VÄRMEFORSK

STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING

Energisystemstyrning i värmeproduktions-anläggningar
Förstudie

Lars Wester
Robert Schuster

HETVATTENTEKNIK 287

1987-09-25

ENERGISYSTEMSTYRNING I VÄRMEPRODUKTIONSANLÄGGNINGAR – Förstudie

L Wester
R Schuster

ETU-6040/03

Uppdrag E4-607 från Stiftelsen för Värmeteknisk Forskning. Rapporten har utarbetats av ETU Energiteknisk Utveckling AB.

SAMMANFATTNING

Föreliggande rapport kartlägger läget när det gäller system för Energisystemstyrning i värmeproduktionssystem. Med energisystemstyrning menas i detta fall hur ett visst system med många produktionsenheter skall drivas på bästa sätt dvs med så låga produktionskostnader som möjligt.

I stora nät blir problemet komplext med hänsyn till det mycket stora antal faktorer som påverkar resultatet. Både att beskriva hur faktorerna påverkar resultatet och finna den optimala lösningen till problemet är ofta matematiskt komplicerade uppgifter som kräver tillgång till datorprogram.

I rapporten beskrivs hur olika faktorer påverkar systemet, olika matematiska metoder för att lösa problemet mm. Två kommersiellt tillgängliga system beskrivs kortfattat.

Den stora nyttan av energisystemstyrning anses på värmeverken vara att kunna hantera ett problem av mycket komplex natur (dvs få ett hjälpmedel för att bestämma produktionsmixen). Eftersom de program som finns utvecklade i de flesta driftfall hittar bättre produktionsmixer än man kan göra manuellt kommer även kostnadsbesparingar att göras.

Erfarenheter från små enskilda pannanläggningar och mindre värmeverk visar att även enkla räknehjälpmedel (i form av en enkel persondator med lämplig programvara) kan medföra att beräkningar verkligen genomförs vilket inte alltid sker idag på grund av ovilja/ovana att utföra beräkningar. Genom information/utbildning av personal vid främst små och medelstora värmeverk skulle detta kunna avhjälpas vilket bör leda till en ökad medvetenhet om betydelsen av beräkningar. Ett pilotprojekt skulle kunna visa vad som kan uppnås inom detta område.

De program som finns på marknaden idag är säkerligen effektiva och användbara. Ett problemområde som dock fortfarande är svårt att få ordentligt grepp på är hur en hetvattenackumulator ska behandlas vid nät med elproduktion. Inom detta område föreslås ytterligare insatser.

Ytterligare insatser föreslås också med avseende på energikrävande industrier. Insatserna bör där vara av grunläggande karaktär för att utröna om optimeringssystem över huvud taget är tillämpliga med tanke på de speciella förutsättningar som råder i främst processindustrin.

SUMMARY

The focus of this paper is to make a survey of Energy Management Systems. EMS is in this respect how to operate a heat production system with several production units to obtain lowest possible production cost.

With a large number of production units there will soon be too many variables to be able to get a general view of the problem without a computer program.

This paper deals with different variables which influence the solution of the problem, different mathematical models that could be used to solve the problem etc. Two commercial system are briefly described.

Experiences from small heat production systems show that even very simple computational aids could be very valuable if they actually mean that calculations are carried through. In many cases today people avoid calculation because of incapability to do calculations or unfamiliarity with calculations.

In three areas suggestions are put forward for further investigations. The areas are:
- The performance of heat storage combined with production of electricity.
- Investigation of the energy production systems in industries with high energy demands.
- Information to/education of the staff of smaller production units to promote calculations.

Key words: Energy management systems, EMS, operation planning system, minimizing total production cost.

I N N E H Å L L S F Ö R T E C K N I N G

1. INLEDNING....4
1.1. Bakgrund....4
1.2. Mål....4
1.3. Genomförande....4
1.4. Uppdraget....5

2. FAKTORER SOM PÅVERKAR OPTIMAL DRIFT AV ENERGISYSTEM....6
2.1. Allmänt....6
2.2. Olika produktionsenheter....6
2.2.1. Bivillkor eller gränsvillkor....6
2.2.2. Antal produktionsenheter....6
2.3. Faktorer som påverkar produktionskostnaden....7
2.3.1. Bränslekostnader....7
2.3.2. Verkningsgrad....7
2.3.3. Hjälpkraft....8
2.3.4. Skattesatser....8
2.4. Engångskostnader....8
2.4.1. Allmänt....8
2.4.2. Startkostnader....8
2.5. Speciella produktionsenheter....9
2.5.1. Allmänt....9
2.5.2. Kraftvärme....10
2.5.3. Elpris....11
2.5.4. Hetvattenackumulator....11
2.6. Prognoser....13

3. METODER FÖR EMS....15
3.1. Inledning....15
3.2. Räknehjälpmedel....15
3.3. Optimeringsprinciper....16
3.3.1. Allmänt....16
3.3.2. Linjär programmering....16
3.3.3. Mixed Integer Linear Programming....17
3.3.4. Icke linjära problem....17
3.4. Möjliga vinster....18

4. EXEMPEL PÅ SYSTEM....20
4.1. Inledning....20
4.2. Helsingborgs energiverk....20
4.3. Värtaverket....21

5. FÖRSLAG FÖR YTTERLIGARE INSATSER....23
5.1. Inledning....23
5.2. Utbildning....23
5.3. Ackumulator vid elproduktion....23
5.4. Industriella energisystem....24

6. REFERENSER....25

1. INLEDNING.

1.1. Bakgrund.

Stora värmeproducerande anläggningar har ofta hög utrustningsnivå och genomtänkta styr-, övervaknings- och driftuppföljningsrutiner för de enskilda produktionsenheterna.

Den utnyttjade driftstrategin beror av bränslekostnader, priset på värme och el, verkningsgrader på produktionsenheterna, startkostnader, lastvariationer och möjligheter att förutse dessa mm.

Flera av ovanstående faktorer varierar t ex med last och med returtemperaturen i fjärrvärmesystemet och även om det kanske är enkelt att definiera hur en enskild parameter påverkas blir det snart svårt att "manuellt" beräkna det totala resultatet om antalet påverkade parametrar blir stort.

I och med att datorer av olika kapacitet idag är tillgängliga till mycket måttliga priser har möjligheter givits att beräkningsmässigt ta hänsyn till hur många olika faktorer påverkar en driftsituation. Tillgång till en dator med lämplig programvara kan även i små och relativt "enkla" system vara en förutsättning för att beräkningar överhuvudtaget kommer att utföras i de fall där kompetens eller beräkningsvana saknas hos berörd personal.

