

OPTIMALA FJÄRRVÄRMESYSTEM



Rapport | 2009:13



OPTIMALA FJÄRRVÄRMESYSTEM
I SYMBIOS
MED INDUSTRI OCH SAMHÄLLE

FÖR ETT HÅLLBART ENERGISYSTEM

LOUISE TRYGG KRISTINA DIFS ELISABETH WETTERLUND
PATRIK THOLLANDER INGER-LISE SVENSSON

FÖRORD

Det här projektet har studerat hur fjärrvärmen kan utvecklas trots en minskad försäljning till uppvärmning av fastigheter. Studien visar att fjärrvärmen kan användas till industriella processer och absorptionskyla men också samverka med biokombinat för drivmedelframställning. Inom projektet har en modell för analys av fjärrvärme till industrier tagits fram dessutom har forskarna undersökt vilka faktorer som påverkar samarbetet mellan fjärrvärmeföretag och industrin.

Optimala fjärrvärmesystem i symbios med industri och samhälle redovisar resultaten från en studie inom forskningsprogrammet Fjärrsyn som finansieras av Svensk Fjärrvärme och Energimyndigheten. Fjärrsyn ska stärka konkurrenskraften för fjärrvärme och fjärrkyla genom ökad kunskap om fjärrvärmens roll i klimatarbetet och för det hållbara samhället till exempel genom att bana väg för affärsmässiga lösningar och framtidens teknik.

Studien har genomförts av Louise Trygg, Kristina Difs, Elisabeth Wetterlund, Patrik Thollander och Inger-Lise Svensson på Energisystem, Institutionen för ekonomisk och industriell utveckling, Linköpings universitet.

En referensgrupp, tillsatt av Svensk Fjärrvärme, har deltagit och gett synpunkter och kommentarer på arbetet under hela projekttiden. Referensgruppen har bestått av Erik Dotzauer Fortum Värme, Anders Goop Borlänge Energi, Erik Larsson Svensk Fjärrvärme, Maria Lindroth, E.ON Värme och Lena Nordenstam, Tekniska Verken i Linköping. Referensgruppen har också bidragit med värdefulla synpunkter på tidiga versioner av denna rapport.

Gunnar Peters

Ordförande i Svensk Fjärrvärmes Omvärldsråd

SAMMANFATTNING

Med ökad medvetenhet om den pågående klimatförändringen är det av central betydelse att hitta åtgärder som leder till en omställning mot hållbara energisystem och ett hållbart samhälle. Fjärrvärme har en viktig roll i energiförsörjningen eftersom den ger möjlighet att ta tillvara värmeresurser som annars kan vara svåra att utnyttja, som exempelvis spillvärme från industrier och förbränning av avfall. Fjärrvärmesystemen möjliggör också elproduktion i kraftvärmeverk, med betydligt högre totalverkningsgrad än vid separat el- respektive värmeproduktion. Ett led i omställning mot hållbarhet är därför förändring av energisystemet mot en ökad användning av fjärrvärme och minskad användning av el genom dels effektiviseringar och dels via konverteringar från olja och el till fjärrvärme. Våra svenska fjärrvärmesystem är väl utbyggda och utgör en viktig resurs i detta arbete.

Den pågående klimatförändringen kommer med största trolighet att medföra förändrat uttagsmönster för både värme- och kylbehov. Med ett varmare klimat minskar behovet av värme samtidigt som efterfrågan på kyla ökar. Förändrade uttagsmönster för fjärrvärme och kyla, ökad konkurrens och tydligare medvetenhet om den pågående klimatförändringen medför att fjärrvärmens står inför nya utmaningar där utveckling av nya affärer och nya marknader blir allt viktigare.

Idag används fjärrvärmens främst för uppvärmning och tappvarmvatten vilket medför att utnyttjningstiden för fjärrvärme till stor del är utomhustemperaturberoende. För att minska utomhustemperaturberoendet och på så sätt få en lastkurva för fjärrvärme som är mer ”fyrkantig” i sin utformning krävs ett fjärrvärmebehov som är mer jämnt fördelat under året. Ett jämnare effektuttag över året leder till bättre utnyttjningstid och driftförhållande för baslastanläggningarna vilket är gynnsamt speciellt i ett kraftvärmesystem eftersom det möjliggör utökad elproduktion. Flera studier har visat hur utnyttjningstid och värmelasten är de faktorer som påverkar lönsamheten mest för ett biobränsleeldat kraftvärmeverk.

Syftet med föreliggande projekt är att visa hur fjärrvärmesystemen kan bidra till resurssnåla energisystem med minskad klimatpåverkan. Men hjälp av systemstudier av olika fall lyfter projektet fram exempel där industrier och energileverantörer kan samarbeta kring fjärrvärmerelaterade åtgärder och hur detta leder till hållbara fjärrvärmesystem. Åtgärder som studerats är ökad användning av fjärrvärme inom industriella processer, absorptionskyla samt introduktion av bioenergikombinat i fjärrvärmesystem. För att få kunskap om hur dessa idéer kan gå från att vara potentiellt lönsamma åtgärder till att bli faktiska genomförda projekt, analyseras även vilka faktorer som driver fram ett värmesamarbete mellan en industri och ett energibolag.

Resultatet från projektet visar att det finns stora potentialer att öka användningen av fjärrvärme inom industriella processer, från 100 GWh till 300 GWh för de 41 industrier belägna i 6 olika kommuner som analyserats. Konverteringen till ökad fjärrvärmearvändning påverkar lastkurvan så att utnyttjningstiden ökar, vilket ger en bättre utnyttjandegrad av fjärrvärmearnläggningarna i systemet. På samma sätt är absorptionskyla för att möta ökat kylbehov en åtgärd som leder till mer uthålliga energisystem. När fjärrvärmedrivna absorptionskylmaskiner introduceras i Örebros energisystem minskar de globala emissionerna av CO₂ samtidigt som systemkostnaden reduceras. Ett ökat framtida kylbehov i Örebro i samband med högre elpriser medför att absorptions-

kyla ersätter både frikyla och kompressionskyla med en optimal andel kyla från absorptionskylmaskiner på över 60 % och ökad ekonomisk lönsamhet med ca 6 MSEK per år.

Ytterligare en åtgärd som bidrar till omställning mot minskad klimatpåverkan är investering i bioenergikombinat. Introduktionen av storskalig förgasning i Linköpings fjärrvärmesystem har en potential till en signifikant minskning av globala CO₂-utsläpp jämfört med om endast konventionell biokraftvärme beaktas. Reduktionspotentialen varierar beroende på vilken typ av förgasning som investeras i.

Intervjuer och enkätstudier i syftet att analysera hur dessa värmerelaterade åtgärder kan gå från potentiella åtgärder till att bli verkliga lönsamma projekt visade att finns ett antal högt rankade framgångsfaktorer som inte är främst ekonomiska utan snarare inomorganisatoriska eller individrelaterade till sin karaktär. Styrmedel är högt rankat, i synnerhet av industrin. En parameter som också visat sig utgöra en katalysator i flera samarbeten har varit att ett universitet varit involverat och byggt optimeringsmodeller över energisystemet på orten.

Fjärrvärmesystemen har en viktig roll i den övergripande omställningen av våra energisystem mot ökad grad av hållbarhet. Med ökad medvetenhet om den pågående klimatförändringen är det av central betydelse att hitta åtgärder som främjar och påskyndar en sådan omställning. I detta arbete lyfts flera åtgärder fram som visar hur fjärrvärmesystem på ett tydligt sätt kan bidra till både minskad klimatpåverkan och ekonomiska vinster.

Ökad fjärrvärme i industriella processer, absorptionskyla för att möta ökat kylbehov och bioenergikombinat är exempel på åtgärder som leder till utformning av optimala fjärrvärmesystem för ett hållbart samhälle. Detta arbete har också visat vad som krävs för att dessa värmerelaterade åtgärder mellan industrier och energileverantörer ska bli verkliga lönsamma samarbeten. Genom att identifiera dessa åtgärder kan vi på ett tydligt sätt visa på fjärrvärmens unika möjligheter att bli en ännu mer central aktör i den nödvändiga och mycket viktiga omställningen mot hållbarhet.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Inledning	10
Bakgrund	10
Syfte	11
Rapportupplägg	12
Projektomfattning	13
Genomförande	15
Delstudie 1 – Ökad fjärrvärme i industriella processer	15
Delstudie 2 – Fjärrvärmedriven absorptionskyla för ökat kylbehov	15
Delstudie 3 – Bioenergikombinat i fjärrvärmesystem	15
Delstudie 4 – Vägen till framgångsrika värmesamarbeten	16
Resultat	18
Ökad fjärrvärme i industriella processer	18
Fjärrvärmedriven absorptionskyla för ökat kylbehov	19
Bioenergikombinat i fjärrvärmesystem	20
Vägen till framgångsrika värmesamarbeten	21
Diskussion och slutsatser	23
Vetenskapliga publikationer	25
Fortsatt arbete	26
Delstudie 1 – Ökad fjärrvärme i industriella processer	28
Inledning	28
Bakgrund och teori	29
Värmelasten	29
Studerade industrier	32
Metod	33
Energianalys	34
Analys av värmelaster	34
MeHLA applicerat på de studerade industrierna	35
Resultat	36
Värmelastkurvor och fjärrvärmebehov	36
Påverkan på de globala koldioxidutsläppen	39
Fortsatt arbete	40
Diskussion och slutsatser	41
Referenser	42
Bilaga 1. Analyserade industrier	45
Delstudie 2 – Fjärrvärmedriven absorptionskyla för ökat kylbehov	47
Inledning	47
Syfte	49
Bakgrund	50

Absorptionskyla – teknik	50
Jämförelse mellan absorptionsteknik och kompressionsteknik i ett kraftvärmesystem	51
Studier om absorptionskyla och kompressionskyla	52
Studerat system	54
Fallstudie Örebro	54
Metod	55
Scenariebeskrivningar	55
Bränslepriser och CO ₂ -emissioner	55
Indata	56
Resultat	58
Produktion av kyla	58
Systemkostnader och CO ₂ -emissioner	58
Diskussion	60
Referenser	61
Delstudie 3 – Bioenergikombinat i fjärrvärmesystem	62
Inledning	62
Syfte	62
Bakgrund	64
Bioenergikombinat	64
Förgasning av biomassa	64
Ekonomiska styrmedel som påverkar fjärrvärmesystemet	65
Existerande styrmedel	65
Stöd för biodrivmedel	66
Studerat system	67
Fallstudie – Linköping	67
Investeringsmöjligheter	68
Metod och indata	71
Optimeringsmodell	71
Studerade scenarier	72
Utvärdering av brytpunkter för olika ekonomiska styrmedel	73
Känslighetsanalys	73
Utvärdering av CO ₂ -effekt	74
Indata nya anläggningar	74
Resultat	76
Nya investeringar	76
Brytpunkter för olika ekonomiska styrmedel	76
Värmeproduktion	78
El- och biodrivmedelsproduktion	79
Ekonomisk utvärdering	80
Globala CO ₂ -utsläpp	81
Resultat från känslighetsanalysen	82

Diskussion	84
Slutsatser	86
Referenser	88
Bilaga 1. Indata nya investeringar	91
Bilaga 2. Prisindata scenarier	92
Bilaga 3. Specificering resultat	94
Delstudie 4 – Vägen till framgångsrika värmesamarbeten	96
Inledning	96
Syfte	96
Hinder och drivkrafter för energieffektivisering	97
Hinder	97
Drivkrafter	99
Marknadsrelaterade drivkrafter	99
Styrmedel som påverkar svensk industri	100
Potentiella framtida industriella styrmedel	100
Beteende och organisatoriska drivkrafter	100
Samarbete mellan industri och energibolag	101
Studier av värmesamarbeten	101
Systemteori i samarbeten mellan industrier och energibolag	101
Metod och avgränsning	102
Resultat från intervjuerna	103
Heterogenitet	103
Dolda kostnader	103
Tillgång på kapital	104
Risk	104
Imperfekt information	106
Asymmetrisk information	107
Trovärdighet och förtroende	108
Tröghet	109
Värderingar	110
Resultat från enkäten	112
Marknadsrelaterade drivkrafter	112
Styrmedel som påverkar svensk industri	112
Potentiella framtida industriella styrmedel	112
Beteende och organisatoriska drivkrafter	112
Slutsats och diskussion	114
Referenser	117
Bilaga 1. Frågeformulär	119
Drivkrafter för fjärrvärmesamarbete	119

INLEDNING

Studien ”Optimala fjärrvärmesystem i symbios med industri och näringsliv – för ett hållbart energisystem” har utförts av avdelningen för Energisystem vid Linköpings universitet med syftet att visa hur fjärrvärmesystemen kan bidra till resurssnåla energisystem med minskad klimatpåverkan.

Men hjälp av systemstudier lyfter projektet fram exempel där industrier och energileverantörer kan samarbeta kring fjärrvärmerelaterade åtgärder och hur detta leder till hållbara fjärrvärmesystem. Projektet har genomförts i form av fyra delstudier med olika fokus. I de tre första delstudierna analyseras olika åtgärder – ökad fjärrvärmeanvändning i industriella processer, fjärrvärmedriven absorptionskyla samt introduktion av bioenergikombinat i fjärrvärmesystem. Den fjärde delstudien syftar till att få kunskap om hur denna typ av idéer kan gå från att vara potentiellt lönsamma åtgärder till att bli faktiska genomförda projekt, och analyserar vilka faktorer som driver fram ett värme-samarbete mellan en industri och ett energibolag.

Bakgrund

Omställning av våra energisystem mot ökad uthållighet är en viktig del i strävan mot lägre klimatbelastning. Fjärrvärme har en viktig roll i energiförsörjningen eftersom den ger möjlighet att ta tillvara värmeresurser som annars kan vara svåra att utnyttja, som exempelvis spillvärme från industrier och förbränning av avfall. Fjärrvärmesystemen möjliggör också elproduktion i kraftvärmeverk, med betydligt högre totalverkningsgrad än vid separat el- respektive värmeproduktion. Ett led i omställning mot hållbarhet är därför förändring av energisystemet till en ökad användning av fjärrvärme och minskad användning av el genom dels effektiviseringar och dels via konverteringar från olja och el till fjärrvärme. I ett europeiskt elsystem, där kolkondens är den marginella elkälla som ändras när elanvändning ökar eller minskar, ger en ökad elproduktion i fjärrvärmesystemen möjlighet att minska de globala utsläppen av koldioxid. När den el som produceras genom kraftvärme i svenska fjärrvärmesystem exporteras kan den ersätta el som är producerad med högre externa kostnader och därmed bidra till minskad miljöbelastning inom EU.

Åtgärder för att främja en omställning mot mer uthålligt samhälle har studerats i ett antal tidigare projekt. Som exempel kan nämnas studier där man studerat hur svensk industriell energianvändning kan ställas om genom dels effektivisering, dels konvertering från el till fjärrvärme i processer som inte är elspecifika. I programmet ”Uthållig kommun” har ett flertal industrier analyserats i syfte att ställa om energianvändningen mot mer fjärrvärmeanvändning och mindre elberoende. Resultatet från programmet visade på stora möjligheter att minska elanvändningen och kraftigt öka fjärrvärmeanvändningen. Även i Oskarshamnsprojektet visar resultaten att industrierna genom att förändra sin energianvändning kraftigt kan öka sin fjärrvärmeanvändning och minska sin elanvändning. Med kolkondens som marginell elproduktion innebär förändringar av energianvändningen mot mindre elanvändning och ökad fjärrvärmeanvändning möjligheter att minska de globala utsläppen av växthusgasen CO₂.

En gemensam europeisk elmarknad med ökad handel av el över landsgränserna kommer troligen att medföra en utjämning av elpriserna mellan länderna. Idag kännetecknas Sverige av ett energidimensionerat elsystem med förhållandevis lågt elpris

där variationerna följer säsongerna. I övriga Europa är elpriserna ibland mer än de dubbla med stora variationer över dygnet istället för över året. Med en öppen handel av el mellan länderna kommer det effektdimensionerade europeiska systemet med högre elpriser med största sannolikhet att kännas av även i Sverige. Det troligaste scenariot är då att svenska kunder möter både högre elpriser och elpriser med stora variationer mellan dag- och natt. Detta innebär att kraftvärmeproduktionen blir mer lönsam och elvärme (inklusive värmepumpar) mindre gynnsam. Det innebär också att fjärrvärmens konkurrenssituation stärks vilket kan ge nya fjärrvärmekunder och öppna upp för nya fjärrvärmeapplikationer såväl inom industrin som för lokaler och bostäder. Högre elpriser kommer sannolikt också leda till minskad värmepumpsbase-rad fjärrvärmeproduktion.

Frihandel innebär att de komparativa fördelar som finns i olika länder utnyttjas, som till exempel vindkraft där det blåser mest. Sverige har unika möjligheter vad gäller kraftvärme, främst beroende på de stora investeringar som redan gjorts i fjärrvärmesystemen, men också på grund av vår stora biobränslepotential. Samtidigt högt behov av el och värme på vintern ger också fördelar för kraftvärme i Sverige. Nackdelen med det starkt säsongskarakteriserade svenska energisystemet är en ojämn värmelast för fjärrvärmesystemen, med hög topplast under vintern och låga sommarlast, vilket reducerar utnyttningstiden för kraftvärmeverken. Genom att jämna ut fjärrvärmelasten kan utnyttningstiden för kraftvärmesystemen förlängas och elproduktionen ökas. Exempel på metoder för att jämna ut värmelasten är fjärrvärmedriven absorptionskyla under normal låglastsäsong och effektreducerande åtgärder i byggnadsbeståndet.

Det är viktigt att se energiförsörjningen ur ett systemperspektiv för att undvika att ekonomiska och miljömässiga vinster vid en anläggning ersätts av förluster någon annanstans. Att beakta alla de tekniska förutsättningar, ekonomiska faktorer och andra förhållanden i omvärlden som påverkar energisystemet är en komplex uppgift och utgör en stor framtida utmaning. Genom systemanalyser kan man beräkna hur tillgängliga resurser bör utnyttjas för att åstadkomma hållbara helhetslösningar för fjärrvärmeförsörjningen.

Syfte

Detta projekt har som syfte att genom systemanalyser visa hur svenska fjärrvärmesystem i symbios med industri och samhälle kan bli en ännu mer långsiktig och kostnads-effektiv del av den globala klimatlösningen. Målet är att genom studier med utgångspunkt i verkliga fjärrvärmenät analysera förutsättningar och utformning av optimala fjärrvärmesystem.

Inom projektet analyseras både hur olika värmerelaterade åtgärder – ökad fjärrvärmeanvändning inom industrin, absorptionskyla och bioenergikombinat – kan bidra till utformningen av ett resurssnålt energisystem, och vilka hinder och drivkrafter för att resurseffektiva värmesamarbeten ska kunna bli verklighet som finns. För att analysera möjlig fjärrvärmekonvertering inom industriella processer har en särskild metod, MeHLA (Method for Heat Load Analysis), utvecklats.

Alla analyser är gjorda i ett systemperspektiv där helhetslösningar för energisystem optimeras för långsiktighet både regionalt och lokalt.

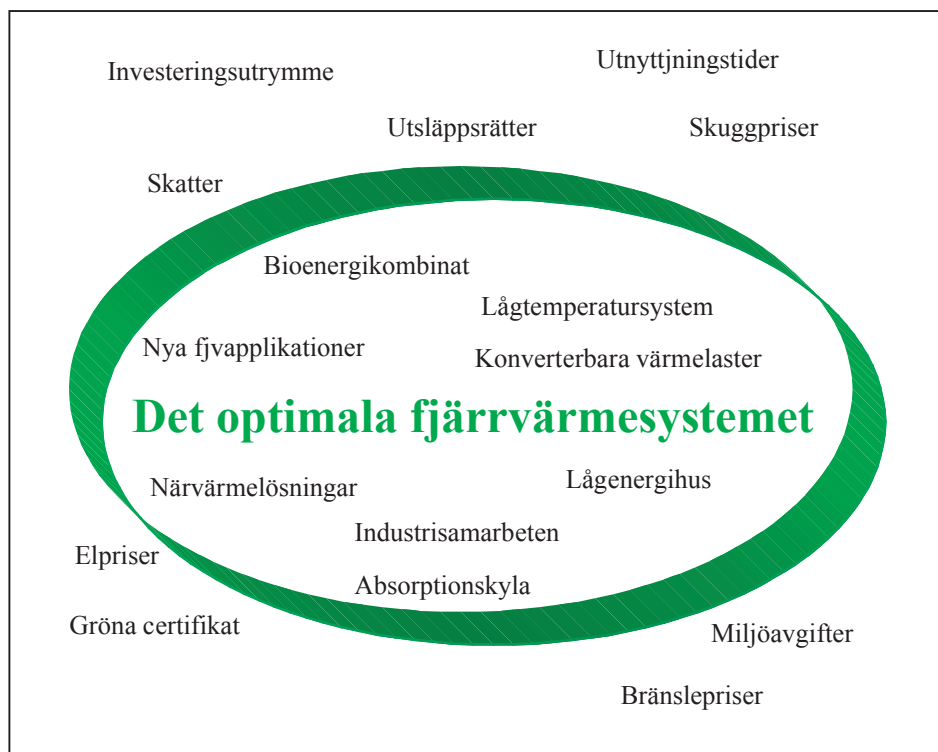
Rapportupplägg

Denna rapport är uppdelad i fyra fristående delrapporter utifrån de ingående delstudierna. Varje delrapport innehåller en ingående beskrivning av respektive delstudie, med problemformulering, delsyfte och metodbeskrivning. Delrapporterna innehåller också detaljerade resultatbeskrivningar och diskussion samt slutsatser för de olika delstudierna.

I rapportens inledande kapitel ges en övergripande beskrivning av projektets planering och utförande och korta sammanfattningar av delstudierna. Dessutom ges en syntes av resultaten från delstudierna och förslag till fortsatt forskning inom området.

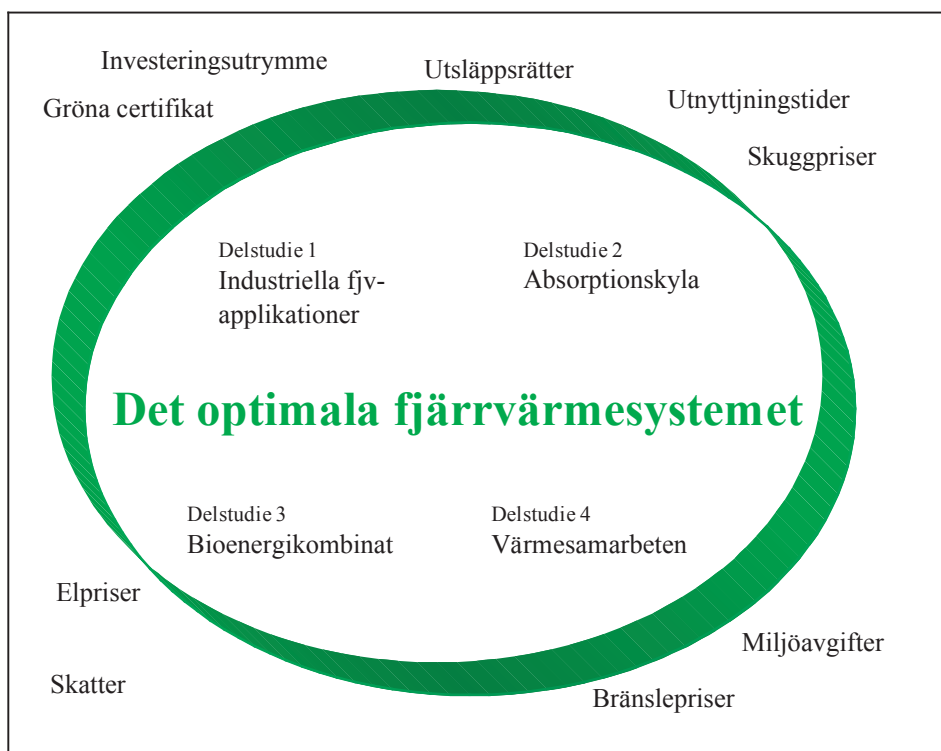
PROJEKTOMFATTNING

Kännetecknande för hela projektets genomförande är att arbetet har genomförts i nära samarbete med referensgruppen och med en kontinuerlig dialog under hela projektets gång. Vid första referensgruppsmötet hölls en diskussion om projektets innehåll, omfattning och avgränsningar, med utgångspunkt i bilden som visas i figur 1. Bilden visar innehållet i projektansökan uppdelat i åtgärder och områden som kan anses ligga innanför systemgränserna för ett fjärrvärmesystem, och vad som kan ses som randvillkor och därmed ligger utanför systemgränsen.



Figur 1 Åtgärder och områden enligt projektansökan.

I samråd med referensgruppen valdes ett antal åtgärder och områden ut som bedömdes vara mest intressanta ur medlemsföretagens synvinkel. Ur dessa områden skapades fyra delstudier kring de områden som ansågs som högst prioriterade (figur 2).



Figur 2 Utvalda områden och åtgärder indelade i fyra delstudier, efter prioritering i samråd med referensgruppen.

GENOMFÖRANDE

Projektet har genomförts i form av fallstudier inom ramen för de fyra delprojekten som visas i Figur 2. För varje delstudie har ett delsyfte formulerats med utgångspunkt i det övergripande syftet med projektet. På samma sätt har för respektive delstudie en metod för systemanalys valts utifrån den uppsatta frågeställningen. Målet har varit att genom studier med utgångspunkt i verkliga fjärrvärmenät och industrier analysera förutsättningar och utformning av de optimala fjärrvärmesystemen.

Här ges en kort översikt av frågeställningarna i och genomförandet av de respektive delstudierna. För mer ingående beskrivningar hänvisas till respektive delrapport.

Delstudie 1 – Ökad fjärrvärme i industriella processer

Syftet med delstudie 1, genomförd av Kristina Difs, är att ta fram en metod för kartläggning av möjligheterna att konvertera industriella processer, utöver lokaluppvärmning och tappvarmvatten, till fjärrvärme samt att analysera effekterna av sådan konvertering. Fokus för analysen ligger främst på effekter för fjärrvärmesystemet, till exempel för varaktighetsdiagrammet och för utnyttjningstid för kraftvärmeverk, men även möjligheten att minska såväl energianvändningen som de globala CO₂-utsläppen har analyseras.

Energianalyser genomförda på 41 industrier i Oskarshamn, Ulricehamn, Örnsköldsvik, Norrköping, Linköping, Vetlanda, Sävsjö, Nässjö, Eksjö och Aneby har studerats. Industrierna representerar små- och medelstora tillverkande industrier med en energianvändning som varierar från 100 MWh/år till 169 GWh/år. Inom projektet har en metod utvecklats, MeHLA, för att analysera hur den ökade fjärrvärmeanvändningen kan påverka ett fjärrvärmesystem med kraftvärme. I analysen visas hur fjärrvärmeanvändningen, elanvändningen, globala emissioner av CO₂ samt hur varaktigheten för fjärrvärme förändras när industriella processer konverteras till fjärrvärme.

Delstudie 2 – Fjärrvärmedriven absorptionskyla för ökat kylbehov

Delstudie 2, gjord av Louise Trygg, syftar till att studera effekterna av att introducera fjärrvärmedriven absorptionskyla i ett svenskt energisystem, både vid dagens kyllast och vid ett prognostiserat ökat framtida kylbehov. Systemanalysen behandlar såväl ekonomiska konsekvenser för energibolaget som konsekvenser för globala CO₂-utsläpp.

I Örebro finns för närvarande ett utbyggt fjärrkylennät där kylan produceras med hjälp av modifierade värmepumpar och med frikyla från Svartån. Kylan levereras till tre kunder; företaget Mondi, Universitetssjukhuset i Örebro samt till landstingskansliet. E.ON i Örebro förutspår dels att kylbehov i Örebro kommer att öka samt dessutom att elpriserna kommer att stiga. Man bedömer att dagens produktionssystem för fjärrkyla inte klarar det ökade kylbehovet och är därför intresserade av ett alternativ med fjärrvärmedriven absorptionskyla. Systemanalyser utförs med hjälp av optimeringsverktyget MODEST under olika scenarier, både med dagens kyllast och med den prognostiserade framtida högre kyllasten, och med olika nivåer på elpriser.

Delstudie 3 – Bioenergikombinat i fjärrvärmesystem

I Elisabeth Wetterlunds delstudie 3 är syftet att undersöka under vilka förutsättningar förgasningsbaserade bioenergikombinat kan utgöra framtida investeringsmöjligheter i

fjärrvärmesystem, och vilka nivåer på ekonomiska styrmedel för förnybar el respektive biodrivmedel som är nödvändiga för att göra förgasningsteknik konkurrenskraftig i fjärrvärmesystemet. Systemanalysen är främst fokuserad på ekonomiska aspekter men även effekter på globala CO₂-utsläpp av introduktion av förgasning av biomassa undersöks.

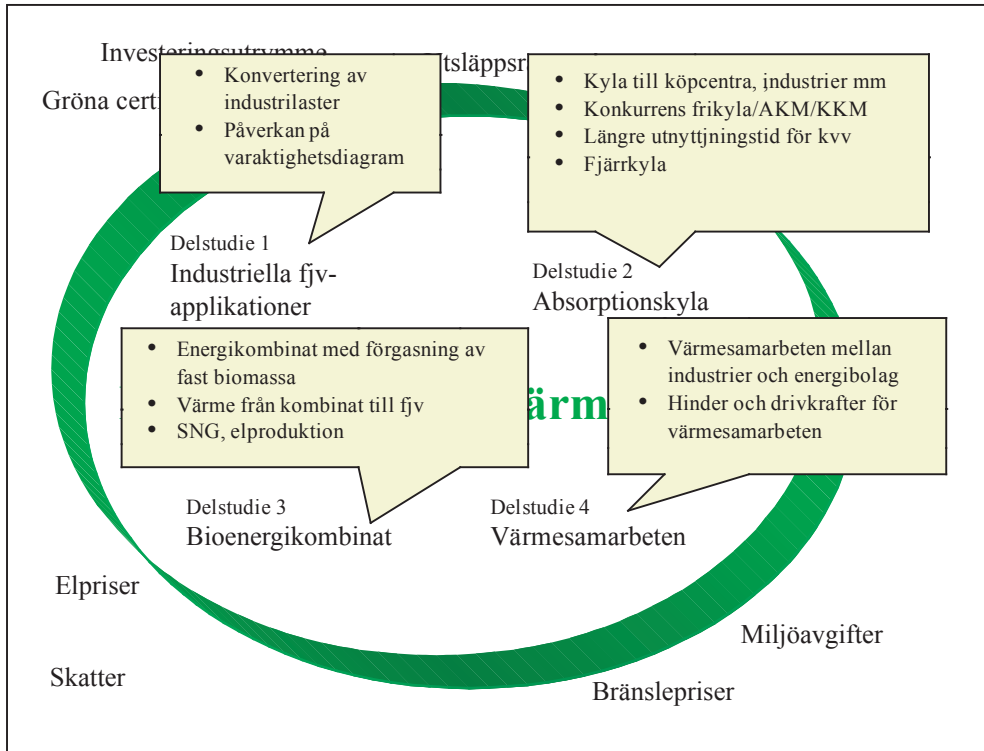
I delstudien analyseras möjligheterna för en fjärrvärmeleverantör att investera i ett förgasningsbaserat bioenergikombinat med samproduktion av biodrivmedel (syntetisk naturgas, SNG), el och fjärrvärme. Investering i bioenergikombinatet jämförs dels med investering i förgasningsapplikationer för elproduktion, dels med investering i konventionell biobränsleteknik (kraftvärme). Linköpings fjärrvärmesystem används som fallstudie och analyseras med hjälp av en optimeringsmodell konstruerad i verktyget reMIND. Systemet utvärderas under ett antal olika energimarknadsscenarioer för ett medellångt tidsperspektiv (ca 2025). För att undersöka nödvändiga nivåer på olika ekonomiska styrmedel för lönsamhet i förgasning identifieras brytpunkterna mellan olika typer av investeringar.

