gode muligheder for udbygning af denne model. Men der skal arbejdes væsentligt mere med anvendelsen af forskellige solvere.

Udvikling af ny model rettet mod et mere brugervenligt system

En mere langsigtet ide er at der kan opbygges et brugervenligt system / model som kan anvendes til at samordne beslutnings om investeringer i varme-sektoren.

Dette kan evt. gøres ved at udvikle et system den kan håndtere en generisk model af en by og koble det til en geografisk placering.

Mere detaljerede modeller af eksisterende anlæg vil være ønskelig

Det bør overvejes hvordan samspillet mellem effektivitet af de forskellige teknologier er som funktion af fjernvaretemperaturerne. Særligt samspillet mellem solvarmepanelers effektivitet som funktion af produktionstemperaturen og varmelagring ved forskellige temperaturer.

APPENDIKS A: FINDES DER ALTERNATIVER?

I dette appendiks beskrives 4 energisystemmodeller, som er blevet studeret, som alternativ til den udviklede model.

Modellerne beskrives gennem de ord, som er dem der har udviklet og vedligeholder modellerne har valgt at bruge.

Ud fra de nedenstående beskrivelser ses følgende:

1. EnergyPlan – Beregner resultater af fastlagte strukturer. Men kan ikke optimere.
2. EnergyPro simulerer og optimerer drift af værker og anlæg
3. SIVAEL – simulering af elmarkedet med samproduktion af el og varme. Men medtager ikke geografiske forhold og kan ikke håndtere varmelagring
4. Balmorel – Laver markedssimuleringer og kan optimere drift af anlæg. Men kan ikke overføre varme mellem forskellige områder.

Med udgangspunkt i projektets mål:

Formålet med projektet er at beregne den optimale struktur for fjernvarme-forsyningsnet i den østlige del af Region Midtjylland når det gælder nybygning af værker, anvendelse af forskellige brændsler og varmelagre.

Er der ingen af de ovenstående energisystem modeller, der for nuværende kan håndtere det beskrevne mål.

EnergyPro og Balmorel er de modeller der kommer nærmest at kunne anvendes. Men EnergyPro bruger en variant af sekventiel programmering til at optimerer drift med ud fra (som EMD skriver) "en valgt styringsstrategi"

Og da EnergyPro heller ikke har indbygget en optimeringsalgoritme som kan håndtere heltal, hvormed den ikke kan vælge mellem løsninger som udelukker hinanden (fx en varmekedel til at forsyne en by eller en rørforbindelse til nærmeste større værk). Kan EnergyPro ikke selv kan vælge mellem en række forskellige løsninger. Derfor bliver brugeren af EnergyPro selv nød til at lave denne anlægsselektion. Således forstået at hvis der skal undersøges en sammenhængende mellem en lang række projekter. Vil der skulle laves rigtig mange scenarie beregninger.

Hvis EnergyPro skal kunne anvendes til det ønskede formål skal der derfor programmeres et modul uden om. Dette vil gøre beregningerne meget mere langsommelige, hvilket i forvejen er et meget væsentligt problem.

Hvis Balmorel skal kunne bruges skal der dels kunne overføres varme mellem de enkelte områder (dette er i princippet implementeret i et add-on modul) Men den kan, som det ses nu, ikke koble investering i fjernvarmerør ud og ind mellem forskellige områder, med det til følge at det påvirker både andre investeringer og prisdannelsen.

Inden dette projekt forsættes i en fase 2, skal det nærmere undersøges, hvad det vil kræve at om-programmere EnergyPro og Balmorel. Set i lyset af de væsentlige vanskeligheder der har været i dette forstudie med at opnå nogle gode beregnings løsninger inden for en rimelig beregningstid.