Mot denna bakgrund har denna förstudie med rubriken **Energisystemstyrning i värmeproduktionsanläggningar** genomförts. För att få ett lättare och mindre tungvrickande beteckningssätt kommer benämningen **EMS** (Energy Management System) att användas i fortsättningen av denna rapport.

1.2. Mål.

För förstudien har följande delmål ställts upp:

* Ge exempel på metoder och system som kan ingå i EMS.
* Kartlägga erfarenheter från existerande system.
* Ange exempel på möjliga vinster vid användande av EMS.
* Beskriva principiella svårigheter vid olika metoder för EMS.
* Ge förslag till arbetsområden där insatser bör göras för att uppnå en större användning av EMS.

1.3. Genomförande.

Uppdraget har genomförts genom diskussioner med representanter för de flesta större värmeverk/kraftvärmeverk i Sverige, flera små och medelstora verk samt de aktörer som kunnat identifierats när det gäller framtagning av system för EMS i Sverige.

Vissa idéer har testats på kursdeltagare vid en UR-kurs (Kraftindustrins utbildningsråd) som genomförts i samarbete med Högskolan i Eskilstuna/Västerås.

Arbetet med förstudien pågick under våren 1987.

1.4. Uppdraget.

Stiftelsen för Värmeteknisk Forskning har uppdragit åt Energiteknisk Utveckling AB, ETU att genomföra rubricerade förstudie. Projektet har inom Stiftelsen projektnummer E4-607. Inom ETU har arbetet genomförts av tekn dr Lars Wester och civ ing Robert Schuster.

2. FAKTORER SOM PÅVERKAR OPTIMAL DRIFT AV ENERGISYSTEM.

2.1. Allmänt.

En av orsakerna till att det är svårt att avgöra hur en optimal drift av ett energisystem ska ske är det stora antal variabler som påverkar det ekonomiska utfallet. För ett fåtal aggregat går det fortfarande att klart beskriva problemet och att utföra optimeringen manuellt men när antalet aggregat stiger blir antalet variabler för stort för att man ska kunna hantera problemet manuellt. Att överhuvudtaget optimera ett samband mellan flera variabler är ett matematiskt avancerat problem.

Många av de faktorer som påverkar den optimala driften är direkta variabler (bränslekostnader, hjälpkraftskostnader mm) medan andra kommer att utgöra villkor som måste vara uppfyllda vid optimeringen (flödesbegränsningar, max utgående temperatur från en värmepump mm). Innan själva optimeringsproblemet studeras görs en genomgång av de olika faktorer som påverkar problemet.

2.2. Olika produktionsenheter.

2.2.1. Bivillkor eller gränsvillkor.

En viss produktionsenhet har många karakteristiska egenskaper som kommer att påverka optimeringsproblemet. Många är självklara (och därmed ofta enkla att beskriva matematiskt) och kommer att behandlas separat i det följande.

Det som är svårast att ta hänsyn till är gränsvillkor eller bivillkor som är förknippade med produktionsenheten. Svårigheten ligger kanske inte närmast i att identifiera villkoret utan omsätta det i matematiska termer inför optimeringsarbetet. Uppenbara villkor är maximi- och minimilast för de olika enheterna, flödesbegränsningar och t ex maximal framledningstemperatur för värmepumpar.

2.2.2. Antal produktionsenheter.

Beräkningsarbetet stiger också ganska snabbt med antalet enheter i systemet. Finns det t ex 6 aggregat i ett system så kan man kombinera dessa på $2^6 = 64$ olika kombinationer bara när det gäller på/av för de enskilda aggregaten. Med en uppdelning av effektområdet för varje aggregat i olika områden blir det genast ett otal möjliga kombinationer. Många av kombinationerna kan förkastas som orimliga vid en manuell hantering men kan kontrolleras vid datorberäkningar då räknehastigheten i regel är mycket hög. Det kan ofta vara enklare att genomföra några extra beräkningar än att formulera ett villkor för att förkasta några kombinationer.

2.3. Faktorer som påverkar produktionskostnaden.

2.3.1. Bränslekostnader.

Bränslekostnaderna svarar i de allra flesta fall för den största enskilda kostnadsposten i den totala produktionskostnaden. För att kunna användas vid ekonomisk optimering bör bränslekostnaden uttryckas i kr/MWh eller liknande vilket inte är något problem när det gäller olja, kol eller andra "högvärdiga" bränslen. När det gäller torv eller flis köps dessa bränslen ofta per m^3 och ytterligare information måste vara känd för att energikostnaden skall kunna beräknas (t ex värmevärde på torrsubstans, fukthalt och torrdensitet).

Normalt är det enklast att räkna bränslepriserna som historiska värden dvs de priser som gällde när respektive bränsle levererades. Möjligen skulle ett återanskaffningsvärde ge ett bättre optimum men i gengäld innebär det ett merarbete att hela tiden mata in återanskaffningsvärdet till datorn. Med historiska värden skall bränslepriset ändras när nytt bränsle levereras (om priset förändrats jämfört med föregående leverans).

2.3.2. Verkningsgrad.

För att få bränslekostnadens inverkan på produktionskostnaden måste bränslepriset divideras med anläggningens verkningsgrad. Verkningsgraden bör då vara känd för olika laster och kan antingen mätas kontinuerligt (se ref [2]) eller läggas in som erfarenhetsvärden grundade på prov. För att få ett bra resultat, speciellt vid fasta bränslen, fordras att det enskilda aggregatet sköts enligt anvisningar så att inte t ex askförluster eller liknande avviker för mycket från inmatade värden (något system som kontinuerligt registrerar askförlusterna är inte känt för författarna).

Något som kan komplicera optimeringen är om t ex fjärrvärmesystemets returtemperatur påverkar verkningsgraden (som kommer att bli fallet om t ex en fjärrvärmevattenkyld ekonomiser är sista yta i pannan).

Motsvarande gäller för en värmepump där värmefaktorn varierar med last och temperaturnivåer på värmesänka och returtemperatur i fjärrvärmesystemet. En unik egenskap hos värmepumparna är att maximal utgående temperatur ofta är maximerad. Detta är svårt att beskriva som bivillkor då maximal temperatur kan inträffa vid i princip alla lastnivåer.

2.3.3. Hjälpkraft.

Vid en noggrann beräkning av produktionskostnaden ska kostnaden för hjälpkraft ingå. Kostnaden för hjälpkraften är oftast kostnaden för den elenergi som används för drift av pumpar, fläktar mm. I de flesta fall varierar också hjälpenergin med lastnivån.