Delstudie 4 – Vägen till framgångsrika värmesamarbeten

Delstudie 4, genomförd av Patrik Thollander och Inger-Lise Svensson, behandlar värmesamarbeten och kan ses som en direkt fortsättning av de tre övriga delstudierna, eftersom det i detta delprojekt visas och analyseras *hur* olika värmerelaterade åtgärder kan bli verkliga. För att faktiskt öka användningen av fjärrvärme inom industriella processer, för att investera i bioenergikombinat, eller för att introducera absorptionskyla till fjärrvärmekunder, krävs kunskap om vad som driver och vad som motverkar ett samarbete kring fjärrvärmerelaterade produkter och tjänster. Genom beräkningar kan vi visa att ett samarbete är lönsamt, men trots detta blir endast vissa samarbeten av, och blir goda exempel, medan andra samarbeten inte blir verkliga, trots att det finns ekonomiska och miljömässiga vinster för alla inblandade aktörer. Medan syftet med delstudie 1, 2 och 3 har varit att analysera åtgärder som har möjlighet att leda till resurssnåla uthålliga fjärrvärmesystem, har syftet med delstudie 4 därför varit att undersöka vilka faktorer som påverkar och driver fram ett värmesamarbete mellan en industri och ett energibolag för att ge kunskap om hur dessa samarbeten kan bli verklighet.

Som fallstudie i delstudie 4 används industrier och energibolag som är eller har varit inblandade i ett värmesamarbete. För att identifiera begränsande såväl som framdrivande faktorer för värmesamarbeten genomförs dels kvalitativa, semistrukturerade djupintervjuer, dels en enkätstudie. Eftersom intervjuerna kan ge upphov till information som är känslig att delge, har samtliga fall och respondenter anonymiserats. Delprojektet fokuserar på att undersöka tre olika typer av samarbeten: en direkt fjärrvärmeanslutning där industrin tidigare haft egna pannor, ett värmepannsamarbete, och en gemensam kraftvärmeanläggning. Totalt har 12 djupintervjuer genomförts, sex stycken med energibolag och sex stycken med industrin.

I figur 3 sammanfattas innehåll och omfattning för de valda delstudierna.



Figur 3 Specificering av de fyra delstudierna.

RESULTAT

I detta kapitel ges kortfattade beskrivningar av resultaten från de fyra olika delstudierna som detta projekt omfattar. För mer ingående resultatbeskrivningar hänvisas till respektive delstudie.

Ökad fjärrvärme i industriella processer

Eftersom energianvändningen för svenska industrier till stor del är baserad på el är konverteringspotentialen, från el till fjärrvärme, för industriella processer betydande. Även i industriella processer som inte är specifika, som till exempel torkning, värmning eller kylning, används framförallt el. För att utforska vilka möjligheter det finns för industrier att, istället för att använda el eller andra bränslen, använda fjärrvärme och hur den ökade fjärrvärmeanvändningen påverkar fjärrvärmesystemet har en metod, MeHLA (Method for Heat Load Analysis), utvecklats. Tillvägagångssättet i MeHLA kan användas för att analysera industriernas fjärrvärmepotential och vilken påverkan konverteringen har på det lokala fjärrvärmesystemet. MeHLA har använts för att analysera 41 svenska industrier och resultatet från analysen visar att konverteringar av industriella processer, som ofta är oberoende av utomhustemperaturen, ger en värme-lastkurva som är mer jämnt fördelat över året vilket möjliggör för bättre utnyttjande av baslastanläggningarna.

Resultaten visar att det finns avsevärd potential att konvertera industriella processer från el eller fossila bränslen till fjärrvärme. För de industrier som användes som fallstudie finns potential att öka fjärrvärmeanvändningen från 100 GWh till 300 GWh, med en minskning på 11 % av industriernas elbehov och 40 % av deras fossilbränslebehov. Konverteringen innebär även att fördelningen av industriernas energianvändning förändras. Fjärrvärmeanvändningen går från att utgöra 15 % av industriernas energianvändning till att utgöra nästan 45 % av industrierna energianvändning. På grund av lägre köldfaktor för absorptionskyla än för kompressordriven kyla ökar det totala energibehovet vid konvertering till fjärrvärme, om hänsyn inte tas till primärenergibehovet för elproduktion. Tas hänsyn till primärenergien minskar det totala energibehovet med 6 % för de studerade industrierna genom konvertering till fjärrvärme. Om absorptionskylan exkluderas stiger siffran till knappt 10 % energibesparing. Siffrorna kan tyckas låga men eftersom det är en fråga om en ren konvertering, och inte en energibesparing, ska energibehovet egentligen inte påverkas. Dessutom är potentialen för ökad elproduktion i kraftvärmeverken på grund av ökat fjärrvärmebehov, speciellt under sommarhalvåret då absorptionskylbehovet är som störst, inte inkluderad i energibesparingen. Om hänsyn tas till att den extra elproduktionen i kraftvärmeverken ersätter el producerad på kontinenten medför det ytterligare energibesparingar för hela energisystemet.

Eftersom en väsentlig del av industriernas nya totala fjärrvärmebehov består av värme till absorptionskylmaskiner, medan större delen av det gamla värmebehovet var i form av lokalvärme, fås en relativt sett högre ökning av värmelasten på sommaren än på vintern. Detta påverkar lastkurvan så att utnyttjningstiden för fjärrvärmesystemet ökar med 13 %, från 4500 till 5100 timmar per år, vilket indikerar en bättre utnyttjningsgrad av fjärrvärmeanläggningarna i systemet.

Konverteringen från el och fossila bränslen till fjärrvärme kan också ha effekt på de globala utsläppen av CO₂, både i form av bortkonverterad el och bränslen, men också i och

med ökad elproduktion i kraftvärmeverk. Trots att bränsleanvändningen i fjärrvärmesystemet ökar med industriernas ökade värmebehov, vilket ger högre lokala CO₂-utsläpp, blir effekten i det studerade fallet att de globala utsläppen har potential att minska med upp till 110 kton CO₂/år. Förutsättningen är att den friställda elen från konverteringarna och den extra elproduktionen i kraftvärmeverken ersätter marginalproducerad el från Europa.

Fjärrvärmedriven absorptionskyla för ökat kylbehov

E.ON Örebro bedömer att dagens modifierade värmepumpar i kombination med frikyla från Svartån inte kan möta ett prognostiserat framtida högre kylbehov. I delstudie 2 har tre olika scenarier används i syfte att studera hur variationer i elpriser och kylbehov påverkar hela Örebro energisystem när man introducerar absorptionskyla. Det första scenariot (1) representerar det befintliga energisystemet i Örebro med dagens (2007) kylbehov och elpriser. I det andra scenariot (2) är elpriserna anpassade till en högre europeisk nivå där elpriser varierar över dygnet. I det tredje scenariot (3) analyseras en kombination av högre europeiskt elpris och högre kylbehov. Gemensamt för alla scenarier är att kylan kan produceras med endera frikyla, absorptionskylmaskiner eller med kompressionskylmaskiner. Det betyder att modellen själv väljer vilket produktions sätt som är det mest optimala sättet att producera kyla.

Scenarierna är valda i samråd med E.ON Örebro och är utvalda för att representera olika situationer som E.ON anser vara de mest troliga framtidsscenarierna för energisystemet i Örebro. Kylbehovet i scenario 1 och 2 är 13 GWh med en maxeffekt på 7 MW. Det högre kylbehovet i scenario 3 är av E.ON uppskattat till 34 GWh med en maxeffekt på 20 MW. Absorptionskylmaskinerna är centralt placerade för att nyttja befintligt fjärrkylnät.

Resultaten från optimeringarna av Örebro energisystem visar att det optimala sättet att tillgodose kylbehovet är en kombination av absorptionskyla, kompressionskyla och frikyla. När dagens system studeras, med dagens svenska elpriser och den nuvarande kyllasten, uppgår den optimala andelen kyla från absorptionskylmaskiner till ca 50 %. När man tar hänsyn till ett högre europeiskt elpris ersätts både kompressionskyla och frikyla med ytterligare absorptionskyla, eftersom absorptionskyla förlänger utnyttjningstiden för kraftvärmeverken i energisystemet. Ett ökat framtida kylbehov i samband med de högre elpriserna verkar ytterligare gynnande på absorptionskyla, med en optimal andel kyla från absorptionskylmaskiner på över 60 %.

I analysen jämförs systemkostnaden för Örebro energisystem med och utan absorptionskyla. Resultaten visar att absorptionskyla i samtliga studerade fall ökar lönsamheten för energibolaget med mellan 0,9 MSEK årligen för dagens kyllast med dagens elpriser, till nästan 6 MSEK per år för det framtida systemet med ökad kyllast och europeiska elpriser. I systemkostnaden ingår investering i absorptionskylmaskiner medan befintliga värmepumpar är modellerade utan investeringskostnad. Introduktion av absorptionskyla har också en positiv effekt på möjligheten att reducera de globala utsläppen av CO₂. Delvis orsakas detta av minskad elanvändning i kompressionskylmaskiner, men den främsta orsaken är den längre utnyttjningstiden för kraftvärmeverken i systemet som blir resultatet av en ökad värmelast under sommarmånaderna då annars värmebehovet är för lågt för att möjliggöra kraftvärmeproduktion.

Bioenergikombinat i fjärrvärmesystem

Resultaten från delstudie 3 visar att det är lönsamt att investera i ett bioenergikombinat i det studerade fjärrvärmesystemet i Linköping om det finns ekonomiska styrmedel för biodrivmedel i form av till exempel certifikat liknande elcertifikaten, där producenten får en extra intäkt per såld enhet. Vilken nivå på styrmedel som behövs för att kombinatet ska visa lönsamhet gentemot elproduktion varierar med antaganden om energimarknaden i övrigt, från 40 SEK/MWh (0,38 SEK/l bensinekvivalent) till 230 SEK/MWh (2,1 SEK/l bensinekvivalent). Höga oljepriser i kombination med låga biobränslepriser medför lägre nödvändig stödnivå. Detta kan jämföras med dagens skattelättnad som uppgår till 314 SEK/MWh (2,95 SEK/l) för energiskattedelen respektive 249 SEK/MWh (2,34 SEK/l) för CO₂-skattedelen. Eftersom kommersialisering av denna typ av anläggning fortfarande ligger relativt långt in i framtiden genomfördes även analys av nödvändig stödnivå vid en 50 % högre investeringskostnad, med resultatet att det nödvändiga stödbehovet ökade till 100-290 SEK/MWh (0,97-2,7 SEK/l bensinekvivalent), vilket alltså är i nivå med dagens energiskattebefrielse.

Den andra stora förgasningsanläggningen som inkluderades i studien, BIGCC (biomass integrated gasification combined cycle), visade sig mindre konkurrenskraftig gentemot konventionell biokraftvärme än bioenergikombinatet och kräver relativt höga elcertifikatnivåer (upp till 140 SEK/MWh) och låga biobränslepriser för lönsamhet gentemot konventionell biokraftvärme. BIGCC-anläggningen är väsentligt mer känslig för antaganden om investeringskostnaden än bioenergikombinatet, och en ökning av investeringskostnaden av 50 % leder till en ökning av nödvändig elcertifikatnivå till 340-410 SEK/MWh, vilket kan jämföras med snittet för 2008 som var kring 320 SEK/MWh.

I det studerade systemet har antagits att det inom den studerade tidsperioden behövs investeras i ny värmeproduktionskapacitet, på grund av föråldrade anläggningar och ökad värmelast. För att undersöka vilken inverkan dessa antaganden har på resultatet utfördes känslighetsanalys med de gamla anläggningarna kvar och med oförändrad värmelast. Känslighetsanalys genomfördes också genom att ta bort möjligheten att kyla framledningen, en möjlighet som idag finns i Linköping fjärrvärmesystem. Resultatet av analysen visar att bioenergikombinatet är lönsamt när styrmedel finns, även utan nyinvesteringsbehovet, men att den årliga utnyttjandegraden generellt kortas något. Tas möjligheten att kyla nätet bort minskar utnyttjningstiden för kombinatet markant med kraftigt försämrad lönsamhet som följd. BIGCC-anläggningen uppvisade högre känslighet än kombinatet i fråga om antaganden om fjärrvärmesystemets utformande.

Introduktionen av storskalig förgasning i det studerade fjärrvärmesystemet visade sig ha potential till en signifikant minskning av globala CO₂-utsläpp jämfört med om endast konventionell biokraftvärme tillåts, i och med ersatta fossila drivmedel och en större mängd ersatt fossilbaserad el. Reduktionspotentialen varierar beroende på vilken typ av förgasning som investeras i och med antaganden om vilken typ av fossilbaserad el som ersätts, från 350 till över 550 kton CO₂/år.

Vägen till framgångsrika värmesamarbeten

Studien undersöker tre fall: en direkt fjärrvärmeanslutning där industrin tidigare haft egna pannor, ett värmepannsamarbete, och en gemensam kraftvärmeanläggning. Intervjuerna och enkätstudien i delstudie 4 visar att även om minskade kostnader naturligtvis är en viktig drivkraft för värmesamarbeten mellan energibolag och industrier, finns ett antal högt rankade framgångsfaktorer som inte är främst ekonomiska utan snarare inomorganisatoriska eller individrelaterade till sin karaktär. Eldsjälar, långsiktig energistrategi och miljöprofilering är några exempel på högt rankade drivkrafter. Trovärdighet och förtroende beror exempelvis av tidigare erfarenheter av den som ger informationen och även vad andra källor uppger sig ha för syn på informationsgivaren. Informella personliga kontakter och rekommendationer har visat sig bättre på att överföra information än böcker och generella skriftliga rekommendationer. Att kunna både uppvisa god kompetens både affärsmässigt och tekniskt har visat sig oerhört betydelsefullt.

Vilka drivkrafter som generellt rankas högt skiljer sig åt betydligt mellan energibolagen och industrirepresentanterna, med till exempel minskade kostnader värderat högre av industrin än av energibolagen. Energebolagen värderar istället de goda affärsrelationerna och effektiv marknadsföring högre. Styrmedel visade sig också vara högt rankat, i synnerhet av industrin. Investeringsprogram som LIP och KLIMP värderas högt, liksom potentiellt framtida investeringsstöd för fjärrvärmesamarbeten.

Olika grader av riskaversion visas vara av avgörande betydelse. Bland annat påverkar det ett eventuellt samarbete om energibolagets eller industrins pannor är relativt nya eller om det krävs utbytesinvesteringar eftersom det senare fallet ökar energibolagets eller industrins vilja att ta en risk vad gäller ett potentiellt samarbete. En annan faktor som positivt påverkar villigheten att ta risken och ge sig in i ett samarbete är att ett tillverkande företag, innan samarbetet initierades, lyfte upp energifrågan på en strategisk nivå. Ytterligare en faktor kopplat till risk och knutet till energistrategi är affärsstrategier då det senare i allra högsta grad påverkar företagets riskaversion. I ett exempel på lyckat samarbete har energibolaget under många år haft en offensiv roll vad gäller att knyta större aktörer med egen värmeproduktion till sig. När pannorna varit i större behov av renoveringar etc. hos dessa aktörer har energibolaget istället gått in och tagit över pannorna. I ett annat fall, där ett samarbete inte lyckades komma till stånd, menade en industrirepresentant att bristen på strategi hos energibolaget var ett hinder vid samarbetet. Ytterligare en faktor som påverkar är eventuella ägarbyten eller nedläggning av verksamheten. En respondent har även nämnt värmesamarbete som ett sätt för kommunen att minska risken för att en industri läggs ned. Risken för att energibolaget köps upp har också nämnts som en viktig faktor att ta med. Sammanfattningsvis visar resultaten att risk är en av nyckelfaktorerna att ta i beaktande vid ett tilltänkt samarbete mellan industri och energibolag.

Även imperfekt information visas vara av avgörande betydelse, inte minst vid själva förhandlingen. Att aktörerna har korrekt information är således av stor vikt. En parameter som visat sig utgöra en katalysator i flera samarbeten har varit att ett universitet varit involverat och byggt optimeringsmodeller över energisystemet på orten. Med

detta som grund har sedan de faktiska monetära fördelarna med ett samarbete kunnat påvisas av en oberoende part. Även asymmetrisk information, det vill säga när en aktör inte vinner något på att effektivisera eftersom vinsten eller nyttan tillfaller en annan aktör eller det uppstår en risk på grund av att den ena parten inte kan observera den andra parten, visas inverka. I ett fall från studien var det till exempel inte värmesamarbetet som var det huvudsakliga, utan kommunen ville att industrin skulle etablera sig på orten. När KLIMP-bidraget, som inkluderats i kalkylen, uteblev drog sig industrin ur samarbetet. Ett annat exempel berör statens eller den offentliga sektorns styrning vad gäller energifrågan. Vad gäller exempelvis miljötillstånd har detta inte alltid varit så lätt, något som enligt respondenterna varit hämmande för ett samarbete. En faktor som visat sig minska asymmetrisk information och öppnat upp möjligheterna för ett samarbete är när energifrågan istället hamnat i en egen grupp eller i ett eget bolag där energifrågan är kärnverksamhet. Vidare har det visat sig viktigt att engagera personalen och att möjligheterna för industrin att gå in i ett samarbete underlättas om man är en stor fabrik inom sin koncern.

Tröghet bland individer och inom organisationer har också visats påverka samarbeten. Industrin har ibland upplevt att det funnits ett motstånd att leverera till en sådan här typ av industri. Vidare har intervjuerna visat att samarbeten mellan industri och energibolag i regel tar mycket lång tid att få till stånd. För att övervinna individers och organisationers tröghet har det visat sig viktigt att istället se möjligheterna med samarbetet snarare än de problem som dyker upp. En chef som utgör ett föredöme och som är drivande har visat sig oerhört betydelsefull. Vidare att det den politiskt tillsatta styrelsen för energibolaget, inkluderar representanter från industrin.

DISKUSSION OCH SLUTSATSER

Delstudie 1, 2 och 3 har alla syftat till att analysera tekniska åtgärder som har möjlighet att bidra till resurssnåla uthålliga fjärrvärmesystem. Delstudie 1 och 2 har fokuserat på åtgärder på användarsidan – absorptionskyla och konvertering av icke el- eller bränslespecifika industriella processer – och vilka konsekvenser för fjärrvärmesystemet dessa åtgärder har vad gäller främst lastprofil, utnyttjningstid för kraftvärmeverk, ekonomi för fjärrvärmeleverantören och potential att minska de globala CO₂-utsläppen. I delstudie 3 förutsätts att dessa eller andra användarrelaterade åtgärder redan är utförda, vilket visar sig i form av en ökad värmelast, i synnerhet värmelasten för absorptionskylaproduktion. I denna delstudie ligger fokus istället på tillförselsidan med jämförelse av bioenergikombinat som värmeproduktionsanläggning, kontra förgasningsbaserad eller konventionell biokraftvärme. Delstudie 4 knyter ihop de tre första delstudierna genom att analysera och visa *hur* olika fjärrvärmerelaterade samarbetsåtgärder kan bli verkliga.

I alla de tre första delstudierna är utnyttjningstiden för produktionsanläggningarna i fjärrvärmesystemen en nyckelparameter vid systemanalysen. För anläggningar med samtidig produktion av värme och el eller drivmedel är jämn drift av högsta betydelse och är dessa anläggningar integrerade med ett fjärrvärmenät blir värmelasten direkt avgörande för utnyttjandet. I ett idealt fjärrvärmesystem är lasten jämnt fördelad över året, vilket ger optimal utnyttjning av produktionsanläggningarna. Verkliga fjärrvärmelaster är dock generellt starkt klimatberoende, med en vinterlast flera gånger högre än sommarlasten. Kraftvärmeverk kan därför ofta inte köras mer än runt 4500-5000 timmar per år, medan värmebehovet på sommaren (främst tappvarmvatten) måste mötas med annan värmeproduktion. Ett annat sätt att öka utnyttjningstiden för kraftvärmeverk beskrivs i delstudie 3 (Bioenergikombinat) där Linköpings fjärrvärmesystem studerats. I Linköping finns möjligheten att kyla bort värme för att kunna öka elproduktionen under sommaren.

Genom att förändra den klimatberoende värmelasten finns potential att öka utnyttjningstiden för kraftvärmeverken. Delstudie 1 och 2 visar båda på att det med tekniska konverteringsåtgärder är fullt möjligt att förändra värmelastprofilen och öka kraftvärmeverkens årliga drifttid, med positiva effekter både för fjärrvärmeleverantörens ekonomi och för möjligheten att minska globala CO₂-utsläpp. Delstudie 3 visar istället att ett bioenergikombinat i ett fjärrvärmesystem minskar utnyttjningstiden för befintliga och eventuellt nya kraftvärmeverk, då värmen från kombinatet är att likställa med industriell spillvärme. För att det inte ska uppstå en konflikt mellan kraftvärme och kombinatvärme är det därför lämpligt att fjärrvärmebolaget, om de inte själva investerar i kombinatet, är delaktiga redan tidigt i planeringsprocessen om bioenergikombinat ska integreras med fjärrvärmenät. Vikten av långsiktighet i samarbeten mellan industri och energibolag är också något som framkommit i delstudie 4 – denna typ av samarbete tar i regel lång tid att etablera varför det är viktigt att grunda dem tidigt.

I delstudie 1, 2 och 3 tillämpas ett teknoekonomiskt perspektiv där de ekonomiskt mest fördelaktiga åtgärderna under olika förutsättningar framhålls som lämpliga lösningar. Genomförbarheten i ett verkligt system analyseras däremot inte. Som visas i delstudie 4 är möjligheten till minskade kostnader genom ett värmesamarbete visserligen av stor vikt, men den är på inget sätt det enda som avgör om ett värmesamarbete kommer till stånd eller inte. Istället framhålls gång på gång i studien att det ofta är mänskliga faktorer som spelar en avgörande roll – att se möjligheterna istället för problemen, enskilda eldsjälar, en

drivande VD och företagets miljövärderingar, är några av de exempel som lyfts fram. Vidare framhålls timingen som viktig. Om till exempel nyinvesteringar ändå är planerade inom en nära tid ökar möjligheterna till ett lyckat samarbete. För kombinatfallet som studeras i delstudie 3 finns just ett sådant investeringsbehov inom den studerade tidsrymden, vilket skulle kunna utgöra en drivkraft för att få till stånd ett samarbete i det fall att en industriell aktör skulle vilja etablera sig eller vara delaktig i etablerandet av ett bioenergikombinat.

Delstudie 4 visar vidare att en av nyckelfaktorerna att ta i beaktande vid värmesamarbeten är risk, både i form av förändrade omvärldsvillkor som konjunktursvängningar och stigande energipriser, men även i form av affärsmässiga risker och tekniska risker som tillförlitlighet och prestanda. Vid ny och obeprövad teknik, som exempelvis storskalig förgasning som ännu inte finns kommersiellt demonstrerad, är den tekniska risken ofta hög samtidigt som kravet på tillförlitlighet är stort. Kravet på tillförlitlighet gäller förstås också vid ökad värmeleverans till industrier om dessa skulle konvertera från bränslen eller el till fjärrvärme, vilket i delstudie 1 visades önskvärt ur framför allt fjärrvärmeleverantörens synpunkt. I delstudie 2 och 3 tillämpas olika typer av scenarier relaterade till energipriser. Resultaten visar sig, inte oväntat, vara starkt beroende av antaganden om den framtida energimarknaden vilket utgör ytterligare en risk att ta hänsyn till vid implementering av denna typ av åtgärder eller samarbeten.

Olika former av styrmedel och deras inverkan diskuteras i både delstudie 3 och 4. I delstudie 3 ligger fokus på stöd för produktion av förnybara energibärare i form av till exempel certifikat eller skattelättnader, med analys av vilken nivå på stöd som är nödvändigt för att det ska gå att få lönsamhet i storskalig förgasning av biomassa i ett fjärrvärmesystem. Resultaten visar att styrmedelsstöd är absolut nödvändigt för lönsamhet i förgasning. Eftersom kapitalkostnaden för denna typ av investering är mycket hög vilket medför en stor finansiell risk för fjärrvärmebolaget eller industrin som investerar i exempelvis ett bioenergikombinat, krävs långsiktiga styrmedel för att skapa stabilitet och förutsägbarhet för att på så sätt minska risken. Även i delstudie 4 konstateras att ekonomiska styrmedel och stöd är viktigt för att värmesamarbeten ska komma till stånd. I denna studie lyfts i synnerhet investeringsprogram i olika former – LIP, KLIMP samt eventuella framtida investeringsstöd för fjärrvärmesamarbeten – fram. Denna typ av stöd skulle kunna gynna implementeringen av såväl industriell konvertering till fjärrvärme, utökning av absorptionskyla, som investering i biodrivmedelsproduktion integrerat med fjärrvärmesystem.

Fjärrvärmesystemen har en viktig roll i den övergripande omställningen av våra energisystem mot mer uthållighet. Med ökad medvetenhet om den pågående klimatförändringar som sker är det av central betydelse att hitta åtgärder som främjar och påskyndar en sådan omställning. I detta arbete lyfts flera åtgärder fram som visar hur fjärrvärmesystem på ett tydligt sätt kan bidra till både minskad klimatpåverkan och ekonomiska vinster. Ökad fjärrvärme i industriella processer, absorptionskyla för att möta ökat kylbehov och bioenergikombinat är exempel på åtgärder som leder till utformning av optimala fjärrvärmesystem för ett hållbart samhälle. Detta arbete har också visat vad som krävs för att dessa värmelaterade åtgärder mellan industrier och energileverantörer ska bli verkliga lönsamma samarbeten. Genom att identifiera dessa åtgärder kan vi på ett tydligt sätt visa fjärrvärmens unika möjligheter att bli en ännu mer central aktör i den nödvändiga omställning mot uthållighet.

VETENSKAPLIGA PUBLIKATIONER

Inom ramen för projektet har ett antal vetenskapliga publikationer gjorts, både i form av journalartiklar och i form av konferensbidrag som presenterats på internationella konferenser.

Difs K, Danestig M, Trygg L. Increased use of district heating in industrial processes – impacts on heat load duration. *Applied Energy*, 86 (2009) 2327-2334.

Difs K, Trygg L. Increased industrial district heating use in a CHP system – economic consequences and impact on global CO₂ emissions. Presenterad på the 5th European Conference Economics and Management of Energy in Industry, 14–17 april 2009, Portugal.

Difs K, Wetterlund E, Trygg L, Söderström, M. Biomass gasification opportunities in a district heating system. Inskickad för publicering i *Biomass & Bioenergy*, 2008.

Jönsson Y, Magnusson, E. 2008. New possibilities with old technique – Feasibility study of absorption cooling in Örebro district cooling network. LiU-IEI-TEK-A--08/29--SE. Examensarbete utfört vid Institutionen för ekonomisk och industriell utveckling, Avdelningen för energisystem, Linköpings universitet.

Larsson S, Nilsson M, 2009. Alternativa kylmetoder i kontorslokaler ur ett systemperspektiv – en studie av Stockholms energisystem. LiU-IEI-TEK-A-09/00532-SE. Examensarbete utfört vid Institutionen för ekonomisk och industriell utveckling, Avdelningen för energisystem, Linköpings universitet.

Thollander P, Trygg L, Svensson I-L. Successful district heat collaboration between utilities and industry – a case study related to Sweden. Manuskript under arbete.

Trygg L, Difs K, Moshfegh B, Absorption Cooling in CHP systems – old technique with new opportunities, Proceedings of the 10th World Renewable Energy Congress, 21–24 juli 2008, Glasgow.

Trygg L, Difs K, Wetterlund E, Thollander P. District heating for a sustainable energy system. Manuskript under arbete.

Wetterlund E, Difs K, Söderström M. Energy policies affecting biomass gasification applications in district heating systems. Presenterad på the First International Conference on Applied Energy (ICAE09), 5–7 januari 2009, Hong Kong.

Wetterlund E, Söderström M. Biomass gasification in district heating systems – the effect of economic energy policies. Inbjuden för publicering i *Applied Energy*, 2009.

FORTSATT ARBETE

Med utgångspunkt i resultaten från detta projekt har flera förslag på fortsatt arbete framkommit.

- Framtagning av en detaljerad modell för att studera hur fjärrvärmesystem i en större svensk stad/region kan bidra till omställning mot hållbarhet. Resultat från projekt "Optimala fjärrvärmesystem" baserar sig på systemstudier applicerades på verkliga fjärrvärmesystem belägna i olika kommuner. Genom att ta tillvara på dessa kunskaper och erfarenheter och applicera dem på *en* utvald stad/region analyseras hur fjärrvärmerna kan bidra till utformning av en hållbar stad/region. Utifrån regionala och lokala förutsättningar analyseras åtgärder för hela energisystemet utifrån olika klimatscenarier. Både åtgärder på både tillförsel- och användarsidan analyseras. Ökad användning av fjärrvärme inom industrin, utbyggnad av fjärrvärme, samarbete mellan industrier och energileverantörer, tredjepartstillträde, effektiviseringsmöjligheter, framställning av biodrivmedel är exempel på områden inom staden/regionen som studeras. Även hopkoppling av fjärrvärmenät liksom prissättning för en fungerade marknad studeras. Modellen tillämpas på en utvald region för studier av ett verkligt fjärrvärmesystem.
- Fortsatta studier kring värmesamarbeten, dels genom utökade studier kring de fall som studerats i detta projekt, dels samarbeten mellan energibolag, energitjänster mot industrin, och spillvärmesamarbete mellan energibolag och industri föreslås, där fortsatta fallstudier med enkät- och djupintervjumetodik tillämpas.
- Fortsatta analyser av möjligheter till och konsekvenser av att introducera bioenergi-kombinat i ett svenskt fjärrvärmesystem. Möjligheter till laststyrning och värmelagring för att bättre möta fjärrvärmenätets säsongsb beroende last utvärderas. Resultaten från detta projekt, där fokus varit på kombinat med värmeöverskott, kompletteras med studier av kombinat av den typ som använder värme, med processer som jäsnning till etanol, rötning till biogas eller torkning för pelletstillverkning.
- Analyser av uthålliga städer i ett backcasting-perspektiv. Med utgångspunkt från ett redan hållbart samhälle analyseras strategiska åtgärder för tillförsel och användning av fjärrvärme av dagens system. Utformning av fjärrvärmesystem, med åtgärder för producent och användare, analyseras i kombination med analyser om marknadsintroduktion av nya fjärrvärmerelaterade affärer. Systemanalyser utförs av städer från både tätortsregioner och glesbygdsregioner med jämförande analyser av regioner med olika förutsättningar. Tvärvetenskapliga studier utförs där workshops och seminarier anordnas i samarbete med forskare från beteendevetenskapliga discipliner.
- Systemstudier av implementering av den svenska handlingsplanen. EUs arbete med att klimatanpassa medlemsländernas energisystem intensifieras alltmer. Tidigare forskning har visat att fjärrvärme har en potential att inneha en central roll i denna omställning. I ljuset av detta föreslås en studie som visar på vinsterna med

att anta ett "systemtänk" vid implementeringen av den svenska handlingsplanen till 2016. Ett sådant "systemtänk" innebär bland annat att de insatser som görs mot en mer effektiv slutanvändning av energi, exempelvis mot industrin, inbegriper förslag mot konvertering från el och olja till fjärrvärme och från kompressionskyla till absorptionskyla. Dagens svenska styrmedelsförslag saknar idag, tyvärr ett sådant "systemtänk". En sådan studie skulle kunna ge stort genomslag för svensk styrmedelsforskning mot framtida mål som exempelvis de som gäller 2020 och på samma gång visa övriga europeiska länder vilken viktig roll fjärrvärmen kan ha om styrmedlen designas på ett effektivt sätt. Resultaten från en sådan studie skulle även ge Svensk Fjärrvärme och dess medlemsföretag en betydligt starkare position i dess arbete med att marknadsföra fjärrvärme nationellt såväl som internationellt.