9.1.1 Energyplan

<http://www.energyplan.eu/energyplan/>

EnergyPLAN is a user-friendly tool designed in a series of tab sheets and programmed in Delphi Pascal. Input is defined by the user in terms of technologies and cost specifications. The main purpose of the model is to assist the design of national or regional energy planning strategies on the basis of technical and economic analyses of the consequences of implementing different energy systems and investments. The model encompasses the whole national or regional energy system including heat and electricity supplies as well as the transport and industrial sectors. All thermal, renewable, storage and conversion and transport technologies can be modelled by EnergyPLAN. The model is a deterministic input/output model. General inputs are demands, renewable energy sources, energy station capacities, costs and a number of optional different regulation strategies emphasising import/export and excess electricity production. Outputs are energy balances and resulting annual productions, fuel consumption, import/export of electricity, and total costs including income from the exchange of electricity. Compared to other similar models, the following characteristics of EnergyPLAN can be highlighted: EnergyPLAN is a deterministic model as opposed to a stochastic model or models using Monte Carlo methods. Therefore, with the same input, it will always come to the same result. EnergyPLAN is based on analytical programming as opposed to iterations, dynamic programming or advanced mathematical tools. This makes the calculations direct and the model very fast when performing calculations. In the programming, any procedures which would increase the calculation time have been avoided, and the computation of one year requires only a few seconds on a normal computer, even in the case of complicated national energy systems. EnergyPLAN is an hour simulation model as opposed to a model based on aggregated annual demands and productions. Consequently, the model is able to analyse the influence of fluctuating renewable energy sources on the system as well as weekly and seasonal differences in electricity and heat demands and water inputs to large hydro power systems. EnergyPLAN is aggregated in its system description as opposed to models in which each individual station and component is described, e.g. in EnergyPLAN district-heating systems are aggregated and defined as three principle groups. EnergyPLAN optimises the operation of a given system as opposed to models which optimise investments in the system. However, by analysing different systems (investments), the model can be used for identifying feasible investments. EnergyPLAN provides a choice between different regulation strategies for a given system as opposed to models in which a specific institutional framework is incorporated. EnergyPLAN analyses one year in steps of one hour as opposed to scenario models analysing a series of years. However, several analyses each covering one year may of course be combined into scenarios.

9.1.2

Balmorel

Der har været noget korrespondance med Hans Ravn, som er den oprindelige bagmand bag Balmorel, angående mulighederne for at omstrukturere balmorel til dette formål. Der ses derfor muligheder for at tilpasse Balmorel og det vil være en stor fordel hvis en model til dette formål vil kunne gøre brug af balmorels simulering af elmarkedet.

http://www.eabalmorel.dk/index.php?option=com_content&view=article&id=1&Itemid=2

What is Balmorel?

Balmorel is a model for analysing the electricity and combined heat and power sectors in an international perspective. It is highly versatile and may be applied for long range planning as well as shorter time operational analysis.

The model is developed in a model language, and the source code is readily available, thus providing complete documentation of the functionalities. Moreover, the user may modify the model according to specific requirements, making the model suited for any purpose within the focus parts of the energy system.

What can Balmorel be used for?

The Balmorel model has been applied in projects in Denmark, Norway, Estonia, Latvia, Lithuania, Poland, Germany, Austria, Ghana, Mauritius, Canada and China. It has been used for analyses of, i.a., security of electricity supply, the role of flexible electricity demand, hydrogen technologies, wind power development, the role of natural gas, development of international electricity markets, market power, heat transmission and pricing, expansion of electricity transmission, international markets for green certificates and emission trading, electric vehicles in the energy system, environmental policy evaluation.

See Cases and Publications for description of ongoing and past projects using the Balmorel model.

The Balmorel model is coded in GAMS, and the above conditions apply to the GAMS code only. In order to run the model on a computer you must apply the appropriate software, and this is not free. You will need the GAMS software and a solver, see the getting started page.

The Balmorel Model:Theoretical Background

5.4 Heat distribution:

“Heat transmission between areas is not possible in the model.”

9.1.3 Sivael

<http://energinet.dk/DA/EI/Udvikling-af-elsystemet/Analysemodeller/Sider/Sivael.aspx>

Simulerings-perioden er fra én dag til ét år. Programmet kan håndtere kondensanlæg, kraftvarmeanlæg - både modtryk og udtag, men også vindkraft, ellager (batteri eller pumpekraft) og handel med udlandet. Programmets tidsstyring er en sand kalender, og alle data gælder fra et givet tidspunkt. Det er således muligt at ændre data i princippet fra time til time. Der er muligt at lægge en skyggepris på forskellige data eksempelvis emissioner. De termiske anlæg har op til tre brændselstyper med angivelse af maksimal andel for hver type. Programmet vælger så den billigste brændselskombination under hensyntagen til skyggepriser for emissioner. Som output er der en standardrapport for hele simuleringsperioden og mulighed for at vælge en lang række forskellige data ned til timeniveau.