När det gäller t ex en hetvattenackumulator kan, beroende på hur man väljer att beskriva ackumulatorn, hjälpkraft vara den enda kostnad som skall beaktas (se nedan).

2.3.4. Skattesatser.

Skatt utgår på bränsle och användning av elenergi. Ingår mottrycksturbiner eller andra elgenererande enheter i systemet kommer hjälpkraften att delvis vara skattefri. Överhuvudtaget måste skatteaspekterna beaktas när elgenerering ingår. Vid elgenerering beskattas inte bränslet utan elenergin beskattas hos användaren. Hjälpenergi är i detta sammanhang skattefri. För industriell verksamhet gäller dessutom att skattesatsen på elenergi minskas för elenergiförbrukning över 40 000 kWh/år samt att energiskatt beräknas utifrån totala produktionsvärdet för vissa energiintensiva industrigrenar (vilket innebär ett lägre uttag av energiskatt). Överhuvudtaget är beskattningsreglerna för industrin komplicerat uppbyggda. Detaljerna i dessa regler kommer inte att beaktas i det följande.

För drift av elpannor och värmepumpar kan också skattesatserna på elenergin variera med elkrafttillgången i landet.

2.4. Engångskostnader.

2.4.1. Allmänt.

Det finns tillfällen där kostnader uppstår utan att någon energi produceras. Detta innebär att denna engångskostnad eller punktvisa kostnad måste slås ut över en kortare eller längre period. Det kan finnas olika typer av punktvisa kostnader som lönekostnader vid övertidsarbete eller jourutryckningar (kan vara svåra att förutse), ökade kostnader för sotning eller annat underhåll under vissa driftbetingelser eller framför allt startkostnader. Här behandlas endast de senare då övriga kostnader ofta är betingade av speciella egenskaper hos det lokala systemet. Sättet att behandla punktvisa kostnader är dock likartat oberoende av vad som orsakar kostnaden.

2.4.2. Startkostnader.

Eftersom effektbehovet varierar över dygnet kommer det i många fall att innebära att ett aggregat måste startas och

stoppas varje dygn. Detta kommer att medföra vissa kostnader som uppstår utan att någon energi produceras. Kostnaden uppkommer genom extra energikostnader för att värma upp pannan, extra personalkostnader och eventuellt förslitningskostnader.

Det går i regel inte att ange några generella samband utan kostnaderna måste definieras från fall till fall. Energikostnaden uppstår då pannkropp och eventuellt vatteninnehåll måste värmas från stilleståndstemperatur till drifttemperatur.

I de fall en panna varmhålls av beredskapsskäl t ex genom att hetvatten cirkuleras genom den bör denna kostnad (kostnader för värmeförluster och pumpkostnader) ingå i totala produktionskostnaden även om den inte har samma engångskaraktär som den rena uppvärmningskostnaden. Kostnaden att t ex starta en ångpanna från kallt tillstånd till dess den avger nyttig energi kan vara avsevärd.

Om extra personalkostnader uppstår beror på hur personalen är organiserad (t ex om personalen går kontinuerlig skiftgång eller om någon måste göra en "jourutryckning").

Betydligt svårare än de båda tidigare kostnadsslagen är kostnaden som uppstår på grund av ökad förslitning eller ökat underhåll som följd av upprepade starter. Ofta saknas underlag för att denna kostnadstyp ska kunna anges. Vet man å andra sidan att starter väsentligt minskar livslängden för ett visst aggregat kan man genom att sätta en hög startkostnad för detta aggregat minska antalet starter.

För att förhindra att startkostnader uppstår kan flera aggregat hållas i drift under "låglastperioder". Därigenom kommer kostnaderna förmodligen att öka genom att de enskilda aggregaten har sämre verkningsgrader vid dellaster. Dessa ökade kostnader skall då jämföras med de uteblivna startkostnaderna.

2.5. Speciella produktionsenheter.

2.5.1. Allmänt.

Det finns ett par produktionsenheter som har unika egenskaper när det gäller att optimera ett energisystem, hetvattenackumulatorn och kraftvärmeblocket. Även här är i och för sig funktionen lätt att förstå men den matematiska beskrivningen och behandlingen blir krångligare.

Med dessa båda enheter i ett system finns det goda möjligheter att verkligen göra ekonomiska vinster genom en optimering av körstrategin. I och för sig gäller de villkor som beskrivits här ovan också för dessa enheter men de har också speciella egenskaper som kan förtjäna en separat behandling.

2.5.2. Kraftvärme.

Kraftvärme dvs samtidig produktion av värme och el kan ske i mottrycksångturbiner, dieselmotorer eller möjligen gasturbiner med efterföljande avgaspannor. Beträffande ångturbinen är det värmebehovet (mottrycksunderlaget) som helt avgör hur mycket el som kan produceras (om man inte har en sjövattenkyld kondenseringsdel i turbinaggregatet). Dieselmotorn måste ha kylning till cylindrar och smörjoljekylare mm men man kan släppa rökgaserna förbi avgaspannan och producera el oberoende av värmeuttaget (då till en sämre verkningsgrad jämfört med den kombinerade produktionen).

Idag finns endast oljeeldade dieselmotorer och gasturbiner (i Sverige) men dessa kan på sikt i många fall eldas med gas (naturgas eller från biomassa framställd syntetisk gas). Produceras elenergi utgår det inte någon bränsleskatt på den del av bränslet som används för elproduktionen utan elenergin beskattas istället hos den slutliga användaren (jämför sid 8 för energibeskattning inom industriell verksamhet).

Produktionskostnaden för elenergin beräknas i de flesta fall som aggregatets totalkostnad minskad med alternativkostnaden för den producerade värmen (dvs värmen prissätts efter vad det skulle kosta att producera värme i en hetvattenpanna eller med kraftvärmeblockets panna och direktkondensering av ångan i fjärrvärmesystemet). Är produktionskostnaden för elenergi lägre än priset i kraftnätet ska el säljas till nätet (och då så mycket el som möjligt).

Eftersom elpriset ofta varierar kraftigt mellan hög- och låglasttid ska man om möjligt söka föra över så hög last som möjligt till kraftvärmeblocket under höglasttid.

Även om produktionskostnaden för el är högre än priset i kraftnätet nattetid måste i regel kraftvärmeblocket vara i drift (på låg last) på grund av höga startkostnader. Här bör startkostnader från kallt respektive varmt tillsånd tas fram och i det senare fallet kanske också beroende av avställningstid. Hjälpkraftskostnader vid olika driftfall kommer att ha betydelse liksom många lokalt betingade detaljer (t ex turbindriven matarpump kontra eldriven matarpump). Kan sedan anläggningen drivas i blanddrift mellan mottryck och kallkondenseringsdrift ökar antalet möjliga driftfall mycket snabbt.