INLEDNING

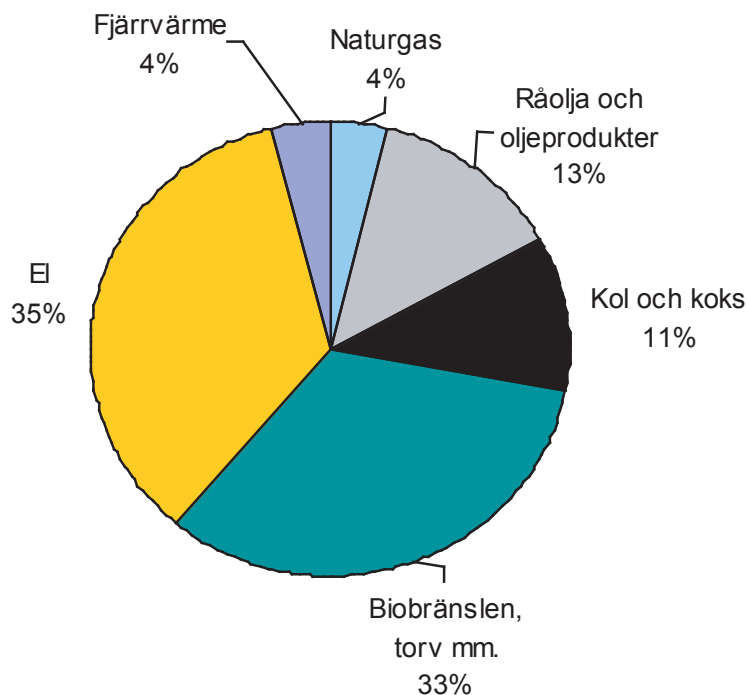
Fjärrvärme- och fjärrkylasystem är ofta energieffektiva system med mindre miljöpåverkan än konventionella värme- och kylsystem. I till exempel Gustavsson och Karlsson (2003) har olika uppvärmningsalternativ för friliggande villor studerat och deras analys visar att fjärrvärme producerat i kraftvärmesystem är bland de energieffektivaste uppvärmningssystemen, räknat på primärenergibehovet. För att uppfylla EU:s mål om att reducera energianvändningen kan därför ett steg i rätt riktning vara att ersätta el- och fossilbränsleanvändningen i konventionella värme- och kylsystem med fjärrvärme respektive fjärrkyla framställd med fjärrvärmedriven absorptionskyla. Speciellt intressant med ökad fjärrvärmeanvändningen är det i system som innehåller kraftvärme eftersom den ökade värmeefterfrågan då kan bidra till extra elproduktion och därmed ersätta europeisk elproduktion som har högre externa kostnader än de svenska kraftvärmeanläggningarna. Genom att konvertera processer som idag drivs med el eller fossila bränslen till att drivas av fjärrvärme blir den miljömässiga effekten tvåfaldig eftersom mindre el och fossila bränslen behövs för att driva processerna samtidigt som extra el kan produceras i kraftvärmeverk pga. den ökade värmeefterfrågan.

Ökad användning av fjärrvärme inom industrin, speciellt i processer som är klimatoberoende, kan även medföra att värmelastkurvan påverkas. Fjärrvärme som bara används till lokaluppvärmning och tappvarmvatten ger en lastkurva som är starkt säsongsbetonad. Om processer som har ett jämnt värmebehov över året, eller till och med ett ökat värmebehov under sommarhalvåret som olika kylprocesser, konverteras till fjärrvärme bidrar det till att jämna ut effektuttaget över året. Ett jämnare effektuttag över året kan leda till bättre utnyttjningstid och driftförhållande för baslastanläggningarna (Danestig och Henning, 2004). Baslastanläggningarnas utnyttjningstid är avgörande för fjärrvärmesystemets lönsamhet. Som visats i Chinese och Meneghetti (2005) är konvertering från andra bränslen till fjärrvärme inte alltid lönsam. Den studerade regionen i Chinese och Meneghetti (2005) är lokaliserad i Italien och har endast ett uppvärmningsbehov under 4000 timmar/år. Dessutom är maxlasten hög i förhållande till minlasten vilket gör att utnyttjningstiden för anläggningarna är låg. Vid en sådan värmelast är konvertering till fjärrvärme olönsam. Produktionskostnaderna för fjärrvärme överstiger de priser fjärrvärmebolaget kan ta ut om fjärrvärmekostnaden för konsumenterna inte ska överstiga deras nuvarande värmekostnad. Marbe et al. (2004) konkluderar också att det är utnyttjningstid och värmelasten som är de faktorer som påverkar lönsamheten mest för ett biobränsleldat kraftvärmeverk.

I många tidigare studier av fjärrvärmesystem har fokus ofta varit på kostnadsminimering av ett givet värmebehov med hjälp av olika optimeringsprogram (Wu och Rosen, 1999; Henning et al., 2006), att analysera värmelasten grundat på prognostiserade klimatdata (Dotzauer, 2002; Schellong och Hentges, 2007) och analyser av större byggnaders värmebehov (Pedersen, 2007; Yao och Steemers, 2005; Heller, 2002). Eftersom fjärrvärmeanvändningen inom industrin är marginell finns det få forskningsstudier om fjärrvärmeanvändning inom industrin. Även studier om effekterna för fjärrvärmesystemet när klimatberoende laster inom industrierna konverteras till fjärrvärme är begränsade. I den här studien ligger därför fokus på industriella processer som är konverterbara till fjärrvärme och vilken effekt en sådan konvertering har på fjärrvärmesystemet. Genom att analysera industrier med hjälp av tillvägagångssättet i MeHLA (Method for Heat Load Analysis) har potentialen för fjärrvärmekonverteringen i olika industriella processer kartlaggs och effekt på fjärrvärmesystemet analyserats.

BAKGRUND OCH TEORI

I Sverige är fjärrvärme väl etablerat och svarar för ungefär 50 % av den totala värme-marknaden för uppvärmning och tappvarmvatten som är på ca 100 TWh per år (Energimyndigheten, 2005). När det gäller fjärrvärmeanvändningen inom industrisektorn är det emellertid sämre, bara ca 4 % av industriernas energianvändning kommer från fjärrvärme, se figur 1. Istället används mycket el inom industrin och svenska industrier använder ofta två till tre gånger så mycket el som deras europeiska motsvarigheter (Nord-Ågren, 2002). Ökande elpriser i Sverige, i kombination med hög elförbrukning, medför att det blir ytterst viktigt för svensk industri att fokusera på åtgärder som kan minska elanvändningen. För flera industriella processer finns det möjlighet att konvertera från el eller fossila bränslen till fjärrvärme. Exempel på sådana processer är processvärme, värmedriven absorptionskyla och torkning.



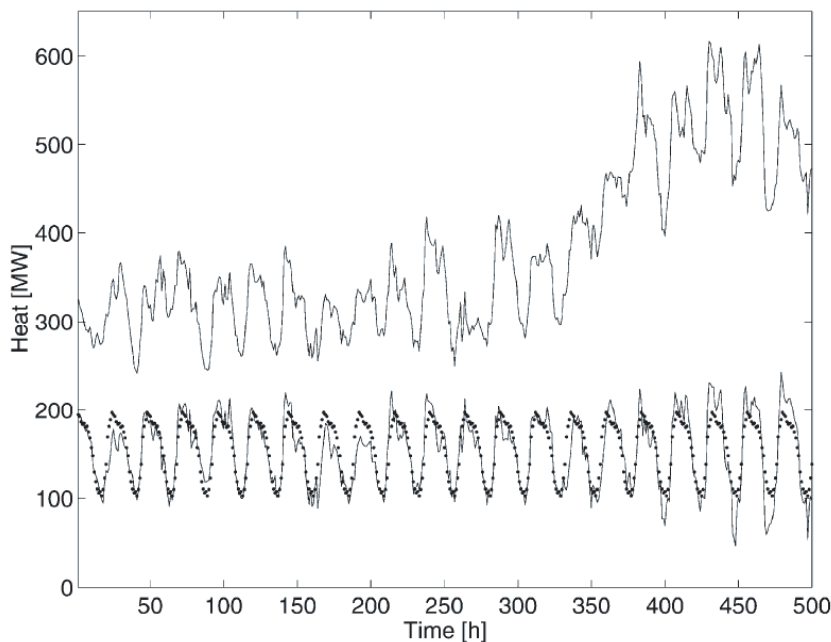
Figur 1 Energianvändningen inom svensk industrin under 2006. Siffror från Energiläget 2007 (Energimyndigheten, 2007).

Värmelasten

För att veta hur fjärrvärmeproduktionsanläggningarna ska köras finns det ett behov att försöka få fram en fjärrvärmelast som är specifik för regionen. Därför har det funnits studier som syftat till att försöka bestämma värmelaster grundat på prognostiserad klimatdata, se t.ex. Dotzauer (2002) samt Schellong och Hentges (2007). I sådana studier har ofta viktiga faktorer tagits fram som påverkar värmelasten. Från Dotzauers (2002) studie har det framkommit att de faktorer som påverkar värmelasten mest är utomhus-temperaturen och det sociala beteendet hos fjärrvärmekunder (refererad till som den sociala komponenten). En enkel modell har visat att värmelasten i ett fjärrvärmesystem kan beskrivas som en funktion av utomhustemperaturen och den sociala komponenten

(se figur 2). Värmebehovet för industriella processer som t.ex. processvärme och torkning påverkas framförallt av industrins produktion och produktionstid och influerar därmed den sociala komponenten.

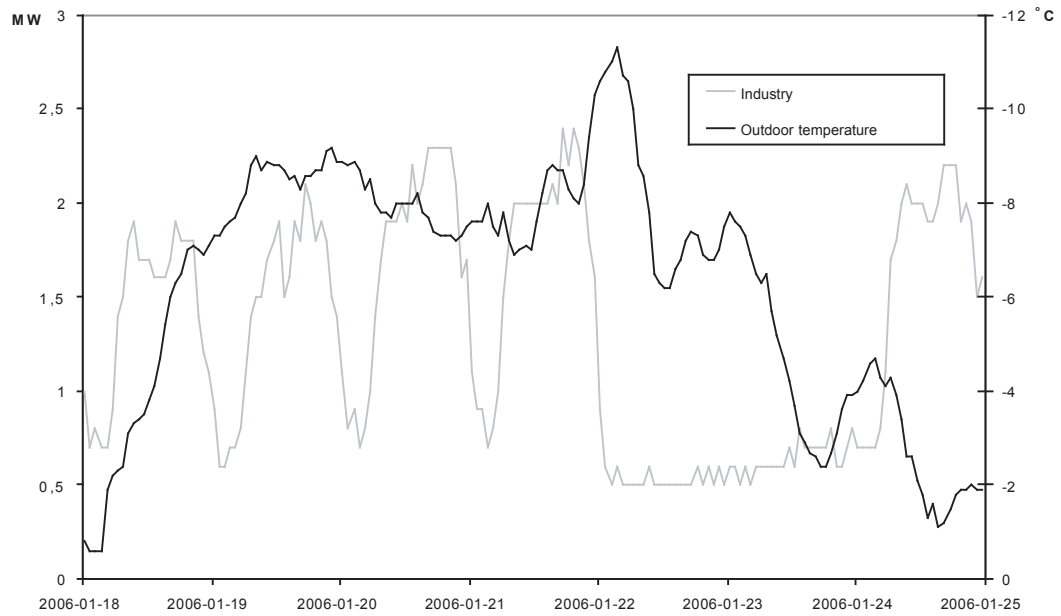
Värmelaster som ökar när utomhustemperaturen ökar är ofta önskvärda i fjärrvärmesystem som har kraftvärmeproduktion. När en ökad sommarlast erhålls kan kraftvärmeanläggningarna köras mer optimalt. Exempel på processer som kan öka sommarvärmelasten är kylprocesser som drivs av fjärrvärmedriven absorptionskyla. På sommaren när mycket kyla är önskvärd kan absorptionskyla användas vilket ökar värmebehovet och medför ökad drift i kraftvärmeverken med möjlighet till extra elproduktion.



Figur 2 Uppmätt värmelast (övre kurvan) och den sociala komponenten av värmelasten (undre kurvan). Teckenförklaring: övre heldragna linje: uppmätt total värmelast, nedre heldragna linje: återstående värmelast när den temperaturberoende lasten är tagits bort, prickar: dagprofil. Figur tagen från Dotzauer (2002).

Industriellt fjärrvärmebehov kan mer eller mindre påverkas av utomhustemperaturen, beroende på vilka processer som fjärrvärme används till. I figur 3 är ett slakteris fjärrvärmebehov illustrerat tillsammans med utomhustemperaturen. Den vecka som åskådliggörs i figuren ska bara ses som ett exempel och veckan är slumpmässigt utvald. I figuren kan man se att den dag då det är kallast ute (22 januari) är fjärrvärmebehovet mindre än för den dag då det är varmest ute (25 januari). Det syns även en tydlig skillnad i fjärrvärmebehov mellan dag och natt för industrin. Utomhustemperaturen varierar inte alls i samma utsträckning mellan dag och natt som fjärrvärmebehovet gör vilket tyder på att fjärrvärmebehovet påverkas av andra faktorer än utomhustemperaturen. Användningen av fjärrvärme kan i det här fallet hänvisas till den sociala komponenten

snarare än utomhustemperaturen. I den här industrin kan den sociala komponenten relateras till användningen av mycket tappvarmvatten för rengöring och sköljning.



Figur 3 Uppmätt fjärrvärmebehov för en livsmedelsindustri i relation till utomhustemperaturen.

STUDERADE INDUSTRIER

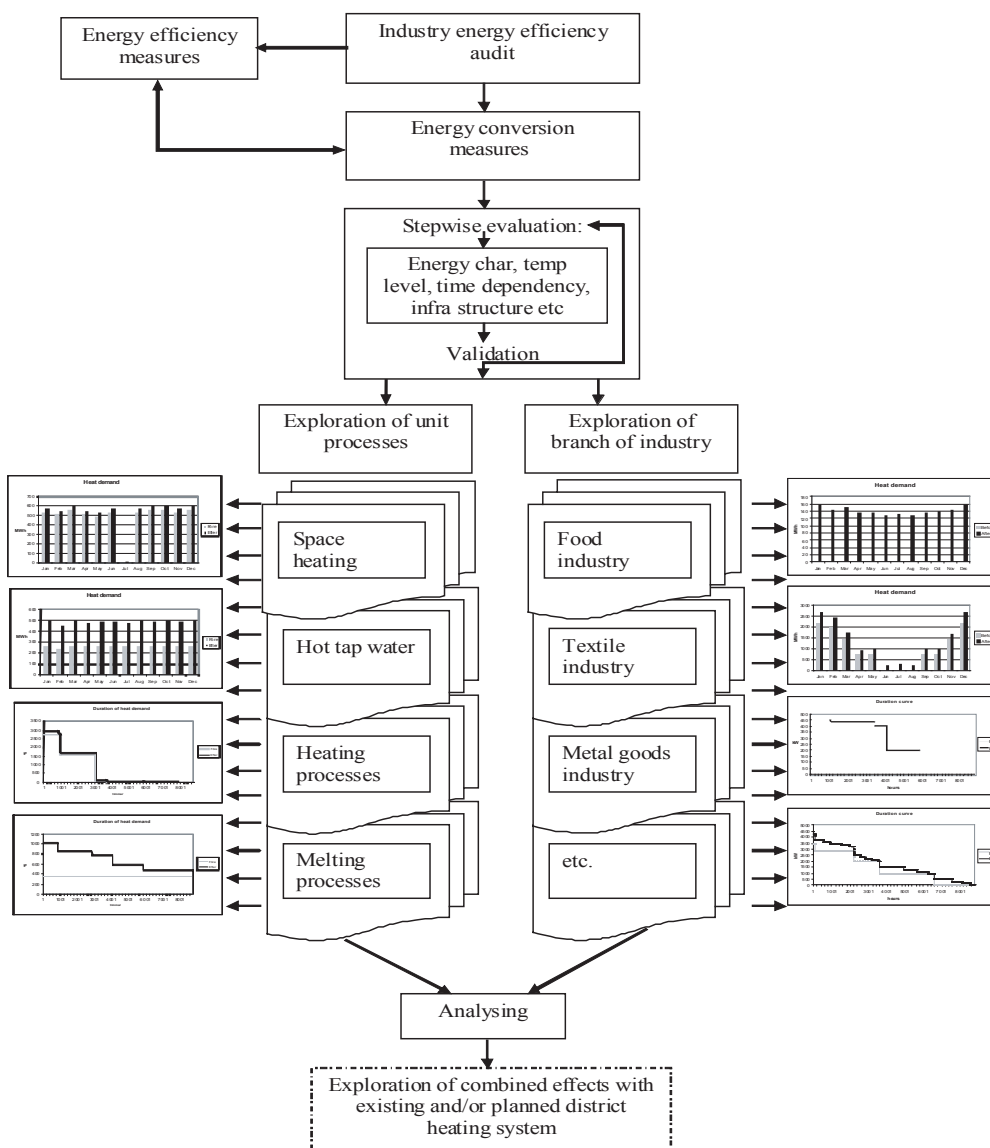
Energianvändningen för 41 industrier, som är lokaliserade i flera olika svenska regioner, har analyserats i den här studien med hjälp av energianalyser. Industrierna kommer från olika branscher och de branscher som finns representerade i den här studien täcker in en tredjedel av den svenska elanvändningen för industrin (Henning och Trygg, 2008). Industrierna som är analyserade finns förtecknade i Bilaga 1, tabell I och II.

I 34 av industrierna har en fullständig energianalys genomförts (Tabell I, Bilaga 1). Den totala energianvändningen för dessa industrier är ungefär 682 GWh, där behovet varierar från 0,1 GWh för industrin med minst energibehov till 169 GWh för industrin med störst energibehov. Ungefär 30 % av industrierna är anslutna till fjärrvärmenätet och de resterande industrierna ligger relativt nära ett fjärrvärmenät och kan bli anslutna. Fjärrvärmebehovet för industrierna är 102 GWh varav ungefär 90 % är för lokaluppvärmning. Industriernas energibehov tillgodoses idag av en energimix av el, fjärrvärme, olja och gasol.

För de resterande sju industrierna har en kartläggning av kylbehovet genomförts (Tabell II, Bilaga 1). Det totala kylbehovet för de sju industrierna är 29 GWh. Kylbehovet antas kunna tillgodoses av fjärrvärmedriven absorptionskyla där absorptionskylmaskinerna har en köldfaktor på 0,7 (Trygg och Amiri, 2007).

METOD

Genom tillvägagångssättet i metoden MeHLA har industrier från olika branscher analyserats. Syftet med den här metoden är att kartlägga energikonverteringsåtgärder där industriella processer kan använda fjärrvärme istället för el eller fossila bränslen. Den här metoden använder energianalyser som ett första steg för att kartlägga konverteringspotentialen. I figur 4 visas de olika stegen i MeHLA. Data som samlats in från energianalyserna används för att analysera processernas konverteringspotential med utgångspunkt från värmelast, temperaturkrav, tidsberoende och infrastruktur. Resultatet från den här metoden och tillvägagångssättet är tabeller och diagram för de olika branscherna och för respektive process. En sammanställning av den totala konverteringspotentialen och dess påverkan på värmelastprofilen kan också erhållas.



Figur 4 En schematisk bild över de olika stegen i metoden MeHLA, där uppdelningen på dels processnivå och dels branschnivå åskådliggörs.

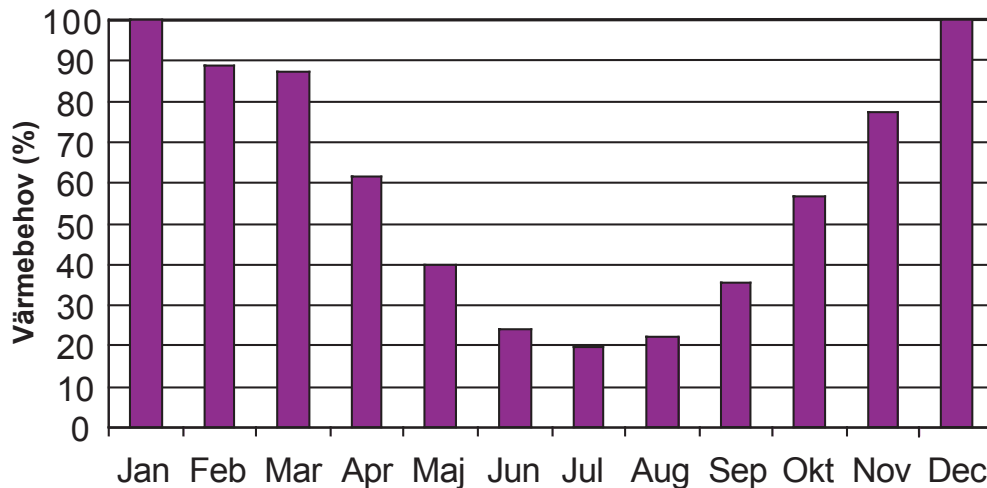
Energianalyser

Första steget i MeHLA är en grundlig analys av industrierna för att kunna kartlägga konverteringspotentialen. Detta har gjorts genom att energianalyser har genomförts på de studerade industrierna. Genom energianalyserna har industriernas energieffektiviserings- och konverteringspotential utforskats. Energianalyserna i den här studien är baserade på ett analysverktyg för strategisk systemförändring av industriell energianvändning (Karlsson, 2001). Analysverktygets tillvägagångssätt är ett ”top down” perspektiv där avsikten är att hitta systemfel som t.ex. samtidig värmning och kylning av en lokal eller el som används för icke-elspecifika processer. Genom att ha den här helhetssynen av energisystemet kan resursanvändningen förbättras. Energianalyserna har utförts genom att industrierna har besökts två gånger, dels när produktionen är igång och dessutom på en helg eller kväll. Vid båda tillfällena har omfattande mätningar genomförts och energianvändningen för de olika processerna samt tomgångsförlusterna kartlagts. I flera fall har det visat sig att el används i processer, som t.ex. värmning och torkning, där kravet på temperaturnivåerna ligger inom temperaturområdet för fjärrvärme. De processer som är lämpliga för konvertering till fjärrvärme är produktionsprocesser som processvärmning, processkyla, torkning och koncentreringsprocesser samt stödprocesser som lokaluppvärmning, tappvarmvatten och komfortkyla.

När det gäller konverteringar till fjärrvärme är det för många processer möjligt att med relativt enkla åtgärder anpassa processerna till fjärrvärme. För processvärme är det ofta elslingor i olika kar eller bad som varit aktuella att konvertera till fjärrvärme. Liknande förfarande gäller torkning där elslingor eller elvärme kan konverteras till fjärrvärme.

Analys av värmelaster

Efter energianalysen av industrierna har de processer som är lämpliga att konverteras till fjärrvärme fastställts. För varje industriell process har värmelasten modellerats i enlighet med industrins produktionstid. Produktionsprocessernas fjärrvärmebehov har antagits vara oberoende av utomhustemperaturen. Värmebehovet för produktionsprocesserna och för tappvarmvattnet har modellerats konstant under produktionstid medan värmebehovet för lokaluppvärmning har fördelats enligt värmebehovet i figur 5.



Figur 5 Månadsfördelningen av lokaluppvärmningsbehovet för en mellansvensk region (Difs och Trygg, 2009).

MeHLA applicerat på de studerade industrierna

Det första steget i MeHLA är att genomföra energianalyserna på industrierna. Energianalyserna har dokumenterats i interna rapporter och andra studier (Trygg, 2004; Franzén, 2005; Karlsson et al., 2005; Trygg och Karlsson, 2005; Carlsson et al., 2006a; Carlsson och Ek, 2006b; Karlsson et al., 2006a; Karlsson et al., 2006b; Karlsson et al., 2006c; Karlsson et al., 2006d; Johansson, 2006; Thollander et al., 2007). Från energianalyserna har industrierna nuvarande fjärrvärmeanvändning och processernas konverteringspotential till fjärrvärme kartlagts. Eftersom fjärrvärme kan användas i olika processer har värmebehovet delats upp i de produktions- och stödprocesser som nämnts i avsnittet energianalys. För de processer som har blivit identifierade som möjliga att konvertera till fjärrvärme har värmebehovet delats upp beroende på processernas olika karaktäristik som deras tidsberoende och temperaturkrav.

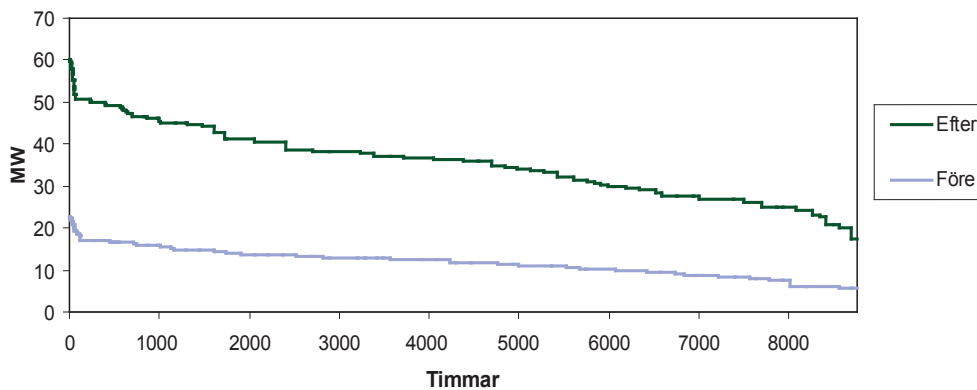
Industriernas värmebehov har delats upp i ett antal tidsperioder för att spegla lokaluppvärmningsbehovet under året. Under vintermånaderna november till mars är tidsuppdelningen som finast, ibland modellerad timme för timme. Under varje vintermånad har ett toppdygn modellerats för att spegla det maximala effektbehovet. I den här studien är uppdelningen i tidsperioden anpassat till ett optimeringsprogram (MODEST) för att resultaten lätt ska kunna anpassas och köra i programmet. För mer information om MODEST, se Henning (1998), Henning (1999) och Gebremedhin (2003).

Eftersom fjärrvärmeanvändningen är modellerad i de fördefinierade tidsperioderna där värmelasten kan ändras i varje period blir resultatet från MeHLA en specifik värmelastprofil för respektive industri. En aggregerad värmelastprofil för alla studerade industrier är möjlig att få likväl som värmelasten uppdelat i respektive bransch och process.

RESULTAT

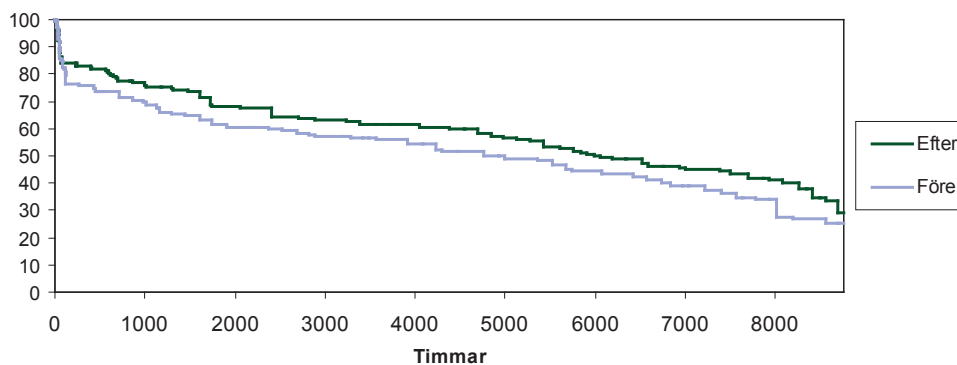
Värmelastkurvor och fjärrvärmebehov

Analysen av industriernas energianvändning och deras potential att konvertera processernas el- och fossilbränsleanvändning till fjärrvärmeanvändning visar att det finns möjlighet att förändra värmelastkurvan. Efter konvertering till fjärrvärme kan maximala värmelasten öka från 23 MW till 60 MW medan den lägsta värmelasten kan öka från 6 MW till 17 MW, se figur 6. Förutom ökningen i totalt värmebehov har lastprofilen förändrat. Utnyttningstiden för fjärrvärmesystemet har ökat med 13 % från 4530 till 5140 timmar per år, vilket indikerar att fjärrvärmeanläggningarna utnyttjas bättre.



Figur 6 Lastkurva för fjärrvärmebehovet före och efter konvertering av processer till fjärrvärme.

För att illustrera förändringen i värmelastprofil vid konvertering till fjärrvärme har en normaliserad värmelastkurva konstruerats, se figur 7. I den figuren är lastkurvan för respektive fall normaliserad till index 100 medan profilen för de båda kurvorna är oförändrad. Kurvorna utgår från samma index 100, dvs. att kurvorna i fig. 6 justeras så att de båda utgår ifrån 100 för att underlätta jämförelsen mellan lastprofilen för de båda kurvorna.



Figur 7 Normaliserad lastkurva för fjärrvärmebehovet före och efter konvertering av processer till fjärrvärme.

I tabell 1 finns industriernas konverteringspotential för fjärrvärme förtecknad för varje process. Fjärrvärmedriven absorptionskyla är den process som har störst potential att öka

fjärrvärmeanvändningen. För de industrier som har analyserats i den här studien kan fjärrvärmeanvändningen öka från 102 GWh till 302 GWh. När processerna konverteras från el och fossila bränslen till fjärrvärme medför det att elanvändningen kan minska med 45 GWh eller 11 % och fossilbränsleanvändningen kan minska med 100 GWh eller 40 %. Konverteringen innebär således att fördelningen av energianvändningen för industrierna förändras. Från att fjärrvärmeanvändningen utgjort knappt 15 % av industriernas energianvändning har den ökat till nästan 45 % av energianvändningen. Att fjärrvärmebehovet ökar mer än vad el- och fossilbränsleanvändningen minskar beror på ökningen av värmebehovet för absorptionskylmaskinerna. När eldrivna kompressionskylmaskiner ersätts med värmedrivna absorptionskylmaskiner ökar energibehovet med en faktor på 4¹. Om man inte tar hänsyn till primärenergibehovet för elproduktionen ökar det totala energibehovet när industrierna konverterar processer till fjärrvärme. EU har dock rekommenderat att använda en primärenergifaktor på 2,5 för elproduktion inom Europa för att kompensera för energiförluster vid elproduktionen (Direktiv 2006/32/EC). När primärenergifaktorn används för att tillgodoräkna sig minskningen i elanvändning blir den totala reduktionen i energianvändning 6 % för industrierna. Om absorptionskylan exkluderas i beräkningarna minskar energianvändningen med nästan 10 %. Eftersom det enbart är konverteringar som inkluderats i den här studien och inte åtgärder som endast påverkar energianvändningen, som t.ex. minskning av tomgångsförluster och byte av lamparmaturer, borde den totala energianvändningen inte påverkas. Orsaken till att det dock blir reduktioner i energianvändningen är primärenergifaktorn för el. Dessutom är potentialen för ökad elproduktion i kraftvärmeverken på grund av ökat fjärrvärmebehov, speciellt under sommarhalvåret då absorptionskylbehovet är som störst, inte inkluderad i energibesparingen. Om hänsyn tas till den extra elproduktionen i kraftvärmeverken ersätter el producerad på kontinenten medför det ytterligare energibesparingar för hela energisystemet.

¹ Köldfaktor kompressionskylmaskin = 3, Köldfaktor absorptionskylmaskin = 0,7 (Trygg och Amiri, 2007).