9.1.4 EnergyPRO

<http://www.emd.dk/energyPRO-DK/Introduktion/>

EnergyPRO er et komplet IT-værktøj til beregning af energi og økonomi for fjernvarmeværker og decentrale kraftvarmeværker. energyPRO gør det let at foretage investeringsanalyser af f.eks. geotermianlæg, solfangeranlæg, elkedler, varmepumper og sammenkobling af fjernvarmeområder. energyPRO bruges også til budgetlægning og analyser af deltagelse på flere elmarkeder som f.eks. regulerkraftmarkedet og primærreserven.

Modul Region

Region Dette modul er værdifuldt, hvis man ønsker at bruge energyPRO i forbindelse med regional energiplanlægning. I modulet definerer brugeren de forskellige beliggenheder i regionen hvor efterspørgsels- og produktionsenhederne er placeret.

Beregningsmodel

Beregningsmodellen er opbygget ud fra 15 års erfaringer med energiberegninger for komplekse energisystemer. Metoden bygger på en iterativ teknik, hvor produktionerne prioriteres ind efter en valgt styringsstrategi, hvorunder varmelager og evt. brændselslager udnyttes bedst muligt og antallet af starter minimeres.

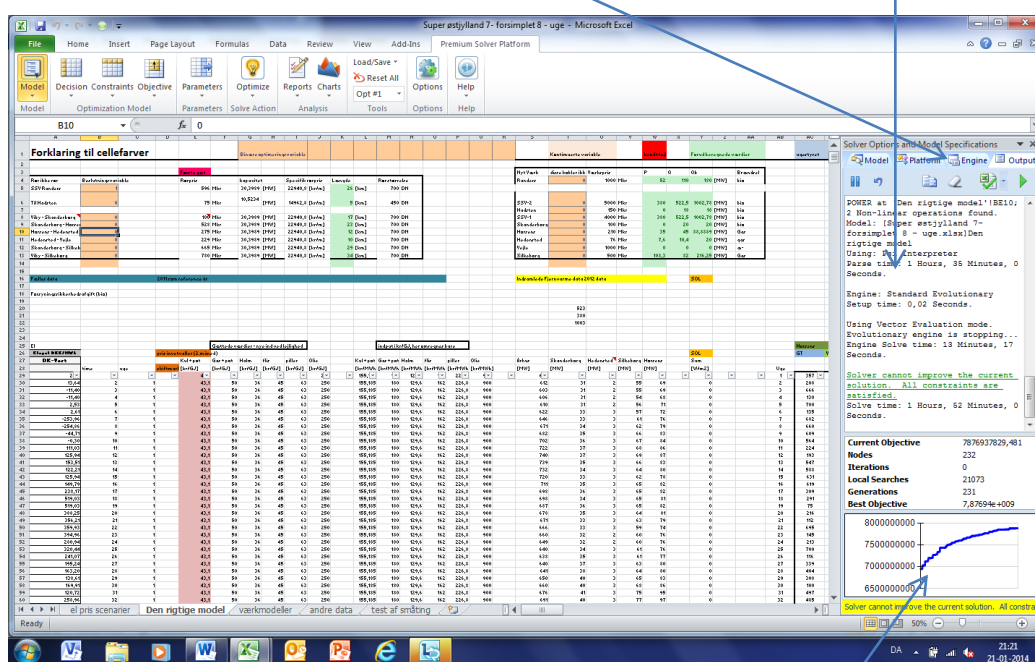
Typisk prioriteres der efter at opnå de højeste el-priser, men også andre krav kan komme på tale. F.eks. kan mængden af brændsel være givet (affald og biogas) og brændslet kan opbevares i et brændselslager med en begrænset kapacitet (biogas). Eller værket kan have et krav om først at dække f.eks. lokalitetens elbehov for først derefter at producere til elnettet. Modellen kan regne på i princippet alle kraftvarme-enheder, f.eks. motorer (et eller flere brændsler f.eks. naturgas og biogas) med eller uden economizer, damp-turbiner med eller uden dampindsprøjtning og spidslast-kedler. Der kan anvendes varmeafblæsning. Lastkurver og udetider for de enkelte energianlæg kan medtages efter behov.

APPENDIKS B : BESKRIVELSE AF ANVENDELSE AF MODELLEN

Efter at modellen var strikket sammen blev der udført en række beregninger.

På denne side ses skærbilleder for modellen efter en beregning er afsluttet. Det ses at beregningstiderne ligger fra 2 til 4 timer.

Hvis man ønsker at ændre i modellen gøres det enten ved at ændre direkte i cellerne i regnearket eller ved at ændre på restriktionerne for solveren. Dette er markeret med en pil.



Det kan ses at der er forskellige konvergensforløb afhængig af restriktioner