Trots att värmeproduktionskostnaderna (alternativkostnaderna) i kraftvärmeaggregatet kanske inte är de lägsta i systemet kan det finnas fall där så stor last som möjligt ska läggas där för att intäkterna (vinsten) av elproduktionen ska bli så stor som möjligt. I regel blir också elutbytet (α-värdet) större ju kallare returvattnet är i fjärrvärmesystemet vilket komplicerar både konstruktion av hela systemet (hopkoppling av olika produktionsenheter) och optimering av driften.

Ett exempel på "konflikter" är när både värmepump och mottrycksturbin finns i ett system. Värmepumpen har ofta en maximal framledningstemperatur och bör av detta skäl installeras så att den får så kallt vatten som möjligt dvs direkt på returen i fjärrvärmesystemet. Görs detta kommer mottrycksturbinen att få en högre inkommande vattentemperatur med i de flesta fall ett försämrat α-värde som följd och i många fall kanske också ett minskat mottrycksunderlag (minskad värmeeffekt).

Det ekonomiska utfallet av ett kraftvärmeblock är i mycket hög grad beroende av α-värdet som måste kunna beskrivas väl. Det varierar både med lastnivån och med temperaturnivå i fjärrvärmesystemet på ett icke linjärt sätt så att kraftvärmeblocket måste delas in i många delområden om optimeringsproceduren kräver linjära variabler.

Innehåller anläggningen ett eller flera kraftvärmeaggregat blir ofta ett datorprogram en förutsättning för en bra optimering av driften.

2.5.3. Elpris.

Ett konstant elpris skulle på många sätt underlätta val av produktionsenheter i uppvärmningssystem, både då det gäller elkrävande apparater som elpannor och värmepumpar och elproducerande enheter enligt ovan. Nu finns dock en strävan hos elproducenter och eldistributörer att med hjälp av priset söka jämna ut efterfrågan över dygnet och över årstiden. Elpriset kan därför förväntas variera både över dygnet och mellan olika årstider. För de allra flesta system kommer detta att innebära att man har kännedom om hur elpriset kommer att variera några dygn framåt i tiden.

De stora systemen kommer att vara utsatta för förändringar i marginalpriset på kraftbörsen (där priset kan variera mycket snabbt) vilket ur planeringssynpunkt är mindre bra men det ger också möjligheter att "tjäna pengar" genom att öka elproduktionen när elpriset stiger.

2.5.4. Hetvattenackumulator.

Hetvattenackumulator är i regel en atmosfärisk eller tryck-satt tank där överskottsenergi kan lagras. Varmt vatten förs in i toppen vid laddning och tas ut från toppen vid urladdning (kallare vatten förs bort respektive till från tankens botten). Genom täthetskillnader mellan varmt och kallt vatten bildas stabila skikt och blandning i tanken undviks. Är tanken atmosfärisk måste temperaturen på det lagrade vattnet vara under 100 °C. Vid mindre volymer kan ackumulatorn göras som ett slutet kärl (tryckkärl) vilket gör att vatten kan lagras vid temperaturer högre än 100 °C.

Hetvattenackumulatorer finns från några hundra till många tusen kubikmeter.

En ackumulator kan användas på olika sätt t ex:

- **Ackumulatorn utnyttjas för att erhålla jämnare driftförhållanden under dygnet. Konstant last på anläggningen eftersträvas på grund av verkningsgradens förändring med lasten eller för att undvika start av ny panna. Ett annat motiv kan vara att substituera oljebaserad värme under höglastperiod med ett billigare energislag. Driftsättet förutsätter att det inte sker någon elproduktion.**

- Ackumulatorn utnyttjas för att ge maximal mottrycksproduktion vid kraftvärmeverk. När värmebehovet är begränsande för mottrycksproduktionen laddas ackumulatorn. Urladdning sker när värmebehovet ej är begränsande för elproduktionen (t ex nattetid då elpriset är lägre).

- Ackumulatorn används enbart som reserv. Detta driftsätt kan vara motiverat vid höga värmelaster.

För att ackumulatorn skall vara lönsam (utom i det sista driftalternativet ovan) fordras att den kan laddas till låg kostnad under en del av dygnet och att marginalkostnaderna för produktionen (dvs extrakostnaderna för produktion av ytterligare en kWh) kan förväntas öka under andra perioder av dygnet.

Eftersom hastigheten både vid laddning och urladdning kan varieras måste en längre period framåt i tiden betraktas för att optimal drift av ackumulatorn ska kunna förutsägas. En viktig egenskap hos ackumulatorn är att den kan användas för att täcka kortvariga toppar som annars skulle medföra dels startkostnader för något alternativ och produktion till en högre marginalkostnad.

Förutom de rena värmeenergikostnaderna vid laddning uppkommer hjälpkraftskostnader (pumpkostnader) och vissa kostnader för värmeförluster från ackumulatorn.

Något absolut rätt eller bästa sätt för att beräkna optimalt driftsätt för en ackumulator kan inte urskiljas idag. Den grundläggande principen för kostnadsberäkningar av ackumulatorer är att kostnaden uppstår när ackumulatorn urladdas.

Ett ofta använt sätt att beräkna ackumulatorn är ange ett återanskaffningsvärde. Laddning sker när återanskaffningsvärdet är högre än marginalkostnaden för alternativ produktion och urladdning sker när återanskaffningsvärdet är lägre än marginalkostnaden.

I något av de program som finns för driftoptimering kan också användaren tvångsstyra ackumulatorn i varje tidssteg eller ange sluttillståndet efter en viss period. Om det senare alternativet används beräknar sedan programmet bästa driftsätt för att uppnå önskat sluttillstånd.

2.6. Prognoser.

Den kanske viktigaste faktorn när det gäller att kunna få en optimal drift i ett system till stånd är kännedom om den framtida lasten. Att i varje stund avgöra kostnaderna för olika produktionsenheter är relativt lätt (se "faktorer som påverkar produktionskostnaden" ovan) men tar man endast hänsyn till detta blir antalet start och stopp förmodligen stort och driften oekonomisk.

Att känna till hur effektbehovet kommer att variera framåt i tiden är därför en förutsättning för att systemet i god tid skall kunna anpassas för att täcka behovet. Kortvariga belastningssvackor leder då t ex inte till stopp och återstart av enskilda aggregat.