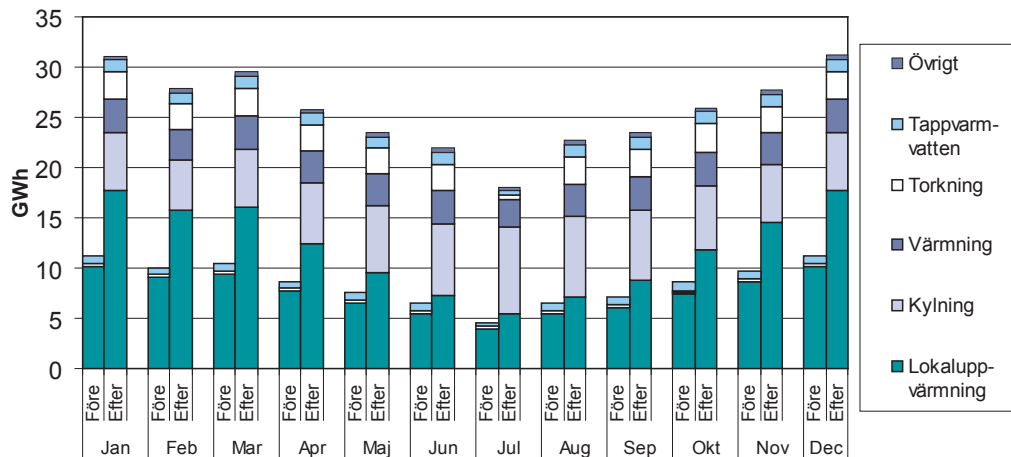
Tabell 1 Industriernas fjärrvärmepotential för respektive process.

	Före konvertering [GWh]	Efter konvertering [GWh]	Fjärrvärmeeökning [GWh]	Andel av fjärrvärmeebehovet före konvertering [%]	Andel av fjärrvärmeebehovet efter konvertering [%]
Lokaluppvärmning	90	144	54	88	47
Kylning	0	72	72 ¹	0	24
Värmning	0	38	38	0	13
Torkning	3	30	27	3	10
Tappvarmvatten	9	13	4	9	4
Övrigt (mest tvättning)	0	5	5	0	2
Totalt	102	302	200		

¹ För att tillgodose kylbehovet för de sju industrierna i Bilaga 1, tabell II krävs 41 GWh fjärrvärme.

För att åskådliggöra hur fjärrvärmeebehovet varierar under året har i figur 8 värmeebehovet delats upp per månad respektive per process för de två fallen före och efter konverteringar. Det är fortfarande lokaluppvärmningen som efter konverteringar står för det största fjärrvärmeebehovet men dess andel av det totala fjärrvärmeebehovet har sjunkit från 88 % till 47 % (se tabell 1). Eftersom lokaluppvärmningsbehovet är relaterat till utomhustemperaturen påverkas värmelastkurvan mer av utomhustemperaturen och påvisar mer säsongsberoende om en större del av fjärrvärmeebehovet består av lokaluppvärmning. Fjärrvärmeebehovet är som lägst i juli och före konvertering var fjärrvärmeebehovet i juli bara 40 % av fjärrvärmeebehovet i december. Efter konvertering kan fjärrvärmeebehovet för juli öka till 58 % av fjärrvärmeebehovet för december, vilket resulterar i ett mer jämnt fördelat fjärrvärmeebehov under året.

För sommarmånaderna är det framförallt konverteringar till absorptionskyla som har möjlighet att öka fjärrvärmeebehovet. Under juli månad står värmeebehovet till absorptionskyla för 47 % av totala fjärrvärmeebehovet under juli. Under juli månad är det även flera industrier som har semester vilket påverkar uttaget av fjärrvärme. För de övriga processerna som tappvarmvatten, processvärme och torkning är värmeebehovet relativt konstant under året eftersom de till största delen inte är beroende utav utomhustemperaturen utan mer av produktionstiden.



Figur 8 Fjärrvärmebehovet uppdelat per månad och process.

Påverkan på de globala koldioxidutsläppen

Alla av de analyserade industrierna har potential att minska sin el- och fossilbränsleanvändning genom att konvertera processer till fjärrvärme. Vid en sådan konvertering finns stora möjligheter att minska de globala utsläppen av koldioxid. På den gemensamma europeiska elmarknaden är det vanligtvis kolkondenskraftverk som producerar el på marginalen (Sjödin, 2003) och förändringar i elproduktionen eller konsumtionen i Sverige har potential att påverka de globala utsläppen av koldioxid. När elanvändningen i svenska industrier minskar kan den friställda elen säljas utomlands, vilket kan reducera elproduktionen i anläggningar som har högre externa kostnader än de svenska elproduktionsanläggningarna har. Därtill har ökningen av fjärrvärmebehovet möjlighet att även öka elproduktionen i kraftvärmeverken, vilket ytterligare möjliggör försäljning av el till den europeiska marknaden. Den totala påverkan på de globala koldioxidutsläppen är en möjlig reduktion på 112 000 ton CO₂/år (se tabell 2). Inkluderat i den siffran är reduktionen av koldioxidemissioner från industriernas el- och fossilbränsleanvändningen, koldioxidreduktioner när den extra elproduktionen i kraftvärmeverk säljs på den europeiska elmarknaden och de ökade lokala koldioxidutsläppen från fjärrvärmeanläggningarna när fjärrvärmebehovet ökar. Elen antas ersätta el producerad i europeiska kolkondenskraftverk som har utsläpp på ett ton koldioxid/MWh el (Sjödin, 2003).

Tabell 2 Potentiell förändring i energianvändning och koldioxidemissioner för de analyserade industrierna.

	El	Olja	Gasol	Fjärrvärme	Elproduktion i kraftvärmeverk	Total CO ₂ påverkan [ton]
Förändring i energianvändning [GWh/år]	-45	-95	-4	200	60 ¹	
Koldioxidemissioner [ton/år]	-45 000 ²	-28 300 ³	-820 ⁴	22 000 ⁵	-60 000 ^{1, 2}	-112 000

¹ Antaget att den extra fjärrvärmens produceras i kraftvärmeverk med ett alfavärde på 0,3 för elproduktion.

² 1 MWh el = 1 ton koldioxid (Sjödén, 2003).

³ 1 MWh olja = 0,3 ton koldioxid (NSF, 2008).

⁴ 1 MWh gasol = 0,23 ton koldioxid (NSF, 2008).

⁵ 1 MWh fjärrvärme = 0,11 ton koldioxid (Werner och Warnicke, 2003). Medelvärde för svensk fjärrvärmeproduktion under 2000.

Fortsatt arbete

I den här studien är det bara 41 industrier som har blivit analyserade men tanken är att använda metodiken i MeHLA för flera industrier i fler branscher. Förhoppningen är att om ett tillräckligt underlag föreligger kunna dra generella slutsatser om konverteringspotentialen för de olika branscherna. Förutom industrier kan andra byggnader som lokaler, köpcentrum, flerfamiljshus etc. analyseras för att få en fullständig konverteringspotential över en hel kommun. En sådan analys skulle ge information till fjärrvärmeleverantören och kommunen om vilka industrier eller områden som påverkar fjärrvärmesystemet mest och följdaktigen vilka åtgärder som borde prioriteras.

DISKUSSION OCH SLUTSATSER

Resultatet från den här studien påvisar att en ökad användning av fjärrvärme för industriella processer kan leda till bättre resursutnyttjande. I den här studien har ett tillvägagångssätt, MeHLA (Method for Heat Load Analysis), tagits fram för att kunna användas för att analysera industriens fjärrvärmebehov. MeHLA kan användas till att analysera olika värmedrivna processer och resultatet är värmelastkurvor för de olika processerna och branscherna. Resultatet från den här studien kan användas för analyser av större energisystem som även inkluderar andra lokaler och där intresse finns för att studera effekterna på energisystemet när processer konverteras till fjärrvärme.

För baslastanläggningar som kraftvärmeverk är utnyttjningstiden en viktig parameter för lönsamheten och det är därför önskvärt att hitta processer som kräver värme året om. När industrier bara använder fjärrvärme för lokaluppvärmning och tappvarmvatten är värmebehovet starkt kopplat till utomhustemperatur och behovet skiftar mycket mellan vinter- och sommarmånader. Om värmebehovet är för lågt på sommaren kan det i värsta fall resultera i att baslastanläggningens minlast underskrids och andra, dyrare anläggningar måste köras. Om industrier konverterar processer som inte har ett värmebehov som är kopplat till utomhustemperatur, processer som t.ex. torkning och processvärme, minskar skillnaden i värmebehov mellan vinter och sommar. En process som har ett omvänt behov av värme jämfört med lokaluppvärmning är fjärrvärmedriven absorptionskyla. Absorptionskyla har högst värmebehov under sommarmånaderna när fjärrvärmebehovet i regel är som lägst och konvertering till absorptionskyla kan hjälpa till att jämna ut lastprofilen så att skillnaden i värmebehov mellan vinter och sommar minskar. Åtgärder som konvertering av industriella processer till fjärrvärme kan på så sätt bidra till en flackare lastprofil och därmed till bättre utnyttjande av anläggningarna.

Genom att konvertera processer till att drivas av fjärrvärme istället för el minskar inte bara elanvändningen utan det ger även möjlighet till ökad elproduktion i kraftvärmeverk. Med den gemensamma europeiska elmarknaden kan den genererande elen från kraftvärmeverket ersätta el som producerats med högre externa kostnader ute i Europa. Vid konvertering av processer till fjärrvärme kan el som producerats i kolkondenskraftverk ersättas med fjärrvärme producerad i kraftvärmeverk, vilket kan resultera i en möjlig koldioxidbesparing på 112 000 ton CO₂ per år. Förutom koldioxidbesparingar ger konvertering till fjärrvärme en total energibesparing på 6 % för industrierna, vilket är ett steg i rätt riktning mot energieffektiva system. Konverteringen leder dessutom till en elbesparing på 11 % och en fossilbränslebesparing på 40 %. Rena energieffektiviseringsåtgärder är inte inkluderat i den här studien men om även besparingsmöjligheterna från de åtgärderna inkluderas är energibesparingspotentialen för svensk industri betydande.

REFERENSER

- Carlsson, A., Ek, M. och Wilén, P., 2006a. Energiinventering av AB Svenska Maskin-
skyltfabriken. Tekniska Verken AB, Linköping kommuns miljökontor, Linköping.
- Carlsson, A. och Ek, M., 2006b. Energiinventering av Linköpings Förnicklings AB.
Tekniska Verken AB, Linköping kommuns miljökontor, Linköping.
- Chinese, D. och Meneghetti, A., 2005. Optimisation models for decision support in
the development of biomass-based industrial district-heating networks in Italy.
Applied Energy 82(3), 228-254.
- Danestig, M. och Henning, D., 2004. Increased system benefit from cogeneration due
to cooperation between district heating utility and industry, The 9th International
Symposium on District Heating and Cooling, Espoo, Finland.
- Difs, K. och Trygg, L., 2009. Pricing district heating by marginal cost. *Energy Policy*
37(2), 606-616.
- Direktiv 2006/32/EC. Directive 2006/32/EC of the European Parliament and of the
Council of 5 April 2006 on energy end-use efficiency and energy services and
repealing Council Directive 93/76/EEC.
- Dotzauer, E., 2002. Simple model for prediction of loads in district-heating systems.
Applied Energy 73(3-4), 277-284.
- Energimyndigheten, 2005. Energimarknad 2005, ET 2005:21, Eskilstuna, Sweden.
- Energimyndigheten, 2007. Energiläget 2007. Energimyndigheten, ER 2007:51,
Eskilstuna.
- Franzén, T., 2005. EnSAM – EnergiSystemAnalysMetod för industriella energisystem.
LiU-TEK-LIC-2004:21. Institutionen för konstruktions- och produktionsteknik,
Linköpings Universitet, Linköping.
- Gebremedhin, A., 2003. Regional and industrial co-operation in district heating
systems Doktorsavhandling Nr. 849, Institutionen för konstruktions- och
produktionsteknik, Linköpings Universitet, Linköping.
- Gustavsson, L. och Karlsson, Å., 2003. Heating detached houses in urban areas.
Energy 28(8), 851-875.
- Heller, A.J., 2002. Heat-load modelling for large systems. *Applied Energy* 72(1),
371-387.
- Henning, D., 1998. Cost minimization for local utility through CHP, heat storage
and load management. *International Journal of Energy Research*. 22(8), 691-713.
- Henning, D., 1999. Optimisation of Local and National Energy Systems: Develop-
ment and Use of the MODEST Model. Doktorsavhandling Nr. 559, Institutionen
för konstruktions- och produktionsteknik, Linköpings Universitet, Linköping.
- Henning, D., Amiri, S. och Holmgren, K., 2006. Modelling and optimization of
electricity, steam and district heating production for a local Swedish utility. *Euro-
pean Journal for Operational Research* 175(2), 1224-1247.
- Henning, D. och Trygg, L., 2008. Reduction of electricity use in Swedish industry and
its impact on national power supply and European CO₂ emissions. *Energy Policy*
36(7), 2330-2350.
- Johansson, L. 2006. Elenergieffektivisering på Arla Foods mejeri i Linköping – kart-
läggning och åtgärdsförslag. Institutionen för kemiteknik, Lunds Universitet,
Lund.

- Karlsson, B., 2001. Analysverktyg: Strategi för systemförändringar av industriell energianvändning. Institutionen för konstruktions- och produktionsteknik, Linköpings Universitet, Linköping.
- Karlsson, M., Rohdin, P., Karlsson, F. och Moshfegh, B., 2005. Energikonsekvenser av strukturerat energieffektivitetstänkande för Arla Foods. LiTH-IKP-R-1364. Institutionen för konstruktions- och produktionsteknik, Linköpings Universitet, Linköping.
- Karlsson, P., Håkansson, H. och Söderberg, S.-O., 2006a. Energianalys av Swedish Meats. Linköpings Universitet och Energikontor Sydost.
- Karlsson, B., Karlsson, P. och Söderberg, S.-O., 2006b. Energianalys av BT Hand Trucks & Special Products. Linköpings Universitet och Energikontor Sydost.
- Karlsson, B., Karlsson, P. och Söderberg, S.-O., 2006c. Energianalys av BT Powered Trucks. Linköpings Universitet och Energikontor Sydost.
- Karlsson, B., Karlsson, P. och Söderberg, S.-O., 2006d. Energianalys av BT Sheet Metal Components. Linköpings Universitet och Energikontor Sydost.
- Marbe, Å., Harvey, S. och Berntsson, T., 2004. Biofuel gasification combined heat and power – implementation opportunities resulting from combined supply of process steam and district heating, *Energy*, 29(8), 1117-1137.
- Nord-Ågren, E., 2002. The Electricity Usage Pattern for Cooker Manufacturing in Three European Countries: A Benchmarking Study of Electrolux Factories. Rapport LIU-TEK-LIC-2002:60, Linköpings universitet, Linköping.
- NFS 2006:8, Naturvårdsverket. NFS hemsida: www.naturvardsverket.se
- Pedersen, L., 2007. Use of different methodologies for thermal load and energy estimations in buildings including meteorological and sociological input parameters. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 11(5), 998-1007.
- Schellong, W. och Hentges, F., 2007. Forecast of the heat demand of a district heating system. *Proceedings of the 7th IASTED International Conference on Power and Energy Systems*, 383-388.
- Sjödin, J. 2003. Swedish District Heating Systems and a Harmonised European Energy Market – Means to Reduce Global Carbon Emissions. Doktorsavhandling Nr. 795, Institutionen för konstruktions- och produktionsteknik, Linköpings Universitet, Linköping.
- NFS 2006:8, Naturvårdsverket. NFS hemsida: www.naturvardsverket.se
- Thollander, P., Danestig, M. och Rohdin, P., 2007. Energy policies for increased industrial energy efficiency: Evaluation of a local energy programme for manufacturing SMEs. *Energy Policy* 35(11), 5774-5783.
- Trygg, L., 2004. Generalized method for analysing industrial DSM towards sustainability in a deregulated European electricity market – method verification by applying it in 22 Swedish industries. *Proceedings of the 2nd International Conference on Critical Infrastructures*, Ed. J-C Sabonnadiere, s10-a2, Grenoble, France, 25-27 October 2004.
- Trygg, L. och Karlsson, B., 2005. Industrial DSM in a deregulated European electricity market – a case study of 11 plants in Sweden. *Energy Policy* 33(11), 1445-1459.

- Trygg, L. och Amiri, S., 2007. European perspective on absorption cooling in a combined heat and power system – a case study of energy utility and industries. *Applied Energy* 84(12), 1319-1337.
- Werner, S och Warnicke, C., 2003. Koldioxidmager fjärrvärme. FVF 03 11 02, Svensk Fjärrvärme, Stockholm.
- Wu, Y.J. och Rosen M.A., 1999. Assessing and optimizing the economic and environmental impacts of cogeneration/district energy systems using an energy equilibrium model. *Applied Energy* 62(3), 141-154.
- Yao, R. och Steemers, K., 2005. A method of formulating energy load profile for domestic building in the UK. *Energy and Buildings* 37(6), 663-671.

BILAGA 1. ANALYSERADE INDUSTRIER

Tabell I Industrier med fullständiga energianalyser.

Industri	Region	Bransch	Energi [GWh/år]	El [GWh/år]	Fjärrvärme [GWh/år]
ABB Figeholm Bruk	Oskarshamn	Elprodukter	30,7	11,7	0
Bohmans Fanér	Oskarshamn	Trä	16,7	3,7	0
ABB Fårbo	Oskarshamn	Elprodukter	2,1	1,5	0
Alvis Häggglunds	Örnsköldsvik	Transport	26	16	10
Avesta Polarit	Örnsköldsvik	Metall	7,4	5	0
Oscar Strandberg Industri	Örnsköldsvik	Ytbehandling	4,6	1,9	0
Sanmina	Örnsköldsvik	Tele	3,9	2,3	0
Svensk Brikett Energi	Ulricehamn	Trä/energi	77	14	0
IRO	Ulricehamn	Tillverkning	6,8	6,5	0
Emballator	Ulricehamn	Förpackningar	6,8	6,3	0
Bogesunds Väveri	Ulricehamn	Textil	1,8	0,5	0
Saab AB	Linköping	Transport	168,8	87,6	52,5
Cloetta Produktion AB	Linköping	Livsmedel	36,2	17,6	10,3
BT, Powered Trucks	Linköping	Tillverkning maskiner	34,5	15,6	9,8
Swedish Meats	Linköping	Livsmedel	22,6	11,8	5,6
BT, Hand Trucks & Special Products	Linköping	Tillverkning maskiner	6,9	3,3	1,3
BT, Sheet metal Components	Linköping	Tillverkning maskiner	3,8	1,8	0,7
AB Svenska Maskinskytt Fabriken	Linköping	Metall	1,6	1,0	0,6
Linköpings Förnicklning AB	Linköping	Ytbehandling	1,1	1,0	0
Arla	Linköping	Livsmedel	41,9	16,2	9,5
Industry 1*	Vetlanda	Metall	2,8	2,8	0
Industry 2*	Vetlanda	Metall	1,6	1,3	0
Industry 3*	Sävsjö	Metall	1,2	0,5	0
Industry 4*	Nässjö	Textil	7,4	1,9	0
Industry 5*	Eksjö	Metall	2,4	1,6	0
Industry 6*	Eksjö	Tillverkning	0,1	0,1	0
Industry 7*	Aneby	Papper/massa	25,4	16,5	0
Industry 8*	Aneby	Trä	18,7	2,5	0
Industry 9*	Aneby	Gummi/plast	3,3	2,5	0
Industry 10*	Oskarshamn	Tillverkning	9,1	3,1	0
Industry 11*	Oskarshamn	Papper	5,1	4,0	1,1
Industry 12*	Oskarshamn	Elprodukter	34,1	17,1	0
Industry 13*	Oskarshamn	Tillverkning	1,7	1,0	0,7
Industry 14*	Oskarshamn	Transport	70	40	0

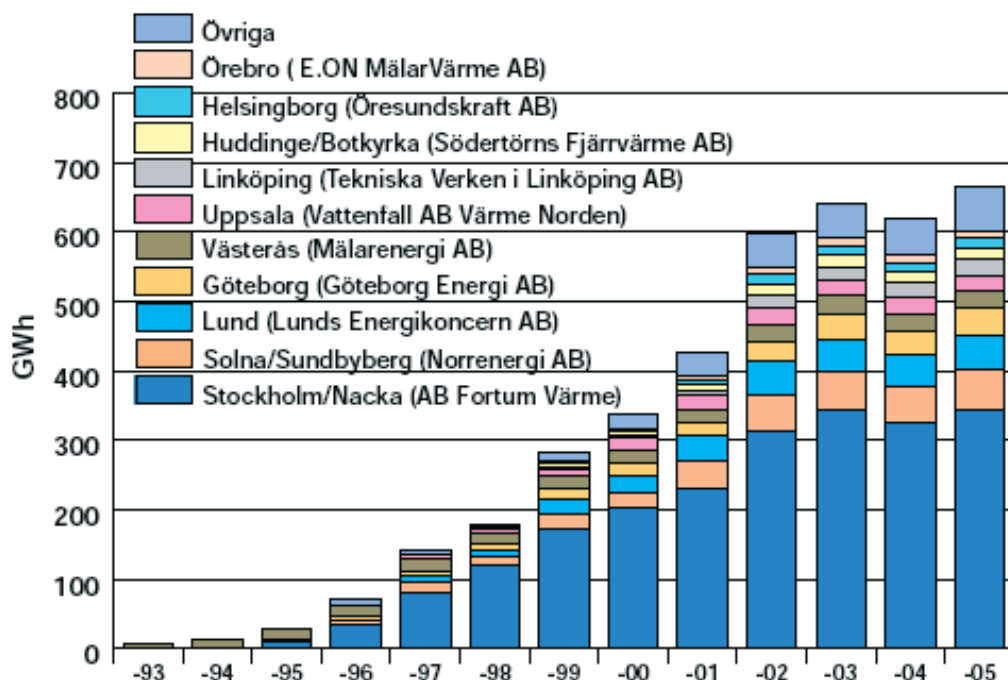
* Skyddat namn.

Tabell II Industrier med analys över kylbehovet (Trygg och Amiri, 2007).

Industri	Region	Bransch	Kylbehov [GWh/år]
Freudenberg Households Products AB	Norrköping	Detaljhandel	12
Rostiprimpac AB	Norrköping	Gummi och plast	11,8
Vitamex AB	Norrköping	Läkemedel	1,8
Miljösäck AB	Norrköping	Gummi och plast	1,6
Stenqvist Emballage AB	Norrköping	Kemikalier	0,8
National Starch & Chemical AB	Norrköping	Kemikalier	0,6
Souminen Packaging	Norrköping	Kemikalier	0,2

INLEDNING

Den globala uppvärmningen och de förändringar i klimatet som IPCC förutspår (IPCC, 1996) kommer med största trolighet att medföra förändringar i uttagsmönstret för både uppvärmning och komfortkyla. Med ett varmare klimat följer ett minskat behov av uppvärmning och en ökad efterfrågan på komfortkyla. Ett flertal analyser visar hur behovet av kyla redan nu ökar markant, både i Sverige och sett i hela världen. Idag säger man att mer än 10 % av den globala elanvändningen beror på kylning (IEO, 2005). Ett vanligt sätt att distribuera kyla är med hjälp av utbyggda fjärrkylennät där kylan normalt produceras med hjälp av eldrivna kompressionskylmaskiner. Västerås var den första svenska staden som kunde erbjuda fjärrkyla, figur 1 visar hur olika städer har byggt ut fjärrkylennät sedan starten i Västerås 1993.

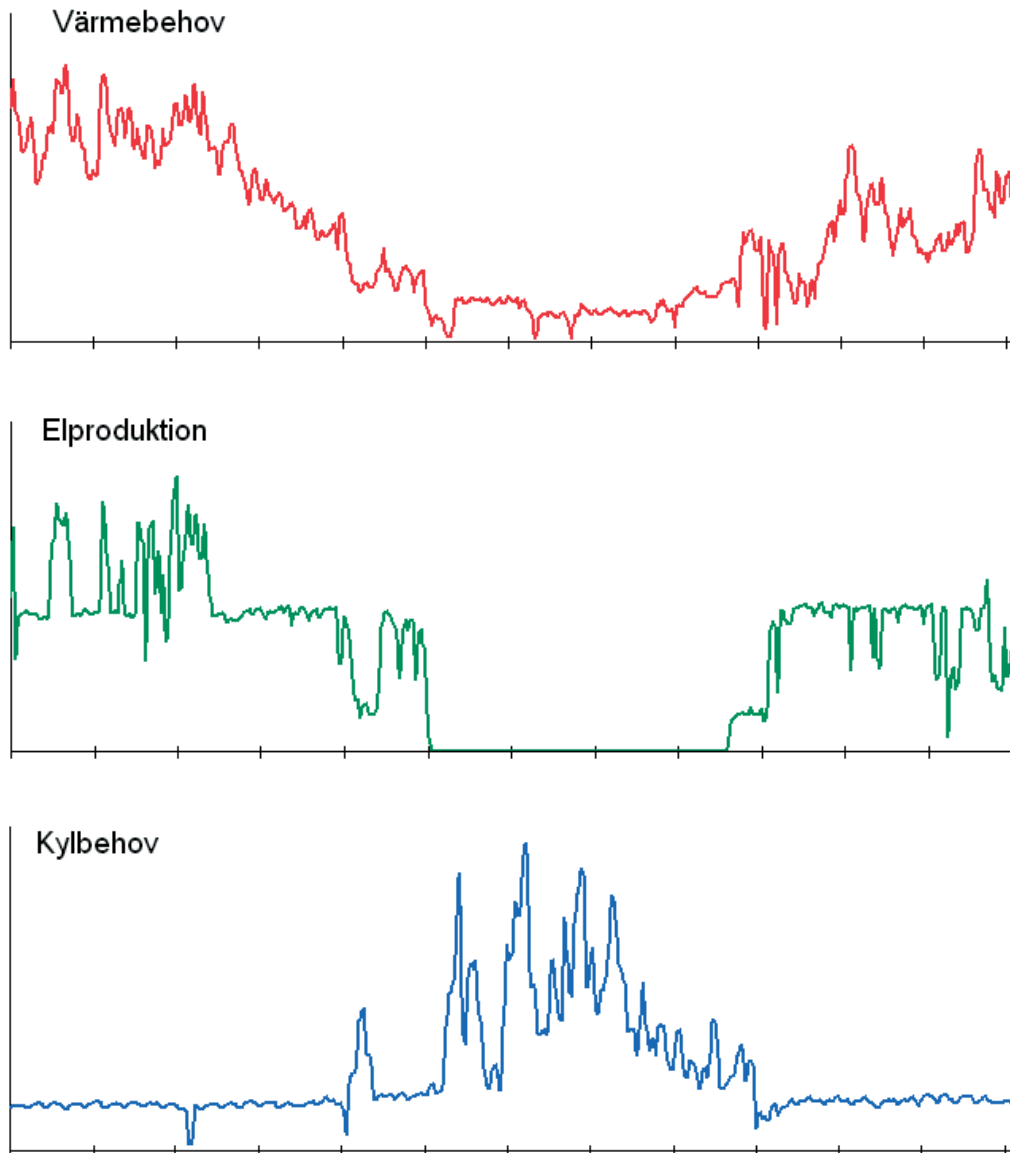


Figur 1 Produktion av fjärrkyla i Sverige.

Till följd av ökad handel av el mellan länder inom EU kommer elpriset med största trolighet att öka för svenska konsumenter och anpassas till ett högre elpris på en europeisk nivå. Ett ökat elpris har dubbla effekter när man tittar på hur kylan kan produceras och vilka kostnader som är förknippade med kylproduktion. Om man använder eldrivna kompressionskylmaskiner ger ett ökat elpris dyrare produktionskostnader för att tillverka kyla. Om man istället använder fjärrvärmedrivna absorptionskylmaskiner blir situationen annorlunda. I ett kraftvärmesystem ger ett ökat elpris ökat incitament att öka elproduktionen. Det betyder att det blir ännu mer intressant för energileverantören att öka fjärrvärmeanvändningen och att hitta nya fjärrvärmeapplikationer. Under sommarmånaderna är behovet av fjärrvärme som lägst vilket medför att även elproduktionen är som lägst under den perioden. Många energibolag har därför kvittblivningsproblem avseende värmeöverskottet sommartid

och söker därför nya avsättningsområden. Sommarmånaderna är också den tid under året då behovet av komfortkyla är som störst. Att kombinera dessa efterfrågekurvor och använda fjärrvärme för att producera kyla ger därför en högre utnyttjningsgrad av fjärrvärme under året och ett varaktighetsdiagram som medger ökad elproduktion i ett kraftvärmesystem. När man utgår från ett kraftvärmesystem, och jämför ett system där kyla produceras med eldrivna kompressionskylmaskiner med ett system där produceras kyla med absorptionsteknik, blir effekterna att man minskar elanvändningen samtidigt som man ökar möjligheterna att producera mer el.

I figur 2 nedan kan man se hur varaktighetsdiagrammen för värmebehov, kylbehov och elproduktion kan se ut under ett år.



Figur 2 Exempel på varaktighetsdiagram för värmebehov, elproduktion och kylbehov under ett år.

Man ser tydligt i figuren hur kylbehovet är som störst under de tider då både fjärrvärmeanvändningen och elproduktionen är som lägst. När kyla produceras med fjärrvärme drivna absorptionskylmaskiner, istället för med eldrivna kompressionskylmaskiner, medför det att fjärrvärmeanvändningen under sommarmånaderna ökar, vilket i sin tur innebär ett ökat kraftvärmeunderlag och därmed utökade möjligheterna för ytterligare elproduktionen under sommarperioden.

Syfte

Syftet med denna delstudie är att analysera de ekonomiska och miljömässiga konsekvenserna av att införa absorptionskyla i ett svenskt energisystem. Som fallstudie har E.ON i Örebro använts där kyla produceras med centralt placerad kylanläggning för nyttjande av befintligt fjärrkylnät.

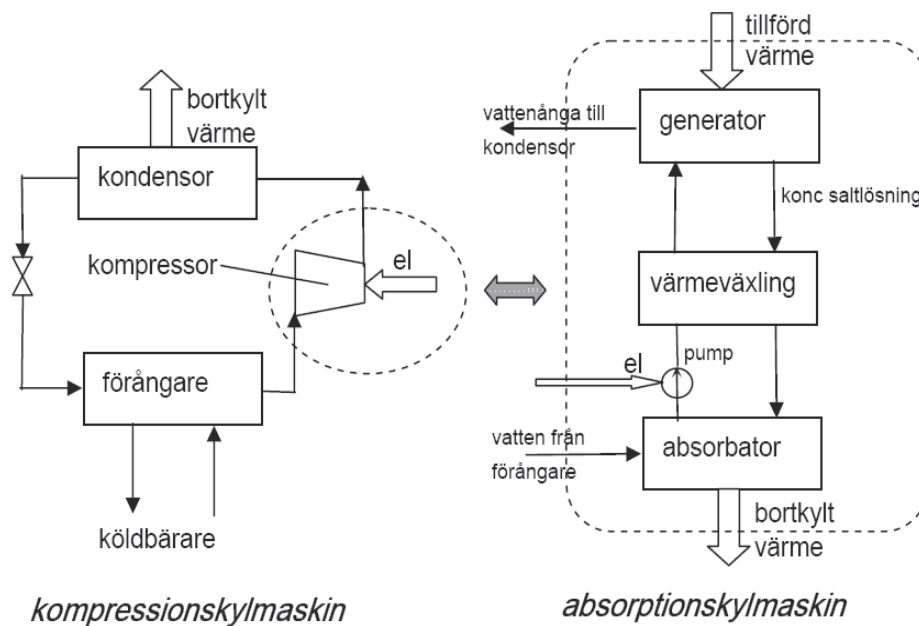
Eftersom elpriset i Sverige sannolikt kommer att stiga och energibolaget i Örebro förutser en ökad efterfrågan på kyla analyseras effekten av att införa absorptionskyla i kombination med både högre elpriser och en ökad efterfrågan på fjärrkyla.

BAKGRUND

Absorptionskyla – teknik

En absorptionskylmaskin använder värme som sin huvudsakliga energikälla till skillnad från en kompressionskylmaskin som drivs av el. I absorptionskylmaskinen är kompressorn ersatt av absorptor, pump och generator. När det primära kylmediet, vatten, förångas kyls köldbäraren. Istället för att sedan komprimeras, som det görs i en kompressionskylmaskin, blandas köldmediet i en absorptionskylmaskin med ett sorptionsmedel (sekundärt köldmedium) vanligen litiumbromid (saltlösning) som absorberar det förångade köldmediet. Därefter pumpas den nu utspädda saltlösningen till en generator där värme tillsätts, t.ex. fjärrvärme. Köldmediet förångas och leds vidare till kondensorn medan sorptionsmedlet återgår till absorptorn. Vattenånga får sedan kondensera och förs efter tryckreducering åter till förångaren. Då vattnet drivs av i generatorn koncentreras saltlösningen på nytt och kan åter föras till absorptorn. Det finns två olika sätt att koppla in returen från en absorptionskylmaskin i ett fjärrvärmesystem, endera kan den kopplas in på framledningen eller på returledningen.

En schematisk bild över kompressionskylmaskin och absorptionskylmaskin visas i figur 3.



Figur 3 Principskiss över kompressionskylmaskin och absorptionskylmaskin. I absorptionskylmaskinen är kompressorn ersatt med absorptor, generator samt mellanliggande värmeväxlare.

Som nämnts tidigare ger absorptionskyla fördelar eftersom tekniken medför både större möjligheter att producera el i ett kraftvärmesystem samtidigt som elanvändningen minskar jämfört med konventionell kompressionskyla. En annan fördel är att problematiken kring köldmedel för kompressionskyla undviks.

Till nackdelarna för absorptionskyla hör de relativt höga investeringskostnaderna vilket är förknippat med den låga verkningsgraden, COP. En absorptionskylmaskin har COP på ca 0,7 jämfört med en kompressionskylmaskin som har en COP på ca 3-4. Den

låga verkningsgraden medför att en större andel av satsad drivenergi måste kylas bort per enhet producerad kyleffekt. Det innebär att om man inte har tillgång till en naturlig värmesänka (t.ex. sjö eller vattendrag) måste man investera i kyltorn för att kyla kondensorn och absorbatoren. Det låga COP för absorptionskylmaskiner medför också att det måste finnas tillgång till billig värme för att det ska vara lönsamt att producera kyla i absorptionskylmaskin jämfört med en konventionell kompressionskylmaskin.

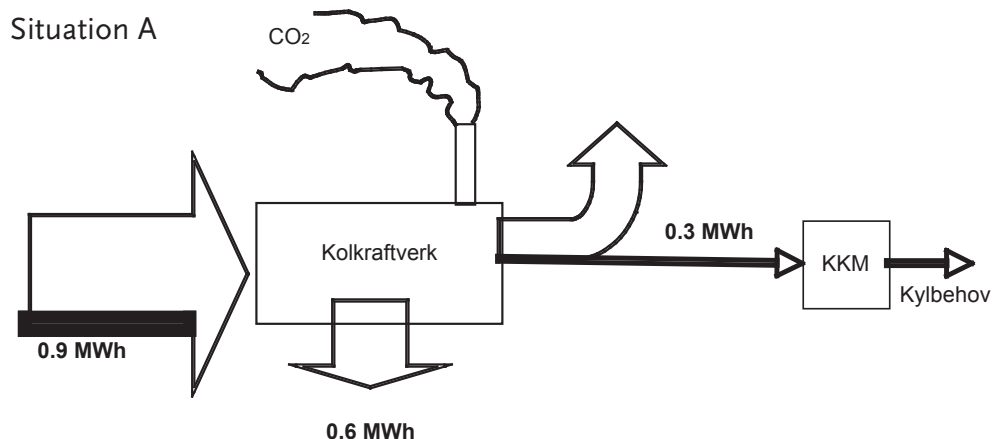
Själva absorptionskylmaskinen kan antingen placeras centralt och sedan kopplas till ett fjärrkylnät eller placeras lokalt där ett kylbehov finns. Vid en lokal placering av en absorptionskylmaskin som drivs med fjärrvärme innebär det att man kan nyttja ett utbyggt fjärrvärmenät som distributionsnät istället för att investera i ny kylkulvert för att försörja kunder med kyla. Skillnader mellan lokal och central placering har studerats i Norrköping där idag befintliga kompressionskylmaskiner försörjer fastigheter i centrala Norrköping som är anslutna till ett fjärrkylnät (se avsnittet Studier om absorptionskyla och kompressionskyla).

Jämförelse mellan absorptionsteknik och kompressionsteknik i ett kraftvärmesystem

När kolkondens är den marginella kraftkälla som ändras när elanvändningen ökar eller minskar ger en övergång från kompressionsteknik till absorptionsteknik möjligheter att minska de globala emissionerna av CO₂. För att åskådliggöra skillnaden kan man utgå från ett kylbehov på 1 MW och sedan jämföra en situation där kyla produceras med kompressionskylmaskiner med en situation där kyla produceras med absorptionskylmaskiner. I exemplet nedan illustreras dessa två situationer.

Exempel

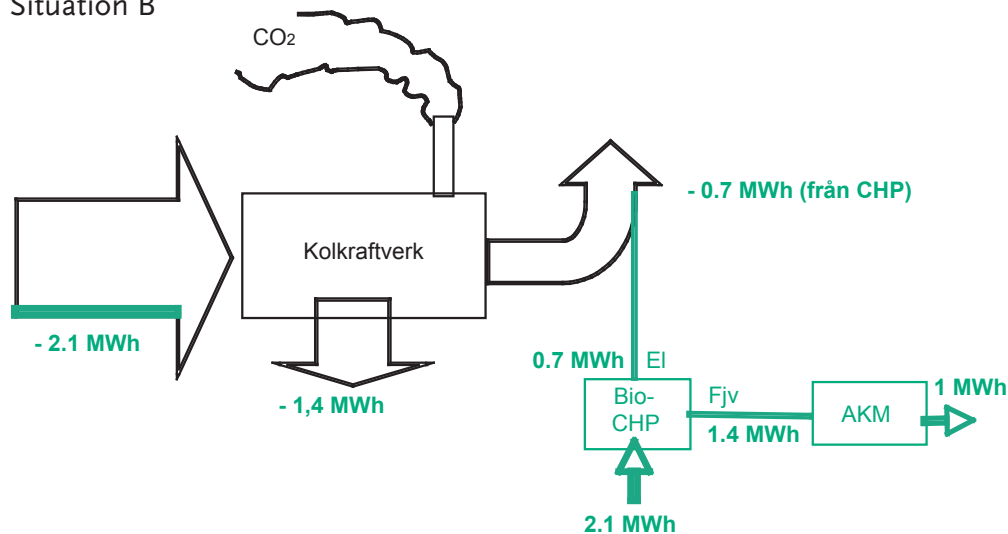
I fall A där kyla produceras med kompressionskyla uppgår elförbrukningen för att tillgodose ett på kylbehov till 0,3 MWh om COP för kylmaskinen antas vara 3,5. Med en verkningsgrad på 0,33 för kondenskraftverket innebär det 0,9 MWh kol i bränsle för att producera 0,3 MWh el vilket motsvarar 0,9 ton CO₂ (figur 4).



Figur 4 Situation A; Produktion av 1 MWh kyla med hjälp av kompressionskylmaskin (KKM).

Om kylan istället produceras med absorptionskyla (Situation B, figur 5) innebär det att det krävs 1,4 MWh fjärrvärme för att producera 1 MWh kyla. Med ett alfavärde på 0,5 i kraftvärmeverket ger 1,4 MWh fjärrvärme upphov till möjligheter att producera 0,7 MWh el. Dessa 0,7 MWh kan då ersätta samma mängd el producerade i ett kondenskraftverk vilket innebär en minskning av kolbehovet med 2,1 MWh motsvarande 2,1 ton CO₂.

Situation B



Figur 5 Situation B; Produktion av 1 MWh kyla med hjälp av absorptionskylmaskin (AKM) i ett kraftvärmesystem.

Jämför man dessa två situationer, A och B, ser man att man går från en situation med globala emissioner på 0,9 ton CO₂ till en situation där CO₂ påverkan blir -2,1 ton. Att ersätta kompressionskylmaskiner med absorptionskylmaskiner, som i exemplet ovan, innebär alltså en procentuell minskning av globala CO₂ emissioner motsvarande 350 %.

Studier om absorptionskyla och kompressionskyla

Effekter av att introducera absorptionskyla i ett kraftvärmesystem har studerats bland annat för Linköping, Norrköping och Stockholm. I detta kapitel ges en kortfattade redogörelse av dess studier.

I studien om Linköping (Ekoff och Lund, 2006) var syftet att undersöka potentialen för värmedriven kylproduktion, dvs. absorptionskyla. En fallstudie utfördes där möjligheterna för absorptionskyla analyserades för två industrier i Linköping; Linköpingsmejeriet och Swedish Meats. Då behovet av processkyla var betydligt större än behovet av komfortkyla fokuserar studien på konvertering av processkylan. Resultatet från studien visade bland annat att koldioxidutsläppen, lokala såväl som globala, minskade som en följd av övergång från elkompressorer till absorptionskylmaskiner. Studien visade också att det vid tidpunkten för studiens genomförande inte fanns tillräckligt med ångproduktion i systemet för att tillgodose både det befintliga ångbehovet samt den mängd ånga som behövs för att framställa kylan. En investering i nya biobränslebaserade kunde

dock ge tillräcklig mängd billig ånga och värme för att ge lönsamhet i värmedriven kylproduktion.

I Norrköping finns ett befintligt fjärrkylsystem där kylan produceras med ammoniakbaserade kompressionskylmaskiner och levereras till centrala fastigheter i Norrköping via ett utbyggt fjärrkylnät. Konsekvenserna att ersätta befintliga kompressionskylmaskiner med absorptionskylmaskiner samt att dessa erbjuda kyla till sju större industrier i Norrköping analyserades (Trygg och Amiri, 2007). De sju industrierna var anslutna till fjärrvärmenätet men var så belägna att det inte var realistiskt att ansluta dem till det centrala fjärrkylnätet. Men hänsyn till kommande högre elpriser samt introduktion av naturgas visade resultatet från studien en minskning i de globala emissionerna av CO₂ med 80 % samt minskade systemkostnader med 300 % när absorptionskylmaskiner introducerades i energisystemet.

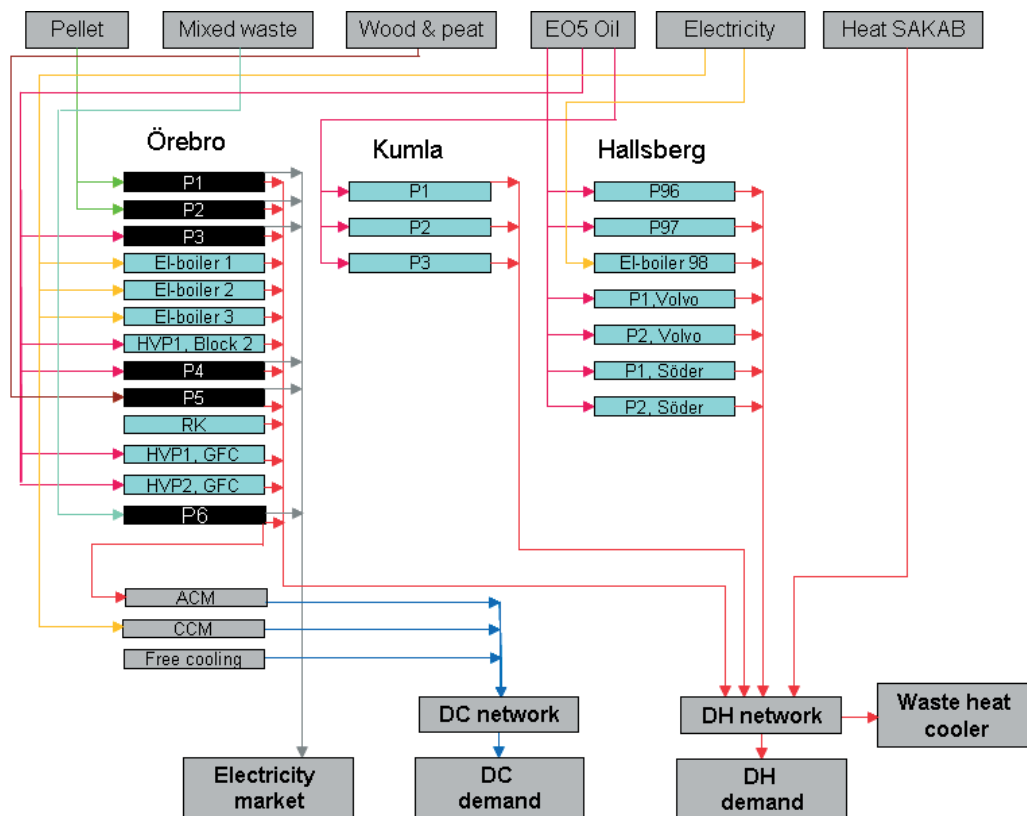
Med hjälp av indata från Energimyndighetens projekt STIL (Statistik i lokaler) studerades effekterna av absorptionskyla för att tillgodose behovet av komfortkyla i kontorslokaler inom Stockholmsregionen (Larsson och Nilsson, 2009). Studien visade hur lönsamheten av att introducera absorptionskyla i vissa delar av Stockholms södra och centrala fjärrvärmesystem ökade men ett ökat elpris och med ökad tillgång till billig värme från kraftvärmeverk. I Farsta företagsområde var den mest lönsamma kylproduktionen en kombination av absorptionskylmaskin och kompressionskylmaskin.

STUDERAT SYSTEM

Fallstudie Örebro

Det lokala energibolaget i Örebro ägs av energibolaget E.ON och producerar ca 450 GWh el, 1090 GWh fjärrvärme och 13 GWh fjärrkyla per år. År 1999/2000 anslöts de närliggande städerna Hallsberg och Kumla till Örebro fjärrvärménät, det s.k. HÖK-nätet (se fig. 6). Nätet är byggt som ett tvåvägssystem vilket innebär att fjärrvärme kan levereras åt bägge håll.

De produktionsanläggningar som används är idag ett bibränsleeldat och ett oljeeldade kraftvärmeverk. Planer finns att investera i ett kraftvärmeverk för avfallsförbränning under 2012. Den fjärrkyla som E.ON Örebro levererar produceras med hjälp av modifierade värmepumpar och med frikylning. Eftersom efterfrågan på kyla väntas öka överväger E.ON också att ersätta de modifierade värmepumpar som idag producerar kyla med antingen nya kompressionskylmaskiner eller med nya absorptionskylmaskiner.



Figur 6 Schematisk bild över HÖK-nätet.

METOD

Optimeringsmodellen MODEST har använts för att studera energisystem i Örebro. MODEST är utvecklat för att analysera optimeringar av kommunala och nationella energisystem och är baserad på linjär programmering. Syftet med optimeringar är att minimera den totala kostnaden för att tillgodose en efterfrågan på värme och kyla. En systemkostnad optimeras som beräknas som nuvärdet av alla kostnader för nya anläggningar, drift och underhåll, bränslekostnader, skatter och avgifter (Henning, 1999 och Gebremedhin, 2003). Modellen har testats och tillämpats på el och fjärrvärmeleverantörer för cirka 50 lokala energibolag samt för analyser av användningen av biomassa och för svensk elförsörjning (Gebremedhin och Zinko, 2003).

I denna delstudie har resultaten av optimeringar noggrant kontrollerats genom att analysera både indata och utdata. Systemet är optimerat under en period av 10 år där varje år är uppdelat i årstider och dygnsvariationer motsvarande 88 olika perioder under ett år. En kalkylränta på 6 % för nya investeringar och en avskrivningstid på 20 år har tillämpats.

Genom att tillämpa olika scenarier i MODEST kan man analysera hur olika förutsättningar och framtida situationer påverkar hela energisystemet. De valda scenarierna i denna delstudie presenteras i nästa avsnitt.

Scenariebeskrivningar

I syfte att studera hur variationer i elpriser och kylbehov påverkar hela Örebro energisystem när man introducerar absorptionskyla har tre olika scenarier använts (se tabell 1).

Det första scenariot (1) representerar det befintliga energisystemet i Örebro med dagens (2007) kylbehov och elpriser. I det andra scenariot (2) är elpriserna anpassade till en högre europeisk nivå där elpriser varierar över dygnet. I det tredje scenariot (3) analyseras en kombination av högre europeiskt elpris och högre kylbehov. Gemensamt för alla scenarier är att kylan kan produceras med endera frikyla, absorptionskylmaskiner eller med kompressionskylmaskiner. Det betyder att modellen själv väljer vilket produktions sätt som är det mest optimala sätt att producera kyla på.

Scenarierna är valda i samråd med E.ON Örebro och är utvalda för att representera olika situationer som E.ON anser vara de mest troliga framtidsscenarierna för energisystemet i Örebro. Kylbehovet i scenario 1 och 2 är 13 GWh med en maxeffekt på 7 MW. Det högre kylbehovet i scenario 3 är av E.ON uppskattat till 34 GWh med en maxeffekt på 20 MW.

Tabell 1 Scenariebeskrivning.

No	Beskrivning
1	Befintligt energisystem
2	Högre elpriser
3	Högre elpriser och högre kylbehov

Bränslepriser och CO₂-emissioner

I studien har de bränslepriser, skatter, pris på utsläppsrätter och globala CO₂-emissioner som visas i tabell 2 använts.

Tabell 2 Bränslepriser och CO₂ emissioner.

	Bränslepriser ¹ [SEK/MWh]	Skatter ² och pris på utsläppsrätter (värme/kraftvärme) [SEK/MWh]	CO ₂ emissioner ³ [kg/MWh]
Spillvärme	103		
Pellets	376		0 ⁶
Olja	348	376/103	270
Biobränsle ⁴	188	28/28	110
Blandat avfall ⁵	66	28/28	83

¹ Källa: Jönsson och Magnusson (2008). Siffrorna inkluderar drift- och underhållskostnader.

² Inklusive energi-, koldioxid- och svavelskatt.

³ Källa: Uppenberget et al. (2001).

⁴ Baserat på en bränslemix med 70 % biobränsle och 30 % avfall.

⁵ 50 % hushållsavfall och 50 % industriavfall.

⁶ Enligt IPCC betraktas biobränsle som koldioxidneutralt (IPCC, 1996).

Indata

Elpriset som används i scenario 1 motsvarar dagens elpris och är hämtat från Nordpool 2007, se tabell 3. I inköpspriset för el ingår en elskatt på 263 SEK/MWh, elcertifikat på 310 SEK/MWh och en nätavgift på 150 SEK/MWh.

Tabell 3 Elpriser för scenario 1.

Månad	Försäljningspris el [SEK/MWh]	Inköpspris el [SEK/MWh]
Januari	244	696
Februari	273	724
Mars	216	668
April	207	649
Maj	207	649
Juni	254	696
Juli	207	649
Augusti	254	696
September	301	743
Oktober	348	799
November	423	874
December	432	974

De högre elpriserna som används i scenario 2 och 3 grundar sig på en studie som är finansierad av E.ON och utförd av Linköpings universitet. Studien analyserar hur en gemensam europeisk elmarknad utan överföringsbegränsningar påverkar elpriset för svenska konsumenter (Melkersson och Söderberg, 2004), se tabell 4. I inköpspriset för el ingår en nätavgift² och en elskatt på 263 SEK/MWh. Istället för elcertifikat så har

² Nätavgiften varierar från 574 SEK/MWh dagtid till 432 SEK/MWh under kvällar och helger.

kostnader från Extern E (European Commission, 1999) använts. Investeringskostnader och COP för absorptionskylmaskin visas i tabell 5.

Tabell 4 Högre elpriser – scenario 2 och 3.

Månad	Period	Försäljningspris el [SEK/MWh]	Inköpspris, el [SEK/MWh]
Nov-	06-16	696	1296
Mars	16-22	423	902
	22-06	282	714
	Helger	282	714
April-	06-22	592	1137
Okt	22-06	282	714
	Helger	282	714

Tabell 5. Investeringskostnader och COP.

Kylteknik	Investeringskostnader ¹ [MSEK/MW]	COP ¹
Kompressionskylmaskin	4,04	3.5
Absorptionskylmaskin	4,51	0.7

¹ Jönsson och Magnusson (2008).

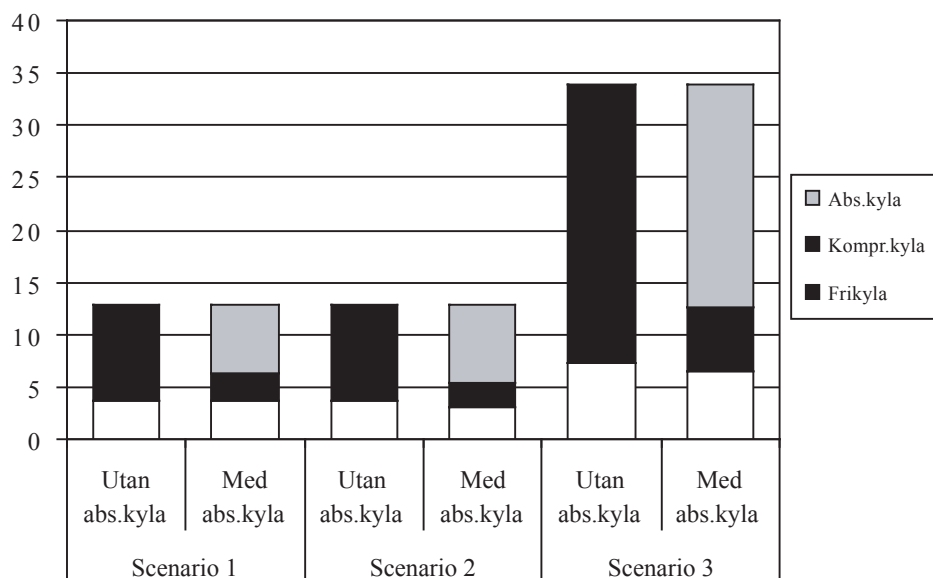
RESULTAT

Produktion av kyla

Optimeringarna av Örebro energisystem visar att det mest optimala sättet att tillgodose kylbehovet är en kombination av absorptionskylmaskiner, kompressionskyla och frikyla där absorptionskylmaskiner står för den största andelen av kylproduktion.

I scenario 1 och 2 där dagens kylbehov studeras, försörjer absorptionskylmaskiner cirka 50 % av det totala kylbehovet. När man tar hänsyn till ett högre europeiskt elpris i kombination med ett högre presumtivt kylbehov (scenario 3) produceras mer än 60 % av kylbehovet av absorptionskylmaskiner.

I både scenario 2 och 3, när elpriset är på en högre dygnsvarierad nivå, ersätter absorptionskylmaskiner både frikyla och kompressionskyla. Resultat från de olika scenarierna kan ses i figur 7.



Figur 7 Optimal produktion av kyla med hjälp av absorptionskyla, kompressionskyla och frikyla. Beskrivning av de olika scenarierna finns i tabell 1.

Systemkostnader och CO₂-emissioner

Systemkostnaden för samtliga scenarier motsvarar kostnaden att tillgodose det angivna värme- och kylbehovet inklusive intäkter från den el som produceras inom Örebro energisystem. Som beskrivits tidigare, omfattar systemkostnaden nuvärdet av alla kapitalkostnader för nya investeringar, underhålls- och driftskostnader, bränslekostnader, skatter samt avgifter för en tioårsperiod. Det betyder att investeringskostnader för nya absorptionskylmaskiner och kompressionskylmaskiner är inkluderade i alla scenarier enligt tabell 5.

När man introducerar absorptionskyla i fjärrkylsystemet i Örebro så minskar både systemkostnaderna och de globala emissionerna av CO₂ jämfört med när absorptionskyla inte finns med i systemet, se tabell 6.

Den extra elproduktionen som uppkommer i Örebro energisystem på grund av

fjärrvärmedriven absorptionskyla antas ersätta marginell elproduktion i kolkondenskraftverk i ett europeiskt perspektiv. Det förklarar de negativa emissionerna av CO₂ som visas i tabell 6. De globala emissionerna av CO₂ omfattar även lokala CO₂-utsläpp som sker i Örebro.

När man introducerar absorptionskyla i Örebro så minskar systemkostnaderna med 0,9 MSEK. Om man dessutom tar hänsyn till att elpriserna i Sverige med största trolighet kommer att anpassas till en högre europeisk nivå så blir minskningen 1,9 MSEK.

Med både ett högre kylbehov på 34 GWh per år och högre elpriser ökar fördelarna med att introducera absorptionskyla och systemkostnaderna minskar med över 5,9 MSEK. På samma sätt minskar de globala CO₂ emissionerna med över 11 000 ton per år i samma scenario 3.

Tabell 6 Effekter av att introducera absorptionskyla i Örebros energisystem. Reducerade systemkostnader, extra elproduktion och reduktion av globala CO₂ emissioner.

Scenario	Minskade systemkostnader [MSEK/år]	Elöverskott [GWh/år]	Globala CO ₂ -emissioner [ton/år]
1	-0,9	2.6	-2300
2	-2,1	4.7	-3900
3	-5,9	13.4	-11000

Kommentar till tabell 6. Den extra elproduktionen motsvarar summan av minskning av elanvändning samt den ökade elproduktionen i Örebros kraftvärmesystem.

DISKUSSION

Halten av koldioxid ökar i vår atmosfär och en omställning av energisystem mot mindre klimatpåverkan är en väsentlig del i omställningen mot mer hållbara energisystem. Ökande kylbehov, stigande elpriser i kombination med ett överskott av värme i de flesta svenska kraftvärmesystem gör att investering i absorptionskyla är ett mycket intressant val.

Svenska kraftvärmesystem har ofta ett kvittblivningsproblem av fjärrvärme sommartid. Att använda fjärrvärme för att producera kyla är idag ett mycket intressant sätt att tillgodose det ökande kylbehovet.

E.ON Örebro förutspår ökande kylbehov och de modifierade värmepumpar som idag producerar kyla måste bli ersatta. Resultatet från denna delstudie visar att det mest kostnadseffektiva sättet att producera kyla är en kombination av absorptionskyla, kompressionskyla och frikyla. Ett ökat framtida kylbehov i samband med de högre elpriserna verkar ytterligare gynna på absorptionskyla, med en optimal andel kyla från absorptionskylmaskiner på över 60 %.

När absorptionskyla introduceras i ett befintligt energisystem minskar systemkostnaderna och de globala emissionerna av koldioxid. När man tar hänsyn till ökat kylbehov i kombination med högre dygnsvarierade elpriser ökar incitamenten att investera i absorptionskyla då systemkostnaderna minskar med ca 6 MSEK per år och de globala emissionerna av CO₂ reduceras med 11 000 ton årligen.

Absorptionskylmaskiner är i denna studie centralt placerad för nyttjande av befintligt fjärrkylnät. Som diskuteras tidigare har andra studier behandlat en lokal placering av absorptionskylmaskiner där industrier med kylbehov var så belägna att det inte var realistiskt att ansluta dem till ett centralt nät.

Vid beräkning av systemkostanden ingår investeringskostnader för absorptionskylmaskiner medan ingen investeringskostnad är medtagen för de befintliga värmepumparna. Detta är gjort för att försöka återspegla ett verkligt scenario för E.ON Örebro vid ställningstagande om ny kylproduktion. Ett alternativt beräkningssätt är att helt bortse från investering i alla kylanläggningar, inklusive absorptionskylmaskiner. Detta skulle då ge en mer fördelaktig utgångspunkt för absorptionkyla än vad som modellerats i denna studie.

När fjärrvärmedriven absorptionskyla ersätter kompressionskyla i ett kraftvärmesystem minskar elanvändningen samtidigt som möjligheterna att producera el ökar. I ett europeiskt perspektiv och med kolkondens som marginell kraftkälla, kan den el som produceras i svenska kraftvärmesystem ersätta marginalproducerad el och därmed leda till minskad produktion i kolkondenskraftverk.

REFERENSER

- Ekoff, P. och Lund, J., 2006. Absorptionskyla i Linköpings energisystem – kompressorkyla vs absorptionskyla. LITH-IKP-EX—06/2369—SE. Examensarbete utfört vid avdelningen för energisystem, Institutionen för ekonomisk och industriell utveckling, Linköpings universitet.
- European Commission, 1999. Extern E – Externalities of Energy. Vol 10 National Implementation, EUR 18528.
- Gebremedhin, A. och Zinko, H., 2003. Co-operation between neighbouring district heating companies – in the light of energy system optimisation. Euro-Heat and Power Vol.32, No.11, pp. 34-41.
- Gebremedhin, A., 2003. Regional and Industrial Co-operation in District Heating Systems. Linköping Studies in Science and Technology, Doktorsavhandling 849, Linköpings universitet, Linköping.
- Henning, D., 1998. Cost minimization for local utility through CHP, heat storage and load management. International Journal of Energy Research Vol.22, No.8, pp. 691-713.
- Henning, D., 1999. Optimisation of Local and National Energy Systems: Development and Use of the MODEST Model. Linköping Studies in Science and Technology, Doktorsavhandling 559, Linköpings universitet, Linköping.
- IEO, 2005. International Energy Outlook 2005, DOE/EIA-0484.
- IPCC, 1996. IPCC guidelines for national greenhouse-gas inventories: reporting instructions. IPCC homepage: www.ipcc.ch.
- Jönsson, Y. och Magnusson, E., 2008. New possibilities with old technique – Feasibility study of absorption cooling in Örebro district cooling network. LiU-IEI-TEK-A-08/29--SE. Examensarbete utfört vid avdelningen för energisystem, Institutionen för ekonomisk och industriell utveckling, Linköpings universitet.
- Larsson, S. och Nilsson, M., 2009. Alternativa kylmetoder i kontorslokaler ur ett systemperspektiv – en studie av Stockholms energisystem. LiU-IEI-TEK-A-09/00532-SE. Examensarbete utfört vid avdelningen för energisystem, Institutionen för ekonomisk och industriell utveckling, Linköpings universitet.
- Melkersson, M. och Söderberg, S-O., 2004. Dynamiska elpriser – elprissättning på en integrerad europeisk elmarknad. LiTH-IKP-Ex-2114. Examensarbete utfört vid avdelningen för energisystem, Institutionen för ekonomisk och industriell utveckling, Linköpings universitet.
- Sjödin, J., 2003. Swedish District Heating Systems and a Harmonised European Energy Market – Means to Reduce Global Carbon Emissions. Linköping Studies in Science and Technology, Doktorsavhandling 795, Linköpings universitet, Linköping.
- Trygg, L. och Amiri, S., 2007. Absorption cooling in a European perspective – a case study from Norrköping. Applied Energy Vol.84, pp. 1319-1337.
- Uppenberg, S. et al., 2001. Miljöfaktaboken för bränslen. IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd, B 1334B-2. Stockholm.