Värmebehovet i ett nät är beroende av väderlek (temperatur, vind och molnighet där temperaturen är den viktigaste faktorn), veckodag och tid på dygnet. För ett visst nät vet man hur värmebehovet varierar över dygnet, när morgontoppen kommer, hur stor den är i förhållande till medellast och hur långvarig den är osv. Variationen över dygnet är också beroende av veckodag där arbetsdagar och helgdagar uppvisar olika mönster. Eventuellt skiljer sig måndagar och fredagar från övriga arbetsdagar.

Genom att kombinera ihop en väderprognos med information om värmebehovets variation med utetemperatur och tid på dygnet kan man således få fram en prognos för hur värmebehovet kommer att variera framåt i tiden.

Det ideala vore givetvis att man skulle kunna göra säkra prognoser för åtskilliga dygn framåt i tiden. I regel får man dock nöja sig med bedömning ett dygn framåt då främst väderprognoserna är osäkra för längre tider. Väderprognoser kan fås från SMHI för var tredje eller var sjätte timme ett dygn framåt. Mellanliggande perioder får interpolleras för att informationen ska kunna kombineras med belastningskurvans variation till en värmebehovsprognos som helst bör kunna uttryckas i timmedelvärden (används långa tidssteg finns risk för att kortvariga toppar missas).

Utgående från prognosen för värmebehovet ett dygn framåt i tiden görs sedan det egentliga optimeringsarbetet (beskrivs nedan).

Ju bättre prognoserna kan göras desto bättre resultat kommer man att få av själva optimeringen. Beträffande värmebehovet kommer noggrannheten i prognosen att avgöras av väderleksprognosen. Även om man skulle kunna göra egna relativt noggranna lokala prognoser för någon timme framåt (grundade på temperaturmätningar, vindmätningar och ett visst statistiskt material) så lär man vara beroende av SMHI eller t ex flygvapnets lokala meteorologer när det gäller att förutsäga vädret ett dygn framåt eller mer.

Man kan även ha nytta av ett optimeringsinstrument för att planera underhåll, bränsleinköp mm. De prognoser som behöver göras för detta ändamål kan vara mycket grova och t ex behandla dygnsmedelvärden.

3. METODER FÖR EMS.

3.1. Inledning.

Energisystemstyrning kan omfatta en mångfald begrepp och faktorer. I denna rapport kommer endast optimal drift av energisystemen att studeras. Med optimal drift menas här det driftfall (körsätt för olika produktionsenheter) som ger lägsta produktionskostnaden för ett visst givet energibehov. Det energibehov som ska täckas är i de studerade fallen värmebehovet i ett fjärrvärmesystem eller vid en industri. I de fall elenergi produceras kommer intäkten från elproduktionen att dras ifrån den totala produktionskostnaden.

De olika produktionsenheterna förutsätts i detta fall drivas med bästa möjliga verkningsgrad under rådande förhållanden. Hur denna verkningsgrad ska uppnås behandlas inte här. Det kan dock bara konstateras att den relativa prissänkningen på datorsystem och elektronikkomponenter har givit ökade förutsättningar att justera processer optimalt samt att övervaka dessa, även i små och medelstora anläggningar, se t ex ref [1] och [2].

Intresset för EMS, eller i vart fall något system som underlättar val av produktionsmix i värmesystem, är stort och har ökat i takt med ökande kostnader och mer komplicerade produktionsanläggningar. Det finns ett fåtal datoriserade system för EMS i drift. I några fall är systemen mycket enkla och användaren söker utveckla existerande system eller finna nya mera kraftfulla system.

Beroende på systemets storlek och grad av komplexitet kan EMS innebära allt från ett mycket enkelt räknehjälpmedel till komplicerade programkomplex som kräver tillgång till minidatorer.

3.2. Räknehjälpmedel.

Att överhuvudtaget räkna skulle i många fall innebära minskade kostnader för driften av ett system. De beräkningar som behöver genomföras är i många fall mycket enkla och skälet till att de inte blir genomförda är att det inte finns någon som känner ett direkt ansvar för systemets kostnader eller att personalen saknar räknevana.

Ett typexempel på ovanstående är när en 2 MW (maxeffekt) fliseldad panna hålls igång över helger med periodisk tillsyn när medeleffekten blir så låg som 1 MW. Kostnaden för helgtillsynen var enligt en lokal överenskommelse 2000 kr. En enkel beräkning visar att det redan vid ca 1,5 MW medeleffekt lönar sig att stänga flispannan på fredag eftermiddag och elda olja över helgen. Flispannan kan sedan vara i drift i veckorna då den extra kostnaden för att hålla den i drift är låg.

Det behövs inte speciellt avancerade räkningar för att utgående från bränslepris räkna ut den rörliga produktionskostnaden för olika enheter. Har man tillgång till en enkel dator kan dessutom verkningsgradens variation med lasten, hjälpenergibehov mm tas med så att man direkt kan få energikostnaden för olika laster.

Från detta "minisystem" kan man sedan bygga på med startkostnader och andra klumpvisa kostnader som kan uppträda (t ex helgtillsynen) och få dessa kostnader summerade med energikostnaderna för olika perioder och på så sätt kunna jämföra kostnaderna för olika alternativ att tillgodose värmebehovet.

Skapas ett datorbaserat system är det också enkelt att beräkna t ex energipriser för fasta bränslen utifrån bränslepris (kr/m³ eller kr/ton), typbränsle och fukthalt. Den beräkningen kan dels underlätta en bedömning av värdet av ett erbjudande att köpa bränsle till ett visst pris och dels vara indata till "optimeringsberäkningen".

Även om ett system av det skisserade slaget kan vara mycket värdefullt för mindre anläggningar och nät är det kanske inte ett optimeringsproblem i matematiskt hänseende. Blir antalet variabler stort och när antalet tidssteg som skall betraktas ökar blir både uppgiften att formulera problemet och alla bivillkor samt att bestämma den optimala lösningen ett avancerat matematiskt problem.

3.3. Optimeringsprinciper.

3.3.1. Allmänt.

När antalet variabler i ett system ökar kommer den stora svårigheten att bestå i att finna den kombination av variablerna som ger den bästa lösningen (lägsta produktionskostnaden) för en given period.

I den matematiska litteraturen finns ett stort antal metoder beskrivna när det gäller att finna optimum av funktioner som innehåller flera variabler. Det är i få fall man överhuvudtaget kan använda metoderna "manuellt" på grund av det stora räknearbetet. Den oftast förekommande metoden för att lösa problemet är linjär programmering, men även andra metoder kan användas (se nedan).