INLEDNING

Som en följd av en tilltagande medvetenhet för utsläpp av växthusgaser och för antropogena klimatförändringar, i kombination med önskemål om ett minskat beroende av importerade fossila bränslen, är intresset för bioenergi idag större än någonsin. I januari 2008 presenterade Europeiska kommissionen sina mål för europeisk energipolitik för år 2020: utsläppen av koldioxid ska minska med 20 % jämfört med 1990 års nivå, 20 % av den energi som används inom EU ska komma från förnybara källor och den totala energiförbrukningen ska minska med 20 % (Europeiska kommissionen, 2008). Bioenergi är en flexibel energibärare som kan användas både inom värme-, el- och transportsektorn, och förväntas därför spela en avgörande roll för att kunna nå målen, i synnerhet för medlemsstater med stora biomassetillgångar, såsom Sverige.

Eftersom biomassa är en begränsad resurs är effektiv användning nödvändigt. Om målet är att maximera minskningen av CO₂-utsläpp är det i allmänhet mer kostnads-effektivt att använda biomassan i kraftvärmeverk eller i rena värmertilämpningar, än för produktion av biodrivmedel, vilket har visats av bland annat Azar et al. (2003) och Wahlund et al. (2004). De nämnda studierna visar dock också att antaganden om de omgivande systemen till ett visst bioenergisystem, till exempel gällande CO₂-avskiljningsteknik, spelar en avgörande roll för resultaten. Om målet istället primärt är att minska beroendet av importerad olja kommer bioenergi ha en given roll i transportsystemet (Gustavsson et al., 2007) eftersom alternativen är färre i transportsektorn än för el- och värmeproduktion. Att biodrivmedel är önskvärt ur politisk synpunkt märks till exempel genom EU:s biodrivmedelsdirektiv (Direktiv 2003/30/EG, 2003) samt i målen för 2020 där det förutom ovan nämnda mål även är uttalat att minst 10 % av energianvändningen inom transportsektorn ska utgöras av förnybar energi (Europeiska kommissionen, 2008).

Fjärrvärmesystem möjliggör högeffektivt utnyttjande av bioenergi och ger samtidigt en möjlighet för minskning av användningen av fossila bränslen för uppvärmningsbehov. Det mest framträdande exemplet på det första är förstås kraftvärme, vilket till exempel erkänns av Europaparlamentet som ett sätt att öka energisystems totalverkningsgrad och minska de globala CO₂-utsläppen (Direktiv 2004/8/EG, 2004). Under senare tid har intresset ökat för samproduktion av även andra energibärare i fjärrvärmesystemen, främst biodrivmedel men även exempelvis pellets. Samlokaliserad produktion av flera olika energibärare baserade på bioenergi benämns ofta *bioenergikombinat*. Bioenergikombinat kan grovt delas in i två olika huvudtyper: de som använder värme och de som har ett överskott av värme. Till den första kategorin hör kombinat med processer som till exempel jäsnings till etanol, rötning till biogas eller torkning för pelletstillverkning. Till den andra kategorin hör främst kombinat som innefattar förgasning av biomassa, till exempel för drivmedelsproduktion, eftersom förgasning medför att en relativt stor del av råvarans energiinnehåll återfinns som restvärme. I denna studie studeras energikombinat av den senare typen, med ett medelstort svenskt fjärrvärmesystem som fallstudie.

Syfte

Syftet med denna studie är att undersöka under vilka förutsättningar förgasningsbaserade bioenergikombinat kan utgöra framtida investeringsmöjligheter för en fjärrvärme-

leverantör, samt vilka nivåer på ekonomiska styrmedel som är nödvändiga för att göra förgasningstekniken konkurrenskraftig. Dessutom undersöks vilken effekt introduktion av förgasning av biomassa i fjärrvärmesystem kan ha på globala CO₂-utsläpp.

Som fall används Linköpings fjärrvärmesystem. Investeringen i energikombinatet jämförs dels med förgasningstillämpningar för elproduktion, dels med investering i konventionell förbränningsbaserad biokraftvärme. Studien genomförs för svenska förhållanden i ett medellångt tidsperspektiv (runt år 2025).

BAKGRUND

Bioenergi kombinat

Principen för bioenergi kombinat är integrerad och/eller samlokaliserad produktion av flera energibärare för att ge en ökad totalverkningsgrad. Ofta antas att energikombinatet är integrerat med ett fjärrvärmenät, men även integrering med industri, till exempel massa- och pappersindustri eller annan skogsindustri, är möjligt. Vid integrering med skogsindustri brukar vanligtvis benämningen bioraffinaderi användas, snarare än bioenergi kombinat. Syftet med energikombinat och bioraffinaderier är att uppnå samlokalisering- eller integreringsfördelar genom utbyten av såväl energiflöden (värme, ånga) som materialflöden (restprodukter, gemensam råvara). Dessutom kan fördelar i form av gemensam infrastruktur förekomma. Inom forskningsfältet industriell ekologi studeras effekterna av samlokaliserad och integrerad produktion, se till exempel Wolf och Karlsson (2007).

I studien ”Effektiv produktion av biodrivmedel” (Gode et al., 2008), som genomförts inom ramen för Svensk Fjärrvärmes forskningsprogram Fjärrsyn, ges en omfattande genomgång av olika typer av bioenergi kombinat med tillverkning av biodrivmedel samt pellets, integrerat med fjärrvärmesystem. I rapporten beskrivs ett antal olika tekniker för biodrivmedelsframställning, med en genomgång av integreringsmöjligheter och exempel på existerande anläggningar för varje teknik. Syftet med rapporten är att ge berörda aktörer ett underlag vid bedömningen av fördelar vid anläggning och drift av olika former av energikombinat. Studien anlägger ett fjärrvärmeperspektiv och visar på vilka former av kombinat som kan öka utnyttningstiden för befintliga eller planerade kraftvärmeanläggningar (kombinat med värmebehov, till exempel med jäsning, rötning eller torkning) och vilka kombinatformer som istället minskar värmeunderlaget för ett kraftvärmeverk i och med spillvärmeleverans (förgasningsbaserade kombinat). Det konstateras i studien att totalverkningsgraden vid biodrivmedelstillverkning ofta blir lägre än om biomassan istället används i konventionella kraftvärmeverk, men att ett bioenergi kombinat ur energinyttjandeperspektiv är att föredra framför fristående biodrivmedeltillverkning.

Värmeforsk har genomfört flera studier med beröring på kombinatområdet. I rapporten ”Bioenergi kombinat – tekniktrender, system och styrmedel” (Gode et al., 2007) redovisas exempelvis teknikalternativ och utvecklingsstatus för ett antal olika typer av kombinat, med analys av ett antal styrmedels inverkan samt intervjuer med berörda aktörer. Även rapporten ”Biobränslebaserade energikombinat med tillverkning av drivmedel” (Goldschmidt, 2005) belyser ett antal kombinattekniker, men med mer uttalat fokus på processteknikerna.

Förgasning av biomassa

Förgasning är termokemisk omvandling av kolföreningar, till exempel biomassa eller kol, till syntesgas, en energirik gas bestående av främst kolmonoxid, vätgas, koldioxid, metan och vatten, med mindre mängder högre kolväten samt föroreningar. Syntesgasens egenskaper och användningsområden skiljer sig beroende på vald förgasningsprocess, typ av förgasare och efterföljande gasrening och upparbetning. För en översikt, se till exempel (Ahrenfeldt et al., 2005; McKendry, 2002).

Förgasning av biomassa för med sig ett antal fördelar jämfört med konventionell

omvandlig genom förbränning. De främsta fördelarna är möjligheten till syntes av biodrivmedel eller andra kemikalier, samt möjligheten till högre elverkningsgrad genom elproduktion i kombi-cykel istället för ångcykel. Ett antal olika produkter med användningsområden inom transportsektorn kan syntetiseras från förgasad biomassa. Exempel är Fischer-Tropsch diesel (FTD), även benämnd syntetisk diesel, metanol, dimetyleter (DME) och syntetisk naturgas (SNG). Idag finns ett antal kommersiellt tillgängliga förgasningsapplikationer på marknaden. Dessa är dock i regel små och av relativt låg teknisk komplexitet. De storskaliga anläggningar som skulle kunna utgöra grunden i ett förgasningsbaserat bioenergi-kombinat är fortfarande på utvecklings- eller demonstrationsstadiet med ett antal tekniska hinder att överkomma innan de kan bli kommersiellt tillgängliga. Exempel på tekniska svårigheter är tjärbildning, gasrening, trycksatt bränsleinmatning, tillgänglighet och hanteringen av råvaror av skiftande ursprung och med varierande kvalitet. Uppskalning och höga kapitalkostnader är också hinder som måste överkommas. För en översikt över pågående projekt relaterade till förgasning av biomassa, se exempelvis (Gode et al., 2008; Goldschmidt, 2005; Hofbauer och Knoef, 2005).

Som nämndes i inledningen har de förgasningsbaserade energikombinatsprocesserna ett betydande värmeöverskott som, om det inte tas till vara, sänker processens totalverkningsgrad väsentligt. Ett antal studier har gjorts över hur värmeöverskottet kan användas i ett fjärrvärmesystem, varav några nämns här. I projektet Biokombi Rya (Börjesson och Ahlgren, 2008b; CEC, 2007; Fahlén och Ahlgren, 2009) har alternativ för olika nivåer av integrering av förgasning av biomassa med en existerande NGCC-anläggning (naturgaskombi-cykel) studerats, med produktion av både el och biodrivmedel bland alternativen. I studierna visas bland annat att lönsamheten är starkt beroende av fjärrvärmesystemets produktionsmix, prisrelationen mellan biomassa och fossilbränslen och fjärrvärmeleverantörens kostnad för olika ekonomiska styrmedel. Studierna visar också att de globala utsläppen av CO₂ kan minskas vid introduktion av förgasning av biomassa i fjärrvärmesystem. Marbe et al. (2004) jämför förgasningsbaserad kraftvärmeproduktion i kombi-cykel (BIGCC, biomass integrated gasification combined cycle) med konventionell biokraftvärme och finner att BIGCC har en ekonomisk fördel när styrmedlen för förnybar el är höga, men att det finns nackdelar i form av låg driftflexibilitet och hög minimilast. Parametrar som visat sig ha avgörande betydelse för lönsamheten av storskalig förgasning i fjärrvärmesystem är storleken på värmelasten, möjlig årlig utnyttjningstid och dellastegenskaper (Dornburg och Faaij, 2001; Fahlén och Ahlgren, 2009; Harvey, 2000; Marbe et al., 2004).

Ekonomiska styrmedel som påverkar fjärrvärmesystemet

I den här studien inkluderas tre existerande ekonomiska styrmedel med potentiell inverkan på fjärrvärmesystemets drift och lönsamhet: energibeskattning, elcertifikat och CO₂-utsläppsrätter. Dessutom inkluderas stöd för biodrivmedel.

Existerande styrmedel

Energibeskattningen i Sverige består idag av energiskatt, CO₂-skatt, svavelskatt och en kväveoxidavgift. Skattenivån varierar beroende på bränsle och användningsområde,

med skattenedsättning för bland annat kraftvärmeproduktion och industrin. I den här studien används 2008 års skattenivåer, med skattenedsättning som förväntad för 2010 (nedsättning av CO₂-skatten för kraftvärme- och industrianläggningar som omfattas av CO₂-handelssystemet) (Prop 2007/08:1; Skatteverket, 2008).

EU:s handelssystem för CO₂-utsläpp startade 2005 och är en nyckelkomponent i EU:s klimatpolitik. I den här studien antas att CO₂-handeln fortfarande bedrivs vid tidpunkten studien avser (2025). CO₂ från förnybara energibärare som biomassa antas vara fortsatt undantagna från utsläppshandeln. Det antas också att transportsektorn är fortsatt utanför handelssystemet.

Elcertifikatssystemet, ett marknadsbaserat stödsystem för förnybar elproduktion, infördes 2003 och kommer att finnas kvar till 2030 (Sveriges Riksdag, 2003). Systemet innebär att elproducenterna får ett certifikat för varje MWh förnybar el som produceras. I och med kvotplikten som innebär att alla användare (elintensiv industri undantaget) måste köpa certifikat motsvarande en viss del av elanvändningen, skapas en efterfrågan på elcertifikaten vilket ger dem ett ekonomiskt marknadsvärde. Kvoten varierar från år till år.

Stöd för biodrivmedel

Utvecklingen och implementeringen av effektiva styrmedel för biodrivmedel utgör en stor utmaning. Ett fungerande styrmedel måste kunna skapa långsiktiga stabila förhållanden för drivmedelstillverkare såväl som slutanvändare, samtidigt som det är önskvärt att det inte är alltför belastande för statsfinanserna. Idag är det dominerande ekonomiska styrmedlet skattenedsättning, vilket har visat sig framgångsrikt vad gäller att skapa en marknadsnisch för biodrivmedel. Det är dock kostsamt för staten och ses inte som en långsiktig lösning. Ett antal alternativa stödsystem har föreslagits, däribland kvotplikt (finns redan i ett antal EU-länder), handlingsbara certifikat liknande elcertifikaten, och feed-in-tariffer. För en diskussion om styrmedel för biodrivmedel, se till exempel (Energimyndigheten, 2007; Hansson et al., 2008; Wiesenthal et al., 2009).

I den här studien antas att biodrivmedel i framtiden kommer att belastas med energiskatt men inte med CO₂-skatt medan fossila drivmedel är fortsatt beskattade med energi- såväl som CO₂-skatt. Liksom för övriga energiskatter används 2008 års skattenivåer. För att kunna bedöma vilken nivå på ekonomiskt stöd som krävs för att produktion av biodrivmedel i ett energikombinat ska vara konkurrenskraftigt gentemot elproduktion i ett fjärrvärmesystem, antas att ett stödsystem för biodrivmedel existerar. I denna studie benämns detta stöd *biodrivmedelscertifikat* men det ska poängteras att stödet inte nödvändigtvis måste vara i form av certifikat, utan lika gärna skulle kunna utgöras av till exempel en feed-in-tariff eller skattelättnad. Den exakta utformningen av ett framtida stödsystem för biodrivmedel ryms dock inte inom ramen för detta projekt.

STUDERAT SYSTEM

Fallstudie – Linköping

Som fallstudie för att studera lönsamheten för förgasningsbaserade energikombinat för fjärrvärmeleverantörer har Linköpings fjärrvärmesystem använts. Det kommunal-ägda energibolaget, Tekniska Verken i Linköping AB levererar, förutom fjärrvärme till bostäder, även värme och processånga till ett antal industrier, samt fjärrkyla. Den årliga värmeproduktionen uppgår till ca 1700 GWh, med en topplast på ca 500 MW (siffror från 2007). Fjärrkyleproduktionen uppgår till ca 30 GWh årligen, med en maximal kyl-last av 30 MW. Runt 60 % av fjärrkylan består av fjärrvärmedriven absorptionskyla, resten utgörs av frikyla och kompressorkyla.

Basproduktionen i fjärrvärmesystemet utgörs av avfallsförbränning. Gärstadverket, där avfallsförbränningen sker, består av två delar. Den nya delen är en modern kraftvärmeanläggning med rökgaskondensering. Är värmebehovet högt kan ångturbinen förbikopplas och ångan kondenseras direkt mot fjärrvärmenätet. I den gamla delen av Gärstadverket är ångdata för låga för att elproduktion ska kunna ske direkt. För att kunna producera el har Tekniska Verken konverterat anläggningen till hybriddrift, genom installation av en oljeeldad gasturbin. Avgaserna från gasturbinen används för att överhettas ångan från avfallsförbränningen för att på så sätt höja ångdata. Ångan passerar därefter en ångturbin som är kopplad till samma generator som gasturbinen. Det är inte möjligt att producera el i gamla Gärstad om inte gasturbinen är i drift. Liksom i nya Gärstad är det möjligt att kringgå ångturbinen för direktvärmeproduktion genom kondensering av hela ångmängden. När gasturbinen ursprungligen installerades var oljepriserna betydligt lägre än idag jämfört med elpriserna, vilket gjorde hybriddriften lönsamt. I dagsläget, med höga oljepriser, används gasturbinen dock sällan utan gamla Gärstad producerar främst direktvärme.

Utöver avfallsförbränningen finns ytterligare ett stort kraftvärmeverk i systemet. Detta verk har tre pannor som eldas med olika bränslen – en med trä och plast, en med kol och gummi och en med olja. De tre pannorna är kopplade till en gemensam ångstam med tre turbiner, varav alla tre kan köras i mottrycksdrift mot fjärrvärmenätet och en dessutom kan köras i kondensdrift med Stångån som kylare. Liksom i Gärstadverket är det också möjligt att direktkondensera ångan för produktion av enbart värme. I systemet finns också ett antal hetvattenpannor, med trä, olja eller el som bränsle, samt två dieselmotorer som kan köras i mottrycksdrift. För att öka elproduktionen under sommaren finns möjlighet att kyla framledningen, dels mot Stångån, dels i kyltorn. Kylmöjligheten används under ca 3500 timmar per år.

Inom den närmaste 20-årsperioden kommer Linköpings fjärrvärmesystem att genomgå vissa förändringar. Både kol- och träpannan i kraftvärmeverket kommer till exempel sannolikt tas ur drift eftersom de kommer att nå sin maximala livslängd. Vidare ser Tekniska Verken en potentiell årlig ökning av värmebehovet om ca 1 %, medan värmebehovet för absorptionskyla beräknas öka med ca 3 % årligen. Detta ger ett värmebehov kring år 2025 på ca 1900 GWh, med en förändrad lastprofil i och med något högre sommarlast. Kombinationen av anläggningar som tas ur drift och en ökad efterfrågan på värme gör att investeringar i ny värmeproduktionskapacitet kommer att vara nödvändiga.

Investeringsmöjligheter

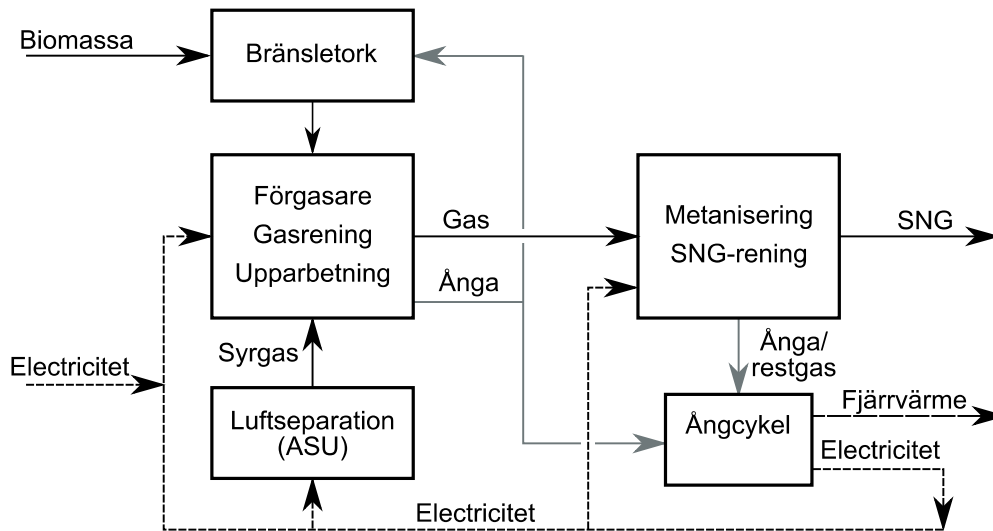
Som jämförelse för en eventuell investering i ett energikombinat för värmeproduktion beaktas även andra investeringsmöjligheter, både förgasnings- och förbränningsbaserade. Valet av förgasningsapplikationer att inkludera gjordes utifrån offentligt tillgängliga data. Tillgängligheten av detaljerade data för förgasning med fjärrvärmeleverans befanns dock vara låg, vilket begränsade urvalet. Två storskaliga, ännu ej kommersiella, förgasningsapplikationer valdes ut, tillsammans med två mindre applikationer som i dagsläget redan är kommersiellt tillgängliga eller nära kommersialisering, samt förbränningsbaserad (storskalig) kraftvärme.

Den praktiska övre gränsen för bränsleeffekt uppskattas vara ca 400 MW, vilket är i linje med uppskattningar gjorda av till exempel Dornburg och Faaij (2001) och Marbe et al. (2004). Bränslet för samtliga nya anläggningar antas vara skogsflis med ett energiinnehåll av 2,6 MWh/ton. Som redan nämnts har dellastegenskaper identifierats som en parameter med avgörande betydelse för lönsamheten för storskalig förgasning. Här antas lägsta möjliga last vara 60 % av bränsleeffekten för förgasningsapplikationer och 50 % av bränsleeffekten för konventionell biokraftvärme. Verkningsgraden antas i denna studie vara densamma vid dellast som vid fullast. Tekniska data och investeringskostnader hittas i Bilaga 1.

De fem investeringsmöjligheter som inkluderas i studien är:

Bioenergi-kombinat (storskalig förgasning)

I kombinatet samproduceras SNG (syntetisk naturgas, dvs. metan), el och fjärrvärme. Anledningen att valet föll på just SNG är att det studerade fjärrvärmesystemet, Linköping, redan har ett väl utvecklat biogassystem (även uppgraderad biogas består av metan). Det ansågs därför som sannolikt att man vid introduktion av storskalig bi drivmedelsproduktion skulle välja ett drivmedel som kan integreras med befintlig infrastruktur, snarare än ett nytt drivmedel. En process framtagen inom projektet Biokombi Rya används för studien (CEC, 2007). I den beaktade processen förgasas torkad träflis i en trycksatt, syrgasblåst fluidbäddsförgasare, följt av högtemperaturfiltrering, katalytisk reform, vattengasshift och metanisering. Restgas från metaniseringen används för elproduktion tillsammans med ånga från kylningen av bland annat förgasaren. Den producerade elen är dock inte tillräcklig för att täcka processens behov, varför el även måste köpas in från nätet. Processen visas översiktligt i figur 1.



Figur 1 Det studerade bioenergikombinatet.

BIGCC kraftvärme (storskalig förgasning)

Den andra storskaliga applikationen är elproduktion i kombicykel (BIGCC, biomass integrated gasification combined cycle). Processen har demonstrerats framgångsrikt i Värnamo under 1990-talet (Hofbauer och Knoef, 2005; Sydkraft AB, 2001). I processen förgasas torkad träflis i en trycksatt, luftblåst fluidbäddsförgasare följt av högtemperaturfiltrering. Alfavärdet är betydligt högre i kombicykelprocessen än i en konventionell ångcykel, medan totalverkningsgraden är lägre eftersom rökgaskondensering inte kan tillämpas på grund av det låga vatteninnehållet i rökgaserna.

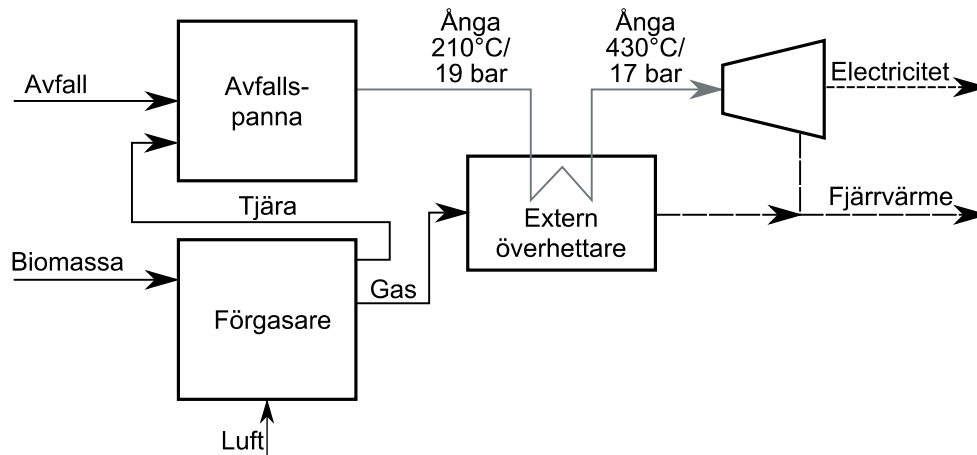
BIGGE kraftvärme (små/mellanskalig förgasning)

I BIGGE-processen (biomass integrated gasification gas engine) förbränns den producerade gasen inte i en gasturbin utan i en gasmotor, vilket ger en betydligt lägre elverkningsgrad. Ett antal olika förgasningsprocesser med efterföljande gasmotor har demonstrerats. För denna studie valdes den process som demonstrerats i Güssing, Österrike, då skalområdet bedömdes som lämpligt (8-50 MW). I processen förgasas träflis i en atmosfärisk dualbäddsförgasare med ånga som förgasningsmedium. Processen har demonstrerats med framgång och kan anses vara nära kommersialisering. Indata från (Hofbauer et al., 2003; Pröll et al., 2007; Rauch, 2008).

WasteBoost (små/mellanskalig förgasning)

Den andra små- eller mellanskaliga förgasningsprocessen som studerats är den så kallade WasteBoostprocessen som utvecklats av Babcock & Wilcox Vølund i Danmark. Processen används för att öka ångdata från avfallsförbränning och är delvis specialanpassad till gamla Gärstad. Träflis förgasas i en fastbäddsförgasare (36 MW bränsle) varefter gasen förbränns och används för överhettning av ångan från avfallsförbränningen, vilket möjliggör elproduktion, något som annars inte är möjligt i den gamla delen av Gärstadverket. Processen visas översiktligt i figur 2. WasteBoost kan anses vara mycket nära kommersialisering. I den här studien antas den externa överhettaren ersätta lösningen

med gasturbin som beskrivs i föregående avsnitt. Eftersom avfallspannan och ångturbinen redan finns blir investeringskostnaden givetvis betydligt lägre än vad som annars skulle vara fallet. Indata har erhållits från (Kreij och Bennstam, 2008; Lundtorp, 2008).



Figur 2 WasteBoostprocessen.

Biokraftvärme (förbränningsbaserad)

Som referensteknik inkluderas state-of-the-art konventionell ångcykelbaserad biokraftvärme med rökgaskondensering. Data från (Hansson et al., 2007).

METOD OCH INDATA

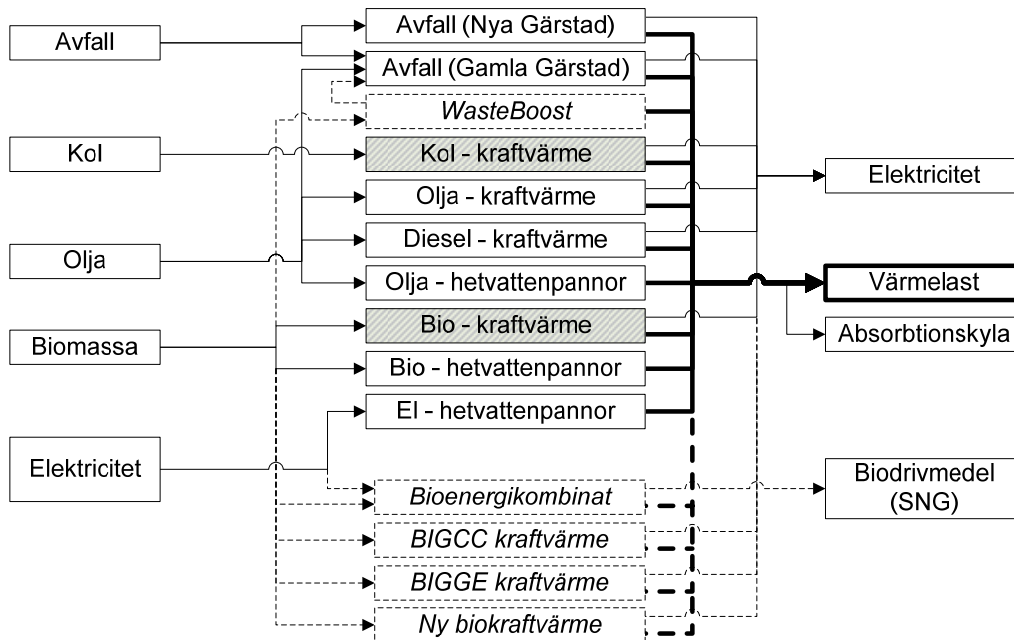
För att utvärdera den framtida lönsamheten för energikombinat och andra förgasningsbaserade tekniker i det studerade fjärrvärmesystemet används en optimeringsmodell. Modellen representerar det framtida fjärrvärmesystemet i Linköping, där kraftvärmeverkskatterna tagits ur drift och värmelasten ökat. Ett antal olika scenarier studeras för att undersöka hur olika parametrar, till exempel bränslepriser och styrmedel, inverkar på resultatet. Utöver ekonomisk prestanda för de studerade teknikerna studeras även effekter på globala CO₂-utsläpp.

Optimeringsmodell

För att modellera Linköpings fjärrvärmesystem används optimeringsverktyget reMIND (Method for analysis of INDustrial energy systems). reMIND är ett verktyg som baseras på blandad heltalsoptimering och som används för att optimera dynamiska energisystem. reMIND har tidigare använts för att analysera till exempel skogsindustrier (Bengtsson et al., 2002; Karlsson och Wolf, 2008) och samverkan mellan industri och fjärrvärmesystem (Jönsson et al., 2008; Klugman et al., 2008). I reMIND används en flexibel tidsindelning, för att kunna ta hänsyn till fluktuationer i exempelvis priser eller värmelast. När modellen körs skapas ett antal ekvationer som löses med hjälp av en kommersiell lösare, i det här fallet CPLEX.

I reMIND-modellen över Linköpings fjärrvärmesystem (figur 3) inkluderas både existerande produktionsanläggningar och nya investeringsmöjligheter. Anläggningarna beskrivs med bland annat maxkapacitet, verkningsgrader, alfavärde, minimilast och avställningsperiod. Modellen körs över ett år, indelat i 29 tidssteg. För var och en av vintermånaderna (november-mars) modelleras tre tidssteg per månad: (1) dagar, (2) nätter och helger och (3) toppdygn. För resten av året modelleras två tidssteg per månad: (1) dagar och (2) nätter och helger.

Modellens mål är att minimera den årliga systemkostnaden för ett givet värme- och ångbehov som måste mötas. Detta görs genom att i varje tidssteg välja de bästa alternativen vad gäller nya investeringar och drift av befintliga och nya anläggningar. I systemkostnaden ingår kostnader för investeringar, bränsle, elektricitet och underhåll, liksom intäkter från el- och drivmedelsförsäljning (inklusive certifikat). Investeringskostnader diskonteras med hjälp av annuitetsmetoden. I den här studien används en kalkylränta på 12 % och en ekonomisk livslängd om 20 år. Resultaten från optimeringskörningarna indikerar vilka investeringar som är lönsamma, samt hur existerande och nya anläggningar ska köras för att minimera systemets årliga kostnad.



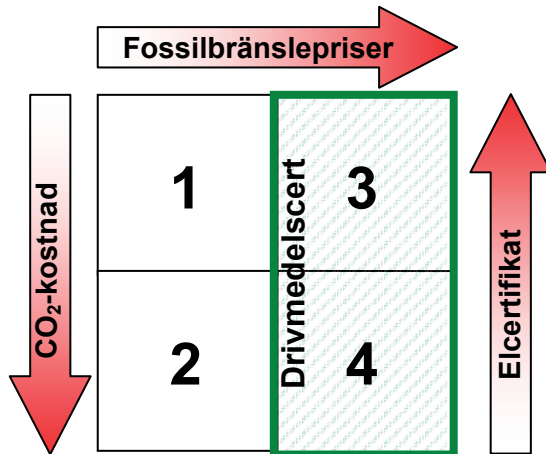
Figur 3 Översikt över reMIND-modellen över Linköpings fjärrvärmesystem. Streckade rutor med kursiv text indikerar investeringsmöjligheter. Skuggade rutor visar anläggningar som kommer att tas ur drift och därför inte inkluderas i modellkörningarna. Värmebehovet driver modellen, vilket indikeras av feta linjer.

Studerade scenarier

Fem olika scenarier – fyra energimarknadsscenarier och ett jämförelsesscenario för 2008 – används för att analysera effekten av variationer i exempelvis bränslepriser och ekonomiska styrmedel. Studien görs ur ett medellångt tidsperspektiv (ca 2025) för att representera det framtida fjärrvärmesystemet som beskrivits i tidigare avsnitt.

Energimarknadsscenarierna för 2025 är baserade på olika antaganden om framtida nivåer på energipriser och ekonomiska styrmedel, med två olika nivåer på fossilbränslepriser och två olika nivåer på CO₂-avgift respektive elcertifikat. Elcertifikaten antas vara låga vid hög CO₂-kostnad och vice versa (Tolonen et al., 2006). Vid höga oljepriser antas det att intresset för biodrivmedel är stort och att det därför finns ekonomiska styrmedel för biodrivmedel, här antagna vara i form av certifikat. För en mer utförlig beskrivning av hur scenarierna är framtagna och vilka antaganden som gjorts hänvisas till Difs et al. (2008) och Axelsson et al. (2009).

Energimarknadsscenarierna kan ses som hörnstenar för möjliga framtida utvecklingar av energimarknaden och utgör en form av känslighetsanalys av framtida energikostnader. I figur 4 ges en schematisk översikt över de fyra energimarknadsscenarier som används i scenario 1-4. Som jämförelse har även ett scenario med priser och ekonomiska styrmedel för första kvartalet 2008 utvärderats. En fullständig redogörelse för vilka nivåer på energipriser och styrmedel som använts i de fem scenarierna hittar man i Bilaga 2.



Figur 4 Översikt över energimarknadsscenarierna för 2025 som används i scenario 1-4. Scenarierna finns beskrivna övergripande i texten och mer utförligt i Bilaga 2 och i (Difs et al., 2008).

Varje scenario jämförs med ett referensscenario där investering i förgasningsteknik inte är möjligt, men där det är möjligt att investera i ett nytt biokraftvärmeverk för att kompensera för de pannor som tagits ur drift och för det ökade värmebehovet. Varje referensscenario har samma nivåer på priser och styrmedel som sitt respektive förgasningssscenario.

Utvärdering av brytpunkter för olika ekonomiska styrmedel

För att utvärdera vilka nivåer på olika ekonomiska styrmedel som är nödvändiga för att storskalig förgasning ska vara konkurrenskraftigt i det studerade fjärrvärmesystemet genomförs modellkörningar där ett styrmedel i taget varieras inom respektive energimarknadssscenario. Genom upprepade körningar kan brytpunkterna där den mest lönsamma investeringen förändras, identifieras.

För att identifiera brytpunkten för bioenergi kombinatet varieras nivån på drivmedelscertifikat, med övriga parametrar konstanta. Eftersom elcertifikatsystemet kommer att vara fortsatt aktivt vid det tidsperspektiv som studeras är elcertifikat inkluderade när drivmedelscertifikatet varieras (Tabell II, Bilaga 2). När däremot elcertifikatnivån varieras för att identifiera brytpunkten mellan elproduktion i BIGCC och konventionell elproduktion sätts drivmedelscertifikatet till noll i samtliga scenarier. Detta motsvarar en basnivå där det nuvarande stödet i form av skattelättnad antas ha tagits bort.

Känslighetsanalys

Som har beskrivits utgör energimarknadsscenarierna en form av känslighetsanalys för bränsle- och styrmedelskostnader. För att analysera effekten av andra antaganden med stor inverkan utförs även ytterligare känslighetsanalys i form av:

- Värmelasten antas vara oförändrad från dagens last.
- Kraftvärmeverkskvarnorna antas vara kvar i drift, både med dagens och med den ökade framtida värmelasten.

- Ingen kylmöjlighet antas finnas.
- Ökad verkningsgrad och sänkt investeringskostnad för BIGGE.
- Ökade investeringskostnader för storskaliga fösgasningsanläggningar vid analysen av brytpunkter för styrmedel.

Utvärdering av CO₂-effekt

Vid utvärderingen av potentialen för att minska globala utsläpp av fossilt CO₂ har antagits att energi- och materialflöden till eller från det lokala fjärrvärmesystemet orsakar en förändring i det omgivande energisystemet. Användning av bränslen i fjärrvärmeanläggningarna ger upphov till lokala CO₂-utsläpp, medan produkterna från anläggningarna (biodrivmedel och el) ersätter fossilbaserad el och drivmedel, vilket leder till en minskning av de globala utsläppen. De resulterande årliga globala CO₂-utsläppen E_{global} beräknas enligt:

$$E_{global} = E_{local} - (F_{el}N_{el} + F_{SNG}N_{SNG})$$

där E_{local} är de faktiska årliga utsläppen från drift av fjärrvärmeanläggningarna och F_{el} och F_{SNG} är CO₂-utsläppsfaktorer för ersatt fossilbaserad el respektive drivmedel (se tabell 1). N_{el} och N_{SNG} är den årliga produktionen av el respektive SNG. Energimarknadsscenarioerna har olika marginalteknik för elproduktion beroende på bränsle- och utsläppsrättspriser i respektive scenario, vilket ger olika CO₂-utsläppsfaktor i olika scenarier. För SNG har antagits att gasen används i gashybridfordon med en bränsleförbrukning av 39 kWh/100 km som ersätter bensinhybrider med CO₂-utsläpp på 120 g/km.

Tabell 1 Använda CO₂-utsläppsfaktorer (kg CO₂/MWh).

Scenario	Scenario				
	2008	1	2	3	4
Olja	295				
Kol	340				
Avfall ^a	90				
Biomassa	0				
Elektricitet	723 ^b	723 ^b	136 ^c	723 ^b	374 ^d
SNG	310				

^a CO₂-utsläpp från fossila fraktionen av avfallet.
^b Kolkondens, elverkningsgrad 0,47.
^c Kolkondens med CO₂-avskiljning, elverkningsgrad 0,35.
^d Naturgaskombicycle, elverkningsgrad 0,58.

Indata nya anläggningar

Investeringsmöjligheterna för fjärrvärmeleverantören beskrevs i ett tidigare avsnitt. Samtliga anläggningar utom WasteBoost antas vara skalbara med oförändrade verk-

ningsgrader över hela skalintervallet. Antaget skalintervall, verkningsgrader, och investeringsdata hittas i Bilaga 1. Investeringskostnader skalas med hjälp av det generella sambandet:

$$\frac{C}{C_{grund}} = \left[\frac{S}{S_{grund}} \right]^R$$

där C och S är investeringskostnad respektive anläggningskapacitet (bränsleeffekt) för den nya anläggningen och C_{grund} och S_{grund} är investeringskostnad respektive kapacitet för grundfallet. R är uppskalningsfaktorn som här antas vara 0,7 för alla anläggningar.

RESULTAT

Nya investeringar

Optimeringsmodellen väljer de mest lönsamma alternativen vad gäller nya investeringar (storlek och drift) och drift av befintliga anläggningar. Med två baspannor tagna ur drift är alternativet till nyinvesteringar drift av dyra anläggningar, främst oljepannor, vilket gör nyinvesteringar lönsamma.

Bioenergikombinatet väljs som primärinvestering i alla scenarier med styrmedel för biodrivmedel (skattelättnad i 2008-scenariot och certifikat i scenario 3 och 4), medan BIGCC endast väljs i scenariot med höga elcertifikat och låga biobränslepriser (scenario 1). WasteBoost byggs i scenarierna med relativt låga elpriser och höga elcertifikat (2008-scenariot samt scenario 1 och 3), eftersom höga elpriser i kombination med låga elcertifikat gör drift av gasturbinen mer lönsam än investering i WasteBoost. I scenario 2 är elcertifikaten för låga för att ge investering i BIGCC eller WasteBoost och istället investeras i konventionell biokraftvärme. BIGGE väljs inte som investering i något scenario. I samtliga referensscenarier väljer modellen att investera i biokraftvärme.

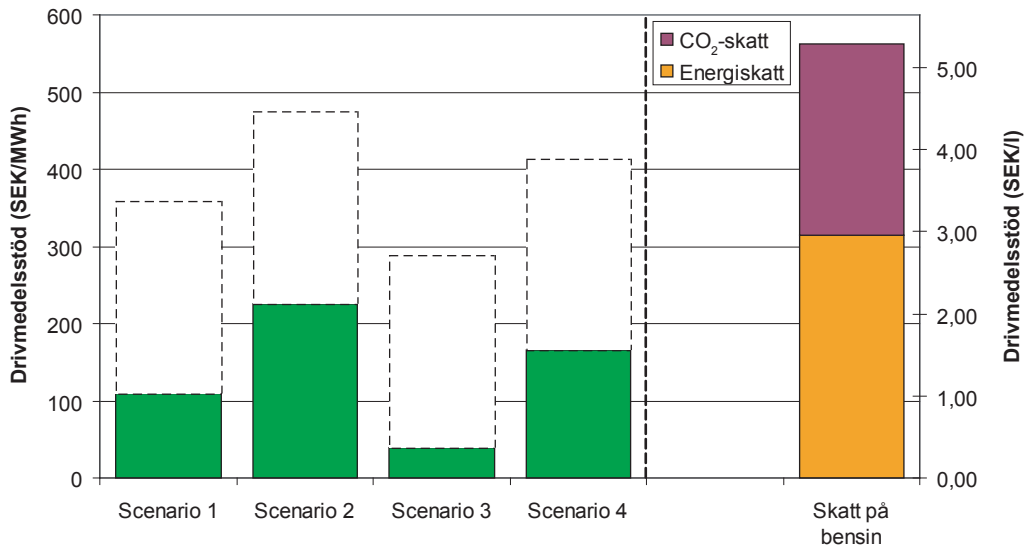
Detaljerade uppgifter om nyinvesteringar för de olika scenarierna (typ, storlek, årlig utnyttjningstid) finns redovisade i Bilaga 3, tabell III.

Brytpunkter för olika ekonomiska styrmedel

För att utvärdera vilken nivå på stöd som kan komma att krävas i framtiden för att investering i biodrivmedelsproduktion ska vara konkurrenskraftigt gentemot elproduktion, varierades intäkten för drivmedel i de fyra energimarknadsscenarierna. På så sätt kunde brytpunkten där modellen byter typ av investering identifieras. I figur 5 visas vilken nivå på stöd för biodrivmedel som krävs i de studerade scenarierna för att biodrivmedelsproduktion ska slå ut elproduktion (gröna staplar). Som beskrivits har vi antagit att biodrivmedel i framtiden kommer att belastas med energiskatt på samma nivå som fossila drivmedel men att de är fortsatt befriade från CO₂-skatt. De vita streckade staplarna visar hur stor befrielsen från CO₂-skatt är.

Ur figur 5 kan utläsas att i scenario 2 och 4 krävs ett högre stöd för att göra biodrivmedel lönsamt jämfört med i scenario 1 och 3. Den främsta anledningen är att biobränslekostnaden är högre i scenario 2 och 4, vilket påverkar värmeproduktionskostnaden, både i energikombinatet och i de elproducerande anläggningarna (biokraftvärme och BIGCC). Eftersom energikombinatet har en lägre värmeverkningsgrad än elproduktionsanläggningarna påverkas det mer, och det krävs därför högre stöd vid ett högre biobränslepris. Ur figuren kan också utläsas att det behövs något lägre stödnivå i scenarierna med högre fossilpriser (3 och 4). Detta beror på att ett högre oljepris medför ett högre pumppris på biodrivmedel och därmed en lägre stödnivå.

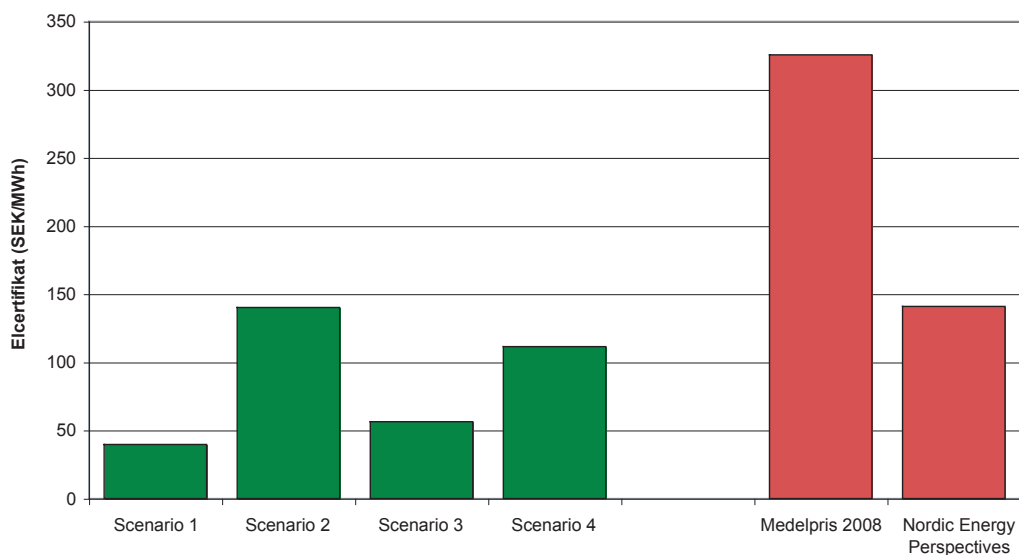
I figur 5 visas som jämförelse även dagens skattenivåer för fossila drivmedel, vilket motsvarar dagens skattereduktion för biodrivmedel. Som framgår av figuren är de nödvändiga stödnivåerna, utöver befrielsen från CO₂-skatt, för lönsamhet i biodrivmedelsproduktion för samtliga energimarknadsscenarier lägre än dagens energiskatt för bensin. Det totala stödet, CO₂-skattebefrielsen inkluderad, uppgår till mellan 51 och 84 % av dagens totala skattebefrielse. Då antas, som har beskrivits, även en viss nivå av stöd till förnybar elproduktion i form av elcertifikat.



Figur 5 De gröna staplarna visar den nödvändiga nivån på biodrivmedelsstöd för att biodrivmedelsproduktion ska löna sig gentemot elproduktion i de fyra energimarknadsscenerierna. I studien har antagits att biodrivmedel dessutom är fortsatt befriade från CO₂-skatt, vilken visas som vita streckade staplar. I figuren visas som jämförelse även dagens stödnivå i form av skattelättnad.

För att på samma sätt utvärdera vilken nivå på stöd för produktion av förnybar el som krävs för att göra förgasningsbaserad kraftvärme konkurrenskraftig mot konventionell biokraftvärme, varierades elcertifikatpriset i de fyra energimarknadsscenerierna. I dessa körningar sattes nivån på drivmedelscertifikatet till noll, för att kunna hitta brytpunkten mellan de två elproduktionsslagen utan störning från energikombinatet. Resultatet visas i figur 6. Liksom för drivmedelsstöd krävs högre elcertifikatpris i scenarierna med högre biobränslepriser (scenario 2 och 4), eftersom BIGCC-anläggningen har lägre värmeleverans relativt bränsleeffekten än den konventionella kraftvärmeanläggningen.

I figuren visas också dagens elcertifikatnivå samt en uppskattning av den framtida nivån på elcertifikat gjord inom ramen för projektet Nordic Energy Perspectives (Tolonen et al., 2006). Som framgår av figuren är den nödvändiga nivån lägre än dagens elcertifikatpriser, och i paritet med den nivå som uppskattats i Nordic Energy Perspectives.



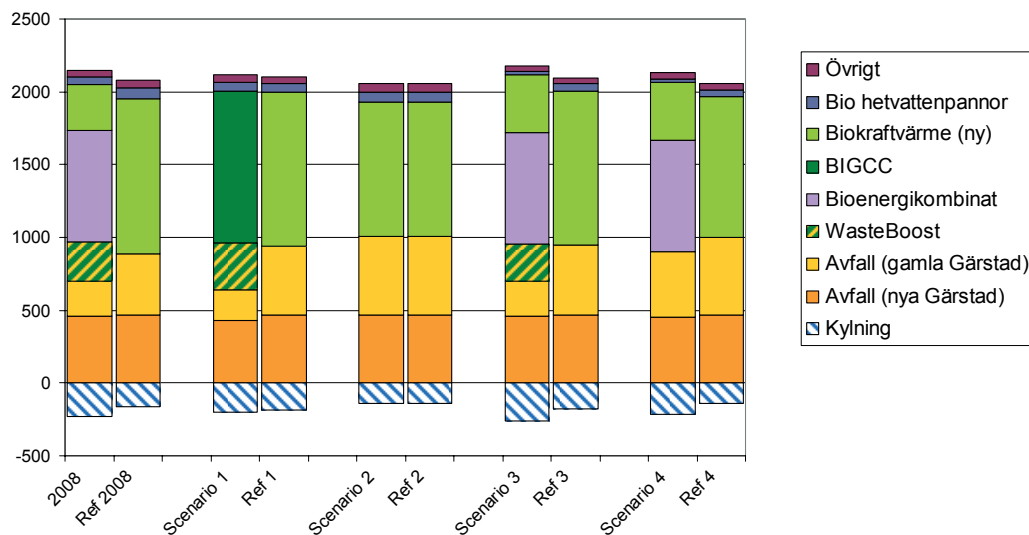
Figur 6 Nödvändig nivå på elcertifikat för att förgasningsbaserad elproduktion ska löna sig gentemot konventionell biokraftvärme (gröna staplar). I figuren visas även medelpriset på elcertifikat 2008 (SKM, 2009) samt en uppskattning av den framtida nivån på elcertifikat, gjord inom ramen för projektet Nordic Energy Perspectives (Tolonen et al., 2006) (lila staplar).

Värmeproduktion

Den årliga värmeproduktionen uppdelat på produktionsslag visas i figur 7. I figuren visas även värmeproduktionen för referensscenarierna. Produktionsmixen varierar mellan de studerade scenarierna beroende på vilka investeringar som görs. Som framgår av figuren räcker värmen från energikombinatet inte för att täcka värmebehovet och istället för att köra dyr toppproduktion (främst olja) väljer modellen att även investera i konventionell biokraftvärme. Hade intäkterna från grön el varit lägre hade det varit mer lönsamt att köra toppproduktion än att ta ytterligare nyinvesteringar.

Intressant nog konkurrerar värme från energikombinatet och BIGCC-anläggningen i viss mån ut värme från till och med avfallsförbränning, trots den negativa kostnaden för avfallsbränslet, eftersom intäkterna från förädlingsprodukterna (SNG respektive el) är så höga. Eftersom en viss mängd avfall dock måste förbrännas varje år är värmeproduktionen från avfallsförbränningen relativt konstant över scenarierna, liksom över referensscenarierna.

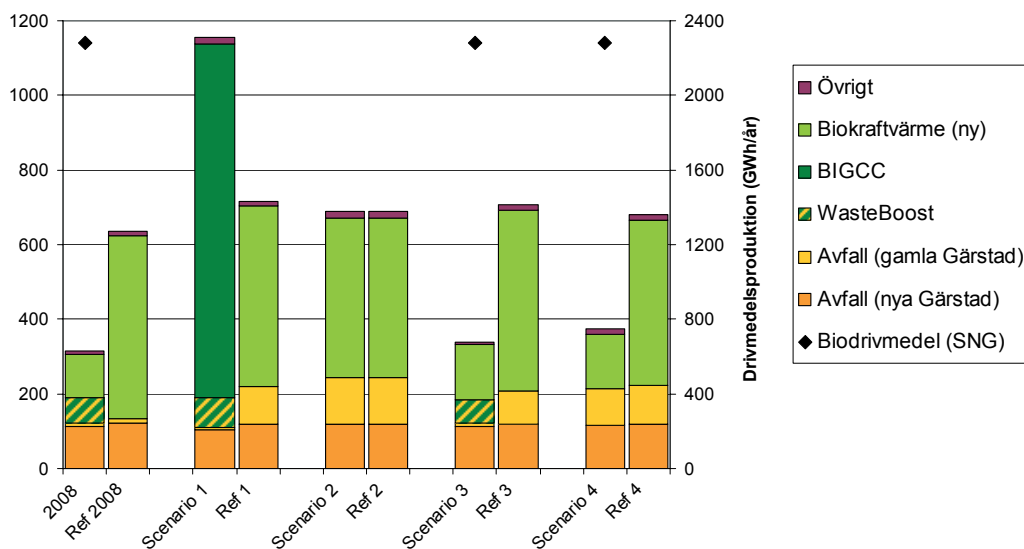
I samtliga studerade scenarier kyls en avsevärd mängd värme bort för att möjliggöra högre produktion av drivmedel respektive el. Kylningen är mest påtaglig i scenarierna där det investeras i bioenergi-kombinat. Som mest kyls hela 12 % av den totala årliga värmeproduktionen bort i Stångån och kyltorn, vilket kan jämföras med dagens system där runt 4 % kyls bort.



Figur 7 Årlig värmeproduktion för de studerade scenarierna. "Övrigt" inkluderar oljekraftvärme, dieselmotkraftvärme och olje- och elpannor. I figuren visas även värmeproduktionen för referensscenarierna.

El- och biodrivmedelsproduktion

I figur 8 visas den årliga produktionen av elektricitet och biodrivmedel (SNG). Produktionen varierar mellan scenarierna beroende på vilka investeringar som görs i respektive scenario, med elproduktionen i scenariot med högst produktion (scenario 1) mer än tre gånger så hög som i scenariot med lägst elproduktion (2008-scenariot). I scenariot där BIGCC byggs (scenario 1) är elproduktionen signifikant högre än produktionen i referensscenario 1, medan i scenarierna där energikombinatet byggs (2008-scenariot samt scenario 3 och 4) är elproduktionen lägre än i motsvarande referensscenarier. Istället produceras betydande kvantiteter biodrivmedel i dessa scenarier.



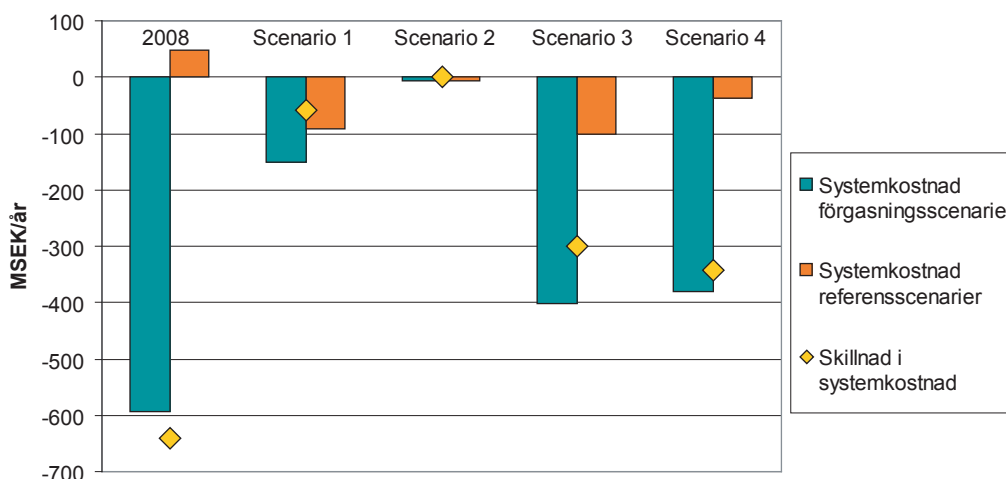
Figur 8 Årlig biodrivmedels- och elproduktion för de studerade scenarierna. "Övrigt" inkluderar oljekraftvärme och dieselmotorkraftvärme. I figuren visas även elproduktion för referensscenarierna.

Ekonomisk utvärdering

I figur 9 visas systemkostnaderna för de studerade scenarierna. Som beskrivits inkluderar systemkostnaden kostnader för investeringar, bränsle, elektricitet och underhåll, liksom intäkter från el- och drivmedelsförsäljning (inklusive certifikat). En negativ systemkostnad indikerar att intäkterna från el- och drivmedelsförsäljning överstiger värmeproduktionskostnaderna.

Figuren visar både de enskilda systemkostnaderna för studerade scenarier och referensscenarier, och skillnaden mellan dessa (gula romber i figuren). Skillnaden är ett mått på lönsamheten i att investera i förgasning, jämfört med att investera i konventionell biokraftvärme. Som framgår av figuren ger investering i förgasning i de scenarier där detta är lönsamt (samtliga scenarier utom scenario 2) en avsevärd minskning av den årliga systemkostnaden, jämfört med respektive referensscenario. Bäst ekonomisk prestanda uppvisas i de scenarier där energikombinatet byggs (2008-scenariot samt scenario 3 och 4), beroende på de höga intäkterna från drivmedelscertifikat.

Eftersom det i scenario 2 inte investeras i förgasning utan i biokraftvärme, det vill säga samma investering som i referensscenario 2, uppstår ingen skillnad i systemkostnad.

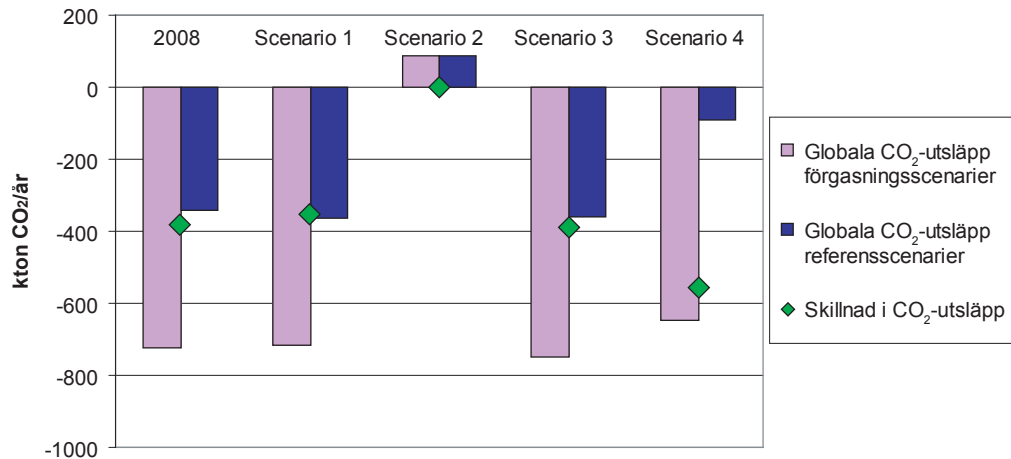


Figur 9 Systemkostnad för de studerade scenarierna (staplarna), samt skillnad i systemkostnad mellan förgasningsscenarioerna och respektive referensscenario (gula romber).

Globala CO₂-utsläpp

Figur 10 visar de årliga globala CO₂-utsläppen för de studerade scenarierna. De globala utsläppen innefattar både de faktiska årliga lokala CO₂-utsläppen från drift av fjärrvärmeanläggningarna och den möjliga minskningen av CO₂-utsläpp i form av ersatt fossilbaserad el och drivmedel. Negativa utsläpp indikerar en möjlighet till minskade globala utsläpp. Som framgår av figuren uppvisar både förgasningsscenarioer och referensscenarioer en potential för minskade CO₂-utsläpp för alla fall utom scenario 2, där marginalelen (kolkondens med CCS) har mycket låga CO₂-utsläpp.

Möjligheten att minska CO₂-utsläpp genom investering i förgasning av biomassa istället för i konventionell teknik visas i figuren som gröna romber. Som framgår av figuren kan förgasning i avsevärd utsträckning bidra till möjlig CO₂-reduktion, både då energikombinatet byggs (2008-scenariot samt scenario 3 och 4) och då det istället investeras i BIGCC (scenario 1).



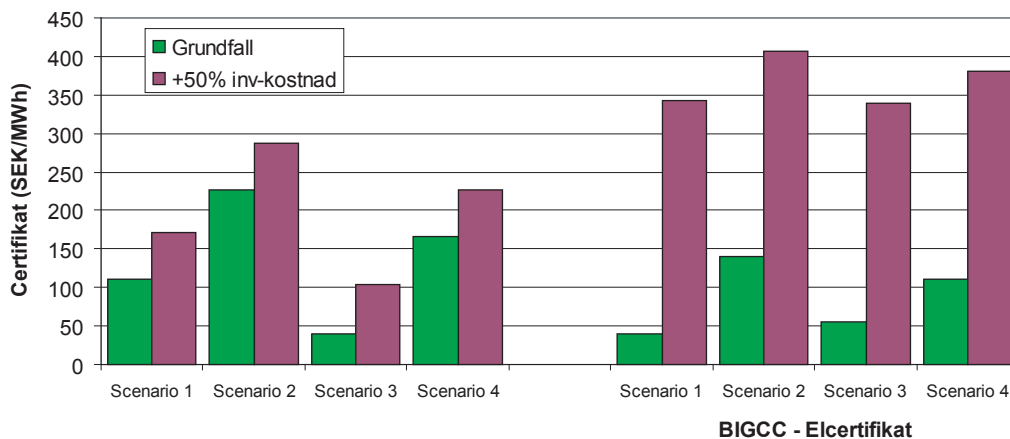
Figur 10 Globala CO₂-utsläpp för de studerade scenarierna (staplarna), samt skillnad i globala CO₂-utsläpp mellan förgasningsscenarierna och respektive referensscenario (gröna romber).

Resultat från känslighetsanalysen

Känslighetsanalysen av värmelastens betydelse visade att samma typer av förgasningsanläggningar byggs med dagens värmelast som vid den antagna framtida ökade lasten. Den årliga utnyttningstiden kortas något för energikombinatet i de scenarier där detta byggs (2008-scenariot, scenario 3-4) och ingen ytterligare kraftvärmeanläggning krävs för att möta värmebehovet. I scenariot där BIGCC byggs (scenario 1) byggs en mindre BIGCC-anläggning. Ett liknande resultat uppvisas i känslighetsanalysen av effekten av att inte ta kraftvärmeverkspannorna ur drift. Förgasningsapplikationerna påverkas mindre (2008-scenariot, scenario 1, 3-4) än det konventionella bi kraftvärmeverket (scenario 2). Tas möjligheten att kyla fjärrvärmesystemet bort uppvisar samtliga nya investeringar signifikant kortare årlig utnyttningstid, medan typerna av och storlekarna på nyinvesteringarna är i princip oförändrade. Resultaten från känslighetsanalysen av fjärrvärmesystemets inverkan sammanfattas i tabell IV i Bilaga 3.

BIGGE (förgasning med gasmotor) visade sig inte vara lönsam i något grundscenario varför specifik känslighetsanalys av denna investering gjordes. För att BIGGE ska komma in som investering krävs en betydande sänkning av investeringskostnaden (mer än halvering) vid den i grundfallet antagna verkningsgraden. Skulle verkningsgraden ökas krävs fortfarande en sänkning av investeringskostnaden med nästan 50 %.

Känslighetsanalysen av investeringskostnadernas inverkan på nödvändiga styrmedelsnivåer visas i figur 11. Vid känslighetsanalysen ökades investeringskostnaderna för de storskaliga förgasningsanläggningarna, dvs. energikombinatet och BIGCC. Som framgår av figuren är BIGCC-anläggningen betydligt mer känslig för en ökad kapitalkostnad än energikombinatet. Den huvudsakliga anledningen till den stora effekten på BIGCC är att skillnaden i verkningsgrad mellan BIGCC och konventionell kraftvärme inte är speciellt stor.



Figur 11. Resultat från känslighetsanalysen av vilken inverkan investeringskostnaden för de storskaliga förgasningsanläggningarna har på nödvändiga styrmedelsnivåer. Till vänster i figuren visas vilken nivå på drivmedelscertifikat som krävs för att energikombinatet ska kunna konkurrera med elproduktion. Till höger visas vilken nivå på elcertifikat som krävs för att BIGCC ska konkurrera med konventionell biokraftvärme. Gröna staplar är grundfallen, lila staplar är med 50 % högre investeringskostnad.