3.3.2. Linjär programmering.

Som namnet antyder kan metoden bara hantera linjära samband mellan de olika variablerna och deras randvillkor. En kostnadsfunktion ställs upp där totala produktionskostnadens samband med de olika variablerna (effektnivåer för olika produktionsenheter) anges. Denna funktion ska minimeras med hänsyn till ett antal bivillkor (t ex tillåtna lastintervall

för varje aggregat, tillåtna eller otillåtna kombinationer av olika variabler) som också måste vara linjära. I många fall är linjäriteten ett "krångligt" villkor. För att beskriva kostnaden för värmeproduktionen i t ex en mottrycksturbin kan man behöva dela in lastområdet i flera olika delar där varje del är linjär men inte den totala funktionen. För varje sådant delområde tillkommer minst två bivillkor vilket gör att beräkningsarbetet ökar mycket snabbt.

Det behöver knappast påpekas att det i många fall kan vara svårt att formulera linjära bivillkor och linjära samband hur t ex returtemperaturen i fjärrvärmesystemet (som förmodligen beror på totala effektnivån) påverkar produktionskostnaden för värme i mottryckturbinen då dess totala produktionskostnad ska minskas med intäkterna från försäljning av elenergi. Mängden elenergi som kan produceras för en viss värmelast påverkas av α-värdet som bl a beror av temperaturerna i fjärrvärmesystemet.

Med denna metod måste startkostnader behandlas separat dvs optimeringen måste ske i två steg där problemet "grovoptimeras" utan startkostnader i ett första steg.

I den matematiska litteraturen finns olika metoder eller algoritmer (räkneregler) beskrivna för att lösa problemen (t ex simplex-algoritmen).

3.3.3. Mixed Integer Linear Programming.

Metoden är egentligen en utveckling av den ursprungliga linjära programmeringen där vissa variabler (beslutsvariabler) kan anta värdena av/på. Någon detaljerad information om metoden är inte känd för författarna.

3.3.4. Icke linjära problem.

Då det är svårt att formulera kostnadsfunktionen med linjära termer kan i stället en kostnadsfunktion eller målfunktion formuleras från ett antal oberoende variabler som inte behöver vara linjära. Den totala funktionen måste dock vara kontinuerlig i det betraktade intervallet. Funktionen är kombinerad med samma typ av bivillkor som i tidigare metod (t ex lastintervall) som måste vara linjära.

Även här finns flera olika lösningsmetoder. Vanliga är olika "sökmetoder" där man utgående från en given (eller föreslagen) lösning ändrar en variabel i taget så att målfunktionen blir så låg som möjligt. Hänsyn skall givetvis tas till alla gällande randvillkor. För att hitta en "bra" slutlig lösning krävs att alla variabler löps igenom många gånger. Ju bättre utgångsvärdet är desto snabbare kommer man fram till en bra lösning.

I regel innebär kravet på kontinuitet i målfunktionen att man inte kan hantera startkostnader utan även här får man i

ett tidigare steg välja en bra uppsättning produktionsenheter. För få valda produktionsenheter medför att effektbrist uppstår som då måste lösas genom att man manuellt tillfogar en produktionsenhet i ett visst tidssteg, alternativt manuellt stoppar en enhet som får gå lång tid på minlast.

Jämfört med linjära modeller innebär de icke linjära modellerna i regel ett större beräkningsarbete men kan förväntas ge ett noggrannare resultat i de fall formuleringen av de linjära sambanden inneburit förenklingar.

3.4. Möjliga vinster.

Det har inte gått att få fram direkta uppgifter på uppnåeliga eller förväntade vinster vid användning av EMS i de system som är i drift eller under utveckling idag. De som använder eller planerar att använda datormodeller upplever problemet som komplext och i princip omöjligt att kunna hantera manuellt (om man har ambitioner att driva systemet optimalt). Dvs det viktigaste skälet till att använda EMS är att få ett bra planeringsinstrument och kanske inte primärt att tjäna pengar (i så gott som alla praktiska fall kommer man också att tjäna pengar).

En av systemutvecklarna (Studsvik Energiteknik) anger att systemet för ett stort verk med många produktionsenheter bör få en pay-off-tid på 1-2 år för ett EMS-system.

Ett problem när det gäller att bedöma den verkliga kostnadsbesparingen vid införandet av EMS-system är att kunna uppskatta vad en manuell körning skulle ha inneburit. Det enda sättet att få fram "den sanna" kostnadsbesparingen är att använda ett datorsystem som kontroll av den manuella körningen under en något så när lång tid. Detta har dock inte skett så vitt vi kunnat utreda (det är kanske naturligt att använda datorsystemet när det väl införskaffats).

För att få en uppskattning av skillnaden mellan manuell planering och datorplanering gjordes en simulering i samband med en kurs i **Driftoptimering** arrangerad av UR (Kraftindustrins utbildningsråd) som genomfördes i samarbete med Högskolan i Eskilstuna/Västerås. Vid simuleringen jämfördes den körstrategi som angavs av datorprogrammet med manuellt gjorda körstrategier (av ett 20-tal vana driftingenjörer).

Utgångspunkten för jämförelsen var en lastvariation ett dygn framåt i tiden samt data och grova kostnader för tillgängliga produktionsenheter. Den manuellt bestämda produktionsmixen har sedan matats in i datorn där den totala produktionskostnaden beräknats med hänsyn till verkningsgraders och hjälpkraftskostnadens variation med lastnivåer mm.

Med antagen lastvariation blev den rörliga produktionskostnaden i storleksordningen 700 000 kr per dygn. Med den manuellt framräknade produktionsmixen blev kostnaden ca 2000 kr högre per dygn vilket kan tyckas lite. Gäller denna

besparing som medelvärde för årets alla dagar blir det dock avsevärda belopp på årsbasis.

Att manuellt hitta den av datorn föreslagna produktionsmixen måste betraktas som uteslutet då det är till synes obetydliga faktorer som avgör den optimala mixen. Någon möjlighet att manuellt genomskåda effekterna av dessa faktorer finns knappast. (Möjligen kan man med hjälp av programmet genom erfarenhet lära sig hur produktionsmixen ska se ut i vissa typfall).

Någon noggrann beräkning av vinsterna med datoroptimering låter sig inte göras utan ett mycket omfattande arbete.

4. EXEMPEL PÅ SYSTEM.

4.1. Inledning.

Det finns ett fåtal system för EMS i drift i Sverige. I något fall har man egna utvecklade system som inte fungerar helt tillfredsställande och arbeten/utredningar pågår om man skall förbättra befintliga system eller köpa färdiga system. Det finns åtminstone tre olika system kommersiellt tillgängliga i Sverige. (De stora leverantörerna av datoriserade reglersystem verkar inte ha några egna system färdiga).

Vi har funnit följande aktörer på den svenska marknaden:

- Studsvik Energiteknik AB, ref [3], med ett system för användning i bl a Stockholms Energis anläggning i Värtan (under uttestning och idrifttagning).

- Bergman & Co AB, ref [4], med ett system som varit installerat i Helsingborg drygt ett år och planeras införas i ytterligare värmenät.

- Temaplan AB, ref [5], kommer att marknadsföra ett system för produktionsoptimering. Detta är ursprungligen utvecklat i Österrike för i första hand elproduktionssystem. Någon detaljerad information om systemet har inte kunnat inhämtats inom ramen för detta projekt. För optimeringsarbetet skall man enligt tillgängliga uppgifter använda metoden "Mixed Integer Linear Programming" enligt ovan.

Här kommer de båda första systemen att beskrivas mycket kortfattat. Någon prestandamässig jämförelse kommer inte att göras då detta skulle kräva en väsentligt mycket mera detaljerad information om de båda metoderna samt gott om tid att simulera olika driftfall.

4.2. Helsingborgs energiverk.

Helsingborgs energiverk har sedan ca ett år tillbaka haft ett BECO (Bergman & Co) system i drift. I Helsingborg finns produktionsenheterna (i normal kostnadsordning) spillvärme från Boliden, ett koleldat kraftvärmeblock, koleldad fluidiserad bädd samt oljeeldade hetvattenpannor. Förhållandet mellan producerad el- och värmeenergi kan varieras inom relativt vida gränser i kraftvärmeblocket. Ett möjligt driftfall för detta är också att "dumpa el" dvs elproduktionen dras ned till förmån för värmeproduktionen (är dyrare än FBC-pannan men i regel billigare än oljeeldade pannorna.

Programmet är utvecklat och körs på en persondator. Planeringen görs utgående från en värmebehovsprognos och en prognos över elpriset för ett dygn framåt. Beräkningarna görs för steg om en timme (dvs programmet räknar för 24 tidssteg). Optimeringen sker i två etapper där första steget

blir en grovoptimering med hänsyn till startkostnader mm. I andra steget förfinas sedan optimeringen och ger produktionsmixen för varje timme ett dygn framåt i tiden.

Programmet kan för närvarande inte hantera en ackumulator. Under sommaren 1987 kommer dock en sådan att tas i drift och arbete pågår med att utveckla optimeringsmodellen så att den även kan hantera ackumulatorn.

Programmet bygger på optimeringsprincipen linjär programmering med bivillkor. Räknearbetet blir då måttligt och man klarar således att räkna i 24 tidssteg på en persondator (åtminsone utan ackumulator). Beroende på svårigheter att beskriva alla inverkande faktorer i linjära samband kan noggrannheten bli något sämre än för ett mer avancerat system. I de flesta fall kanske detta trots allt inte spelar så stor roll då det aldrig går att göra prognoserna exakta. En del av onoggrannheten kompenseras också av att beräkningarna görs i så korta tidssteg att även kortare belastningstoppar kommer med.

Programkomplexet är så utformat att man utöver den "bästa" produktionsmixen också kan få information om känsligheten i resultatet genom att merkostnader redovisas vid alternativ körning av de anläggningar som är behäftade med startkostnader. Marginalpriser i el och värme redovisas också av systemet.

Den stora nyttan av systemet har man hittills haft på mellaneffektnivåer där något av kolblocken "nätt och jämt" får plats. När ackumulatorn kommer i drift förväntar man sig att nyttan av optimeringssystemet ska öka avsevärt.

4.3. Värtaverket.

För det så kallade Värtanätet inom Stockholm Energi har Studsvik Energiteknik AB utvecklat ett optimeringsprogram som för närvarande är under uttestning och idrifttagning. Flera liknande system planeras sedan för Stockholm Energis övriga anläggningar.

Systemet är uppbyggt kring en optimeringsmodul som bygger på en sökmetod för en kontinuerlig funktion av flera variabler som nödvändigtvis inte behöver vara linjära. Utifrån en av operatören föreslagen produktionsmix söker programmet den "bästa" lösningen. Programmet körs på mini- eller stordatorer och är mer räkneintensivt än linjärprogrammering. Det är dock mycket noggrannt och tar hänsyn till verkningsgraders, värmefaktorers och hjälpkraftbehovens variation med lastnivå, temperaturer i fjärrvärmesystemet mm. I nuvarande utformning orkar programmet räkna i 8-10 tidssteg vilket kräver relativt långa steg om ett dygn ska behandlas. Tidsstegen behöver dock inte vara lika långa varför "kritiska" tidsperioder kan ha en tätare indelning.

Värtaverket omfattar många produktionsenheter enligt nedan:

Kraftvärmeblock 330 MW
Oljeeldade hetvattenpannor 2x115 + 160 MW
Oljeeldade ångpannor 2x150 MW (för värmeproduktion)
Elpannor 3x50 MW
Värmepumpar Värtan 4 st tillsammans 25 MW
Värmepumpar Ropsten 3 st tillsammans 260 MW
Ackumulator, atmosfärisk 40000 m^3 max 500 MW vid urladdning

Detta ger tillsammans en maximal produktionskapacitet på 1255 MW utan ackumulator.

Kraftvärmeblocket kan dessutom producera max 260 MW el (utan värmeproduktion) eller max 215 MW el vid full värmeproduktion. Kraftvärmeblocket kan dessutom gå i sk blanddrift vilket i princip ger oändligt många driftfall. Elproduktionen är beroende av temperaturerna i fjärrvärmesystemet där speciellt returtemperaturen påverkas av värmepumparna i Ropsten som är kopplade så att de höjer ingående temperatur till kraftvärmeblocket. I detta system är säkerligen ett datorsystem enda möjligheten att komma i närheten av optimal drift.

De många produktionsenheterna och ackumulatorn gör också att räknearbetet blir omfattande med vald optimeringsmetod.

Vid en optimering sker ofta en serie körningar med programmet med olika förutsättningar givna (produktionskapacitet kan t ex behöva tas bort ur systemet om flera anläggningar går kraftigt nedreglerade).

Programmet kan också användas för punktvisa beräkningar genom att effektnivåer för de olika enheterna låses liksom för beräkning av marginalkostnader mm.

Någon egentlig erfarenhet från verklig drift av programmet finns ännu inte. Vid de tester som gjorts är det mycket svårt att avgöra om programmet "räknar rätt" då det knappast går att manuellt kombinera ihop det stora antal parametrar som påverkar resultatet. Några resultat kan först tyckas underliga med kan efter viss möda verifieras som riktiga och bra. Om datorn verkligen presenterar den bästa mixen går således inte att avgöra. Det ska dock konstateras att det manuellt inte gått att finna bättre lösningar än de datorn föreslagit.

Ett av de resultat som (enligt författarna av denna rapport) fortfarande är svårt att förklara är varför ackumulatorn alltid är under laddning eller under urladdning. Det är endast vid fall av tvångsstyrning som ackumulatorn "står stilla" som t ex vid hög värmelast i systemet då ackumulatorn laddas fullt och står som effektreserv.

5. FÖRSLAG TILL YTTERLIGARE INSATSER.

5.1. Inledning.

Det kan konstateras att det finns utvecklade hjälpmedel som effektivt kan hantera rena värmesystem och system med elproduktion utan ackumulator.

Det enklare hjälpmedlet som behandlades ovan (avsnitt 3.2) kan finnas ute på marknaden redan. Något stöd för utvecklingsarbete behövs inte, däremot vore det värdefullt om berörda anläggningsägare kunde nås med information om nyttan av att genomföra beräkningar då det av någon anledning finns en uppenbar räkneovilja framför allt vid mindre anläggningar.

5.2. Utbildning.

För det mindre eller medelstora verket är egentligen inte optimeringsproblemet en matematisk svårighet utan beror på att beräkningar helt enkelt inte genomförs eller att underlag saknas för att beräkningar ska kunna genomföras. Skälet till att beräkningar inte genomförs kan vara många men ett viktigt skäl är ofta att personalen har en "räkneovana" och därmed är främmande för att gripa sig an problemen.

Dessa erfarenheter har framkommit dels vid kontakter med mindre värmeverk och dels i samband med de kurser som givits av Högskolan i Eskilstuna/Västerås direkt riktade till driftpersonal av olika kategorier. Högskolan har i flera fall genomfört kurser direkt anpassade till ett visst verk där hela driftpersonalen deltagit. I många fall har kurserna inneburit en "reaktivering" av räkneförmågen vilket gör att man direkt kan analysera driftsituationen bättre. Några moment av driftplanering har dock inte ingått i dessa kurser hittills.

För att kunna utröna om en informations- eller utbildningsinsats verkligen leder till ett ändrat beteende hos driftpersonalen bör något pilotprojekt genomföras där personalen vid ett visst verk får genomgå en kortare utbildning direkt inriktad mot en mera optimal insats av produktionsenheterna. Driftutfallet bör då studeras en viss tid både före och efter utbildningsinsatserna. I den mån tillräckligt underlag saknas för att en optimal produktionsmix ska kunna räknas fram (typ verkningsgradens variation med last för olika aggregat, hjälpkraftsbehov mm) kan framtagandet av detta underlag ingå som ett moment i kursen.

5.3. Ackumulator vid elproduktion.

Det finns system tillgängliga som hanterar ackumulatorn men dels blir beräkningsarbetet omfattande och dels går det inte utan vidare att "inse" att ackumulatorn verkligen drivs så

att det absolut bästa driftfallet uppnås. I många fall är det också svårt att beskriva ackumulatorn matematiskt och därmed är det också svårt att kunna beskriva ackumulatorns nytta på bästa sätt.

Ett projekt speciellt med avseende på optimal drift av ackumulatorer vid anläggningar med kombinerad el- och värmeproduktion bör därför genomföras. Studien bör göras generell så att andra tekniker för elproduktion än ångturbiner kan behandlas (speciellt viktigt för att få effektiva små kraftvärmesystem när kärnkraften börjar avvecklas). Studien måste dock omfatta ett komplett system med hjälpkraftkostnader, ev värmeförluster samt olika alternativa värmeproducenter.

En ackumulator i ett rent värmenät tjänar endast till att jämna ut belastningen över dygnet för den "bästa" produktionsenheten vilket är jämförelsevis enkelt att beskriva matematiskt. Några ytterligare insatser för att optimera driften av dessa anses inte behövas.

5.4. Industriella energisystem.

I de energikrävande industrierna omsätts stora energimängder vilket också medför stora kostnader. På många sätt är optimeringsproblemet likartat med värmenätens men med två principiellt viktiga undantag; kravet på avbrottsfri drift och möjlighet att göra prognoser. Driftsäkerheten är viktig då produktionsstopp medför stora ekonomiska förluster och ett optimerat system får på inga villkor medföra en sämre leveranssäkerhet. Ett fjärrvärmesystem är i sammanhanget mycket trögt i jämförelse med processångsystem (trots att en viss leveranssäkerhet kan byggas in i ångackumulatorer och liknande).

Prognoser kan göras med god säkerhet vid normal drift däremot kan inte driftstörningar förutsägas vilket direkt påverkar energibehovet. Om det överhuvudtaget går att få optimeringssystem att fungera under rådande premisser är osäkert men det vore värdefullt att närmare kunna studera någon typindustri. I det studerade fallet bör det finnas möjlighet till mottrycksproduktion av elenergi då denna kommer att få en alltmer ökande betydelse när elpriserna stiger.

6. REFERENSER.

[1] Schuster R.: Styrning av värmeproducerande fastbränsle-anläggningar. Rapport under utarbetande, Stiftelsen för Värmeteknisk forskning proj nr B4-619.

[2] Wester L: Bränsleenergiövervakning. Rapport från Statens Energiverks projekt 146 33455.

[3] Information kan erhållas av Hans Gransell eller Clas Grägg, Studsvik Energiteknik AB, tel 0155/21000.

[4] Christer Olsson (Helsingborgs energiverk), Pål Pentén (BECO) m fl: Computer Programme for the optimization of heating and electricity producktion in Helsningborg. Fernwärme International, Jg 15 (1986), H.5, S. 291-296.
Pål Pentén kan nås på Bergman & Co i Stockholm.

[5] Temaplan AB, tel 08/235185.

Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeteknisk Forskning och utveckling. Stiftelsens forskningsprogram är tillämpningsinriktat och fokuseras på energi- och processindustriernas behov och problem. Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Elforsk
- Värmeverksföreningen
- Övrig industri

Värmeforsk samarbetar med Närings- och teknikutvecklingsverket (NUTEK).

STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING

Box 1765 · 111 87 Stockholm
Tek: 08-7900600 · Fax 08-796 00 37