DISKUSSION

I den här studien har möjligheten att investera i ett förgasningsbaserat bioenergi kombinat i ett fjärrvärmesystem analyserats med hjälp av en optimeringsmodell. Det studerade fjärrvärmesystemet, Linköping, karakteriseras av en stor grad av flexibilitet och en relativt hög andel avfallsförbränning vilken täcker mer än 50 % av det årliga värmebehovet. Investering i ett bioenergi kombinat skulle minska möjligheten till kraftvärmeproduktion i fjärrvärmesystemet, till fördel för drivmedelsproduktion. Eftersom det i det studerade systemet krävs nyinvesteringar för att täcka värmebehovet, på grund av att två existerande kraftvärmeanläggningar planeras tas ur drift, har detta mindre betydelse än det skulle ha haft i ett fjärrvärmesystem där istället existerande kraftvärme skulle påverkas.

Resultaten från studien visar att energikombinatet är lönsamt i samtliga scenarier med kraftfulla ekonomiska styrmedel för biodrivmedel (skattelättnad i 2008-scenariot och certifikat i scenario 3 och 4). Vilken nivå på drivmedelsstöd som krävs för att energikombinatet ska börja visa lönsamhet gentemot elproduktion varierar markant mellan de olika antagna energimarknadsscenarierna, från 40 SEK/MWh (0,38 SEK/l bensinekvivalent) i scenario 3 med höga fossilbränslepriser och relativt låga biobränslepriser, till 230 SEK/MWh (2,1 SEK/l bensinekvivalent) i scenario 2 där biobränslepriserna är höga relativt fossilbränslepriserna. Dessa nivåer är dock känsliga för antaganden om den framtida investeringskostnaden för bioenergi kombinatet, och ökar till 100-290 SEK/MWh (0,97-2,7 SEK/l bensinekvivalent) om investeringskostnaden ökas med 50 %. De framtagna stödnivåerna förutsätter ett visst grundstöd även för förnybar el, eftersom det nuvarande elcertifikatsystemet kommer att vara fortsatt aktivt vid den studerade tidpunkten. I främst scenario 1 och 3, där grundnivån på elcertifikat är högre än i scenario 2 och 4, är den visade nödvändiga nivån på stöd för biodrivmedel därför något högre än vad den skulle vara om det inte antagits finnas elcertifikat.

Känslighetsanalysen visar att energikombinatet är lönsamt med höga styrmedel även utan nyinvesteringsbehovet. I viss grad konkurrerar kombinatet till och med ut avfallsvärme, trots negativ bränslekostnad för avfall, i och med de höga intäkter från sålt drivmedel som erhålls med höga drivmedelscertifikat. Möjligheten att kyla fjärrvärmesystemet möjliggör ökad årlig utnyttningstid och högre lönsamhet för kombinatet.

Den andra storskaliga förgasningsanläggningen, BIGCC (förgasningsbaserad kombicykel) visade sig vara mindre konkurrenskraftig gentemot konventionell biokraftvärme. BIGCC är endast lönsamt i scenariot med höga elcertifikat och låga biobränslepriser (scenario 1). De nödvändiga elcertifikatsnivåerna varierar mellan 40 och 140 SEK/MWh, jämfört med drygt 320 SEK/MWh i snitt under 2008. De nödvändiga nivåerna på elcertifikat som krävs för att göra förgasningsbaserad elproduktion lönsamt gentemot konventionell biokraftvärme är dock kraftigt känsliga för en ökning av investeringskostnaden för BIGCC, och ökar till 340-410 SEK/MWh vid en investeringskostnadsökning på 50 %. BIGCC-anläggningen visade sig också vara mer känslig än energikombinatet för antaganden om fjärrvärmesystemet, och minskar mer än kombinatet i både storlek och utnyttningstid om värmelasten minskar, de gamla anläggningarna lämnas kvar eller kylmöjligheten tas bort.

Vad gäller de små- eller mellanskaliga förgasningsinvesteringarna så väljs inte BIGGE (förgasning följt av gasmotor) som investering i något scenario, och kräver

kraftigt sänkta kapitalkostnader för att vara lönsam. WasteBoost byggs i scenarierna med relativt låga elpriser och höga priser på elcertifikat (2008-scenariot samt scenario 1 och 3), eftersom höga elpriser i kombination med låga priser på elcertifikat gör drift av gasturbinen mer lönsam än investering i WasteBoost.

Endast i ett av de studerade scenarierna, scenario 2, investeras inte i någon förgasning utan endast i konventionell biokraftvärme. Anledningen är låga elcertifikat och inget stöd för biodrivmedelsproduktion.

Investering i förgasning av biomassa, i synnerhet i form av bioenergi kombinat, innebär ett betydligt högre behov av biobränsle för att täcka det studerade fjärrvärmesystemets värmebehov än i scenarierna utan förgasning (referensscenarierna). I den här studien har biomassa inte antagits ge upphov till några CO₂-utsläpp, vilket leder till en betydande möjlighet till minskade globala CO₂-utsläpp i de scenarier där det investeras i förgasning. Eftersom biomassa inte är helt CO₂-neutralt och dessutom är en begränsad resurs finns utrymme för en fördjupad analys av CO₂-reduktionspotentialen i fortsatta studier. I denna studie har dock fokus främst legat på ekonomiska aspekter av förgasning av biomassa.

Den största osäkerheten i den här studien ligger i att storskalig förgasning fortfarande befinner sig på utvecklingsstadiet med kommersialisering av en anläggning som det här studerade energikombinatet i en förhållandevis avlägsen framtid. Detta gör antaganden om såväl investeringskostnader som verkningsgrader osäkra. Som resultaten visar har den framtida investeringskostnaden betydande inverkan på den nödvändiga nivån av ekonomiska styrmedel för biodrivmedel och grön el för att förgasning ska vara konkurrenskraftigt i fjärrvärmesystemet. Det ska dock noteras att i denna studie varierades investeringskostnaden för en anläggning i taget, och endast för förgasningsapplikationerna. Om investeringskostnaden för konventionell biokraftvärme också skulle öka sänks naturligtvis nivån på nödvändiga stöd för förgasning.

SLUTSATSER

Resultaten från denna studie visar att ett förgasningsbaserat bioenergikombinat kan utgöra ett intressant investeringsalternativ för den studerade fjärrvärmeleverantören, Tekniska Verken i Linköping, endast under förutsättning att det ges kraftfullt ekonomiskt stöd för biodrivmedelsproduktion, till exempel i form av drivmedelscertifikat. Även förgasningsapplikationer för elproduktion kan vara intressanta men kräver motsvarande stöd i form av elcertifikat. De huvudsakliga slutsatserna från studien är:

- Storskalig förgasning, i form av bioenergikombinat för drivmedelsproduktion såväl som BIGCC, kan utgöra lönsamma investeringar för en fjärrvärmeleverantör. Vilken som är mest lönsam är dock starkt beroende av nivån på styrmedel för biodrivmedel respektive förnybar elektricitet.
- För att bioenergikombinatet ska vara lönsamt gentemot biobaserad elproduktion krävs stöd om i storleksordningen 40-230 SEK/MWh vilket är lägre än dagens skattenedsättning vilken är 314 SEK/MWh för bensinersättande biodrivmedel (endast energiskatten).
- Högre el- och biobränslepriser leder till högre nödvändigt stöd för biodrivmedel, medan höga oljepriser leder till lägre nödvändigt stöd.
- En 50 %-ig ökning av investeringskostnaden för energikombinatet leder till högre nödvändigt stöd, i storleksordningen 100-290 SEK/MWh.
- För att storskalig förgasningsbaserad elproduktion (BIGCC) ska vara lönsamt gentemot konventionell biokraftvärme krävs elcertifikat på 40-140 SEK/MWh, vilket kan jämföras med ca 250 SEK/MWh under 2008.
- Högre biobränslepriser leder till högre nödvändiga elcertifikatnivåer.
- BIGCC är mer känslig än energikombinatet för en högre investeringskostnad. Nödvändig elcertifikatnivå ökar till 340-410 SEK/MWh vid en 50 %-ig ökning av investeringskostnaden.
- Potentialen att tillverka produkter med högt förädlingsvärde (el eller biodrivmedel) ur biomassa från skogen är betydligt högre med förgasning av biomassa i fjärrvärmesystemet än utan, för ett givet värmebehov.
- Även möjligheten att minska de globala utsläppen av CO₂ ökar med förgasning i systemet.
- Möjligheten att kyla bort överskottsvärme leder till längre utnyttningstid och högre lönsamhet men är inte en förutsättning för förgasning.
- Inte heller behovet av nyinvesteringar för att täcka upp för bortfallen gammal produktionskapacitet eller ökad värmelast är en förutsättning för förgasning.

Eftersom investeringar i storskalig förgasning är mycket kapitalintensiva är effektiva stabila styrmedel av yttersta vikt om förgasning av biomassa ska ha en plats i framtidens fjärrvärmesystem. Den finansiella risk som denna typ av investeringar innebär är förstås mycket stor, varför det är nödvändigt att fjärrvärmeleverantören som ska ta investeringen tror på långsiktigheten hos framtida styrmedel. Kommersialisering av förgasningsbaserade bioenergikombinat och liknande anläggningar ligger som har nämnts fortfarande relativt långt in i framtiden. Resultaten från denna studie visar på att det finns betydande incitament för fortsatt och påskyndad teknikutveckling, liksom för att fortsätta undersöka möjligheterna att integrera tekniken med fjärrvärmesystemet. Om

biodrivmedel från förgasade biomassa får en avgörande roll i framtidens transportsystem, kan fjärrvärmesystemen ha en nyckelposition i arbetet med att uppnå en högre systemeffektivitet och en hållbar resursanvändning.

REFERENSER

- Ahrenfeldt, J., Bain, R.L., van de Beld, B., Bhattacharya, S.C., Boerrigter, H., et al., 2005. Handbook biomass gasification. BTG Biomass Technology Group, Enschede, Nederländerna.
- Axelsson, E., Harvey, S. och Berntsson, T., 2009. A tool for creating energy market scenarios for evaluation of investments in energy intensive industry. Energy, in press, doi:10.1016/j.energy.2008.08.017.
- Azar, C., Lindgren, K. och Andersson, B.A., 2003. Global energy scenarios meeting stringent CO₂ constraints – cost-effective fuel choices in the transportation sector. Energy Policy Vol.31, No.10, pp. 961-976.
- Bengtsson, C., Karlsson, M., Berntsson, T. och Soderstrom, M., 2002. Co-ordination of pinch technology and the MIND method – Applied to a Swedish board mill. Applied Thermal Engineering Vol.22, No.2, pp. 133-44.
- Bärring, M., Gustafsson, J.-O., Nilsson, P.-A., Ohlsson, H. och Olsson, F., 2000. El från nya anläggningar. Elforsk rapport 00:01. Elforsk, Stockholm.
- Börjesson, M. och Ahlgren, E.O., 2008a. Cost-effective options in the Swedish transportation sector under CO₂ constraints – the impact of transport fuel taxes. Inskickad för publicering.
- Börjesson, M. och Ahlgren, E.O., 2008b. Biomass gasification in cost-optimized district heating systems – a regional modelling analysis. Inskickad för publicering.
- CEC, 2007. Biokombi Rya – Biobränsleförgasning satt i system, slutrapport. CEC report 2007:2, 2007:3. Chalmers EnergiCentrum, Göteborg.
- Difs, K., Wetterlund, E., Trygg, L. och Söderström, M., 2008. Biomass gasification opportunities in a district heating system. Inskickad för publicering.
- Direktiv 2003/30/EG, 2003. Europaparlamentets och rådets direktiv 2003/30/EG av den 8 maj 2003 om främjande av användningen av biodrivmedel eller andra förnybara drivmedel.
- Direktiv 2004/8/EG, 2004. Europaparlamentets och rådets direktiv 2004/8/EG av den 11 februari 2004 om främjande av kraftvärme på grundval av efterfrågan på nyttiggjord värme på den inre marknaden för energi och om ändring av direktiv 92/42/EEG.
- Dornburg, V. och Faaij, A.P.C., 2001. Efficiency and economy of wood-fired biomass energy systems in relation to scale regarding heat and power generation using combustion and gasification technologies. Biomass & Bioenergy Vol.21, No.2, pp. 91-108.
- Energimyndigheten, 2007. Styrmedel för att främja användning och produktion av biodrivmedel. En lägesrapport. ER 2007:31. Energimyndigheten, Eskilstuna.
- Europeiska kommissionen, 2008. Mot 20–20 till 2020: Europas möjligheter i samband med klimatförändringarna, KOM(2008) 30.
- Fahlén, E. och Ahlgren, E.O., 2009. Assessment of integration of different biomass gasification alternatives in a district-heating system. Energy, accepterad för publicering.
- Gode, J., Hagberg, L., Holmgren, K. och Stripple, H., 2007. Bioenergi kombinat – tekniktrender, system och styrmedel. Värmeforsk rapport 1012. Värmeforsk, Stockholm.

- Gode, J., Hagberg, L., Rydberg, T., Rådberg, H. och Särholm, E., 2008. Effektiv produktion av biodrivmedel. Rapport nr 2008:8. Svensk Fjärrvärme, Stockholm.
- Goldschmidt, B., 2005. Biobränslebaserade energikombinat med tillverkning av drivmedel. Värmeforsk rapport 904. Värmeforsk, Stockholm.
- Gustavsson, L., Holmberg, J., Dornburg, V., Sathre, R., Eggers, T., et al., 2007. Using biomass for climate change mitigation and oil use reduction. *Energy Policy* Vol.35, No.11, pp. 5671-5691.
- Hansson, H., Larsson, S.-E., Nyström, O., Olsson, F. och Ridell, B., 2007. El från nya anläggningar. *Elforsk report 07:50*. Elforsk, Stockholm.
- Hansson, J., Berndes, G. och Persson, T., 2008. A qualitative analysis of policy instruments meant to promote biofuels for transport. Rapport inom Refuel-projektet.
- Harvey, S., 2000. Performance of a biomass integrated gasification combined cycle CHP plant supplying heat to a district heating network. *Proceedings of ASME Turboexpo 2000*, Munich, Germany, May 8-11, 2000.
- Hofbauer, H. och Knoef, H.A.M., 2005. Success stories on biomass gasification. I: *Handbook biomass gasification*, editor Knoef, H. A. M. Enschede, Nederländerna: BTG Biomass Technology Group, pp. 115-161.
- Hofbauer, H., Rauch, R., Bosch, K., Koch, R., Aichernig, C., et al., 2003. Biomass CHP plant Guessing - a success story. I: *Pyrolysis and Gasification of Biomass and Waste*, editor Bridgwater, A. V. Newbury, UK: CPL Press, pp. 527-536.
- Jönsson, J., Svensson, I.-L., Berntsson, T. och Moshfegh, B., 2008. Excess heat from kraft pulp mills: Trade-offs between internal and external use in the case of Sweden – Part 2: Results for future energy market scenarios. *Energy Policy* Vol.36, No.11, pp. 4186-4197.
- Karlsson, M. och Wolf, A., 2008. Using an optimization model to evaluate the economic benefits of industrial symbiosis in the forest industry. *Journal of Cleaner Production* Vol.16, No.14, pp. 1536-1544.
- Klugman, S., Karlsson, M. och Moshfegh, B., 2008. Modeling an industrial energy system: Perspectives on regional heat cooperation. *International Journal of Energy Research* Vol.32, No.9, pp. 793-807.
- Kreij, S.-E. och Bennstam, M., 2008. Tekniska Verken i Linköping AB. Personlig kommunikation.
- Lundtorp, K., 2008. Babcock & Wilcox Vølund A/S. Personlig kommunikation.
- Marbe, A., Harvey, S. och Berntsson, T., 2004. Biofuel gasification combined heat and power-new implementation opportunities resulting from combined supply of process steam and district heating. *Energy* Vol.29, No.8, pp. 1117-1137.
- McKendry, P., 2002. Energy production from biomass (part 3): gasification technologies. *Bioresource Technology* Vol.83, No.1, pp. 55-63.
- Prop 2007/08:1, 2008. Regeringens proposition 2007/08:1. Budgetpropositionen för 2008.
- Pröll, T., Rauch, R., Aichernig, C. och Hofbauer, H., 2007. Performance characteristics of an 8 MW(th) combined heat and power plant based on dual fluidized bed steam gasification of solid biomass. *Proceedings of The 12th International Conference on*

- Fluidization - New Horizons in Fluidization Engineering, Vancouver, Canada, May 13-17, 2007.
- Rauch, R., 2008. Institute of Chemical Engineering, Vienna University of Technology, Österrike. Personlig kommunikation.
- Remer, D.S. och Chai, L.H., 1990. Design cost factors for scaling-up engineering equipment. Chemical Engineering Progress Vol.86, No.8, pp. 77-82.
- Skatteverket, 2008. Energiskattesatser 2008.
- SKM, 2009. Svensk Kraftmäkling, elcertifikat prishistorik, <http://www.tricorona.se/priceinfo/history/2008/>, hämtad 2009-05-04.
- Sveriges Riksdag, 2003. Lag om elcertifikat, SFS 2003:113. Sveriges riksdag, Stockholm.
- Sydkraft AB, 2001. Värnamoverket – en demonstrationsanläggning för el- och värmeproduktion ur biobränsle, baserad på trycksatt förgasning. Demonstrationsprogrammet 1996-2000. Sydkraft, Malmö.
- Tolonen, J., Rydén, B. och Sköldberg, H., 2006. Support schemes for renewable energy in the Nordic countries: an introduction. I: Ten Perspectives on Nordic Energy, Final Report for the First Phase of the Nordic Energy Perspectives Project. Elforsk, Stockholm.
- Wahlund, B., Yan, J.Y. och Westermark, M., 2004. Increasing biomass utilisation in energy systems: A comparative study of CO₂ reduction and cost for different bioenergy processing options. Biomass & Bioenergy Vol.26, No.6, pp. 531-544.
- Wiesenthal, T., Leduc, G., Christidis, P., Schade, B., Pelkmans, L., et al., 2009. Biofuel support policies in Europe: Lessons learnt for the long way ahead. Renewable and Sustainable Energy Reviews Vol.13, No.4, pp. 789-800.
- Wolf, A. och Karlsson, M., 2007. Can the environmental benefits of Industrial Symbiosis be evaluated? Discussion and demonstration of an approach. 13th Conference of Sustainable Development Research. Västerås, Sweden.

BILAGA 1. INDATA NYA INVESTERINGAR

I tabell I ges teknisk prestanda och investeringskostnader för de möjliga nya investeringarna. Anledningen att biokraftvärme (bio-KV) är uppdelad i två olika storleksintervall är att källan (Hansson et al., 2007) angett data på detta sätt.

Tabell I Indata för nya investeringsmöjligheter. Alla verkningsgrader är baserade på undre värmevärde. Indata från (Barring et al., 2000; CEC, 2007; Hansson et al., 2007; Kreijch och Bennstam, 2008; Lundtorp, 2008; Pröll et al., 2007; Rauch, 2008; Sydkraft AB, 2001).

		Energi-kombinat	BIG-CC	Waste-Boost	BIGGE	Bio-KV liten	Bio-KV stor
Bränsleeffekt, intervall	(MW)	150-400	20-400	36 MW biobr. 77 MW avfall	8-50	20-160	160-300
Elverkningsgrad		-0,04 ^a	0,43	0,18	0,20	0,3	0,34
Värmeverkningsgrad		0,23 ^b	0,47	0,69	0,52	0,81	0,74
SNG-verkningsgrad		0,69 ^b	–	–	–	–	–
Totalverkningsgrad		0,92 ^b	0,90	0,87	0,72	1,1 ^c	1,1 ^c
Alfavärde		–	0,91	0,26	0,38	0,37	0,46
Bränsleeffekt, grundfall	(MW)	242	116	36+77	8,9	100	235
El-/SNG-prod., grundfall	(MW)	173	50	20	1,8	30	80
Investeringskostnad	(MSEK)	2 150	1 100 ^d	125	141	840	1 700
Specifik inv. kostnad	(SEK/kW _{el/SNG})	12 400	22 000	– ^e	78 300	28 000	21 500
Specifik inv. kostnad	(SEK/kW _{fv})	37 000	20 200	– ^e	30 500	10 400	9 900

^a Nettoimport av el.

^b För energikombinatet anges verkningsgrader från summan av el och biomassa till anläggningen.

^c Med rökgaskondensering.

^d Omräknat från (Barring et al., 2000) med antagande att kostnadsökningen för BIGCC sedan 2000 är jämförbar med kostnadsökningen för konventionell biokraftvärme under samma period.

^e Ingen specifik anläggningskostnad anges då investeringen endast innefattar förgasaren och överhettaren.

BILAGA 2. PRISINDATA SCENARIER

I tabell II presenteras de priser och ekonomiska styrmedel som använts i de olika scenarierna. 2008-scenariot använder sig av priser och styrmedel från första kvartalet 2008, medan scenario 1-4 är energimarknadsscenarioer som konstruerats för denna studie, enligt en metod beskriven i (Axelsson et al., 2009). Till varje förgasningsscenario hör ett referensscenario med motsvarande priser och styrmedel.

I energimarknadsscenarioerna är parametrarna beroende av varandra. Både biobränslepriserna och elpriserna beror till exempel på både fossilpriser och utsläppsrätterna för CO₂. För elpriserna antas det att de svenska elpriserna i framtiden kommer att konvergera mot europeiska, med priser varierande över dygnet snarare än över året. Elpriset för höglasttid antas vara 1,7 gånger låglastpriset. I 2008-scenariot används elpriser för 2008 med variation över året.

Pumppriset för bensin (P_{pump}) antas vara prissättande för SNG. Bensinpriset i scenario 1-4 har räknats fram från antagna råoljepriser, utifrån statistik för 2005-2008, där pumppriset för bensin (skatter exkluderat) i snitt är 1,5 gånger marknadspriset för råolja. Bensinen antas vara ålagd energi- och CO₂-skatt (2008 års skattenivåer) medan SNG endast antas vara ålagd energiskatt (C_{skatt}). Distributionskostnaden för SNG (C_{distr}) antas vara 263 SEK/MWh (Börjesson och Ahlgren, 2008a). Försäljningspriset ($P_{förs}$) för SNG-producenten kan därför beräknas som:

$$P_{förs} = P_{pump} - (C_{distr} + C_{skatt}) + I_{stöd}$$

där $I_{stöd}$ är intäkten för drivmedelscertifikat eller annat stöd.

I 2008-scenariot har faktiska pumppriser för biogas använts och SNG har antagits vara befriad från såväl CO₂- som energiskatt.

Tabell II Använda priser och styrmedel i de olika scenarierna.

	Scenario				
	2008	1	2	3	4
Bränsle- och elpriser (SEK/MWh)					
Eo1	385	361		484	
Eo5	287	295		394	
Kol	109	58		109	
Biobränsle, flis	158	143	256	203	315
Returträ	87	73	131	104	161
Avfall	-150	-150	-150	-150	-150
El	450 ^a	503 ^b	651 ^b	611 ^b	777 ^b
SNG, pumppris	988	951	951	1 106	1 106
SNG, försäljningspris	725	374	374	788	867
Skatter (SEK/MWh)					
Eo1 (värme/kraftvärme)	347/43 ^c	324/20 ^d			
Eo5 (värme/kraftvärme)	322/40 ^c	300/19 ^d			
Kol (värme/kraftvärme)	353/50 ^c	327/23 ^d			
Avfall (värme/kraftvärme)	131/20 ^c	120/9 ^d			
El (industriell/övrig användning)		5/270			
Bensin (energiskatt)		314			
SNG (energiskatt)	0	314			
Övriga styrmedel					
CO ₂ utsläppsrätter (SEK/ton CO ₂)	200	188	470	188	470
Elcertifikat (SEK/MWh)	216	157	30	157	30
Elcertifikatkvot (%)	16	11			
Drivmedelscertifikat (SEK/MWh)	0 ^e	0	155		

^a Här redovisas årsmedelvärde. I studien har månadsvärden för elpriser använts i 2008-scenariot.

^b Här redovisas priset för låglasttid. Elpriset för höglasttid antas vara 1,7 gånger lågpriset.

^c Skatter enligt 2008 års nivå.

^d Skatter enligt förslag för 2010.

^e I 2008-scenariot antas dagens skattebefrielse för biodrivmedel.

BILAGA 3. SPECIFICERING RESULTAT

Tabell III visar en sammanställning av vilka nya investeringar som görs i de olika studerade scenarierna, med storlek (bränsleeffekt) samt utnyttjningstid. Dessutom ges en kort guide till de olika studerade scenarierna för att förenkla läsning av tabellen.

Tabell III Nya investeringar i de modellerade scenarierna. Siffrorna anger storlek på investering (MW bränsleeffekt) respektive utnyttjningstid (timmar/år).

Scenario	Bränslepriser/ elcert/ drivmedelscert	Energi- kombinat	BIGCC	WasteBoost	BIGGE	Bio-KV
2008	2008/2008/nej ^a	400 MW 8000 h		113 MW ^b 4800 h		77 MW 5300 h
1	låga/höga/nej		320 MW 7500 h	113 MW ^b 5300 h		
2	låga/låga/nej					210 MW 7600 h
3	höga/höga/ja	400 MW 8000 h		113 MW ^b 4600 h		100 MW 5300 h
4	höga/låga/ja	400 MW 8000 h				100 MW 5300 h

^a | 2008-scenariot antas dagens skattebefrielse för biodrivmedel.

^b | 36 MW biobränsle, 77 MW avfall.

Tabell IV visar en sammanställning av resultatet från känslighetsanalysen av fjärrvärmesystemets inverkan (värmelast, anläggningar, kylmöjlighet). I tabellen listas investeringar och årlig el- och drivmedelsproduktion i grundfallen, samt årlig nettointäkt i grundfallet. En lutande pil (↘ eller ↗) indikerar en minskning respektive ökning av den årliga el- eller drivmedelsproduktionen, respektive av den årliga intäkten. En nedåtpil (↓) indikerar att en investering som togs i grundfallet försvinner i en känslighetsanalyskörning.

Tabell IV Resultat från känslighetsanalysen. WB = WasteBoost. Pilarna visar förändring i årlig el- respektive drivmedelsproduktion samt i årlig intäkt, jämfört med grundfallet.

Scenario	Parametervariation	Kombinat	BIGCC	WB	Bio-KV	Nettointäkt
2008	<i>Grundfall</i>	400 MW 2 280 GWh		113 MW 68 GWh	77 MW 120 GWh	590 MSEK
	Dagens värmelast	↘		→	↓	↗
	KVV kvar, dagens last	→		→	↓	↗
	KVV kvar, framtida last	↘		→	↓	↗
	Ingen kylning	↘		→	↘	↘
1	<i>Grundfall</i>		320 MW 950 GWh	113 MW 82 GWh		150 MSEK
	Dagens värmelast		↘	↘		↘
	KVV kvar, dagens last		↘	↘		↗
	KVV kvar, framtida last		↘	↘		↗
	Ingen kylning		↘	↗		↘
2	<i>Grundfall</i>				210 MW 430 GWh	5,5 MSEK
	Dagens värmelast				↘	↗
	KVV kvar, dagens last				↘	↗
	KVV kvar, framtida last				↘	↗
	Ingen kylning				↘	↘
3	<i>Grundfall</i>	400 MW 2 240 GWh		113 MW 64 GWh	100 MW 150 GWh	400 MSEK
	Dagens värmelast	↘		↗	↓	↘
	KVV kvar, dagens last	↗		↗	↓	↗
	KVV kvar, framtida last	↘		↗	↓	↗
	Ingen kylning	↘		↘	↘	↘
4	<i>Grundfall</i>	400 MW 2 280 GWh			100 MW 150 GWh	380 MSEK
	Dagens värmelast	↘			↘	↘
	KVV kvar, dagens last	→			↓	↗
	KVV kvar, framtida last	↘			↓	↗
	Ingen kylning	↘			↘	↘

INLEDNING

Den svenska industrins årliga energianvändning är cirka 157 TWh varav nära 75 procent används inom den energiintensiva industrin. De resterande 25 procenten används inom den tillverkande, icke energiintensiva industrin, där verkstadsindustrin utgör cirka sju procent (STEM, 2007).

Styrmedel som införs på olika nivåer i samhället, som exempelvis handel med utsläppsrätter tillsammans med avregleringen av den europeiska elmarknaden och stigande bränslepriser kommer sannolikt att medföra höjda energi- och fjärrvärmepriser. Höjda el-, bränsle-, och fjärrvärmepriser innebär en risk att svenska företag drabbas av konkurrensnackdelar i jämförelse med utländska konkurrenter. För att reducera hotet om stigande energipriser har tillverkande företag i princip två möjligheter. Den ena möjligheten är att förhandla fram ett förmånligare pris med leverantören av energi och det andra är att arbeta internt på företaget med att energieffektivisera (CADDET, 1995). En framkomlig väg för industrin vad gäller värmeanvändningen, och som är att betrakta som en win-win lösning, är att etablera ett nära samarbete med det lokala energibolaget. Ett sådant samarbete kan både vara ekonomiskt fördelaktigt för båda parter och dessutom leda till väsentligt minskad miljöbelastning, lokalt såväl som globalt.

En uppsjö av möjliga typer av samarbeten finns. Vilka möjliga lösningar som finns att tillgå är givetvis beroende på vilken typ av samarbete som industrin önskar och vilken typ av produktion som företaget har. Gäller samarbetet en processindustri kan en möjlig lösning vara att industrin etablerar ett samarbete vad gäller spillvärmeleverans eller att det satsas på en gemensam kraftvärmeanläggning. En annan lösning kan vara delat ägarskap vad gäller panncentraler eller också rena fjärrvärmeleveranser från energibolaget till industrin. Typen av samarbete är vidare beroende av energibolagets nuvarande bränslemix och dess möjligheter att rent praktiskt etablera ett samarbete, exempelvis vad gäller tillgången på kapital. Möjliga samarbeten varierar således kraftigt mellan olika kommuner/regioner och vilken typ av industri som samarbetet etableras med. För att underlätta och stödja värmesamarbeten mellan den svenska industrin och energibolag är det således av största vikt att erhålla en bild av vilka faktorer som påverkar och driver fram värmesamarbeten. Denna studie är ett led i detta arbete.

Syfte

Det övergripande syftet med studien har varit att undersöka vilka faktorer som påverkar och driver fram ett värmesamarbete mellan en industri och ett energibolag.

HINDER OCH DRIVKRAFTER FÖR ENERGIEFFEKTIVISERING

Hinder

Forskning har påvisat att kostnadseffektiva investeringar i energieffektiv teknik/ teknislösningar inte alltid genomförs. Detta förklaras med att det finns ett antal hinder eller barriärer som hindrar graden av införande av den nya tekniken. Denna diskrepans mellan potential och utfall benämns vanligtvis med termen energieffektiviseringsgap (eng: energy efficiency gap), det vill säga det finns ett gap mellan den energibesparingspotential som ges av tekniska-ekonomiska modeller och den besparing som i verkligheten implementerats (Sorrell et al., 2000; Velthuisen, 1995; Björkqvist, 1996). Existensen av detta gap förklaras sedan av att det finns hinder för energieffektivisering. Ett hinder för energieffektivisering definieras som:

En antagen mekanism som förhindrar investeringar i teknik som är både energieffektiv och kostnadseffektiv. (Sorrell et al, 2000).

Debatten kring dessa hinder och vilka hinder som kan anses ha stor betydelse till uppkomsten av ett energieffektiviseringsgap, karaktäriseras av oenighet kring grundläggande teoretiska principer. I detta arbete presenteras därför inte alla underliggande teorier kring hinder då detta inte varit avsikten med studien. I fallet av att en läsare är intresserad att läsa mera kring detta hänvisas till Thollander (2008). I tabell 1 presenteras en översikt över olika hinder till energieffektivisering uppdelade i tre grupper, en ekonomisk, en beteendemässig och en organisatorisk grupp. Det finns emellertid, i varje hinder, inslag från alla tre grupperna (Sorrell et al., 2000).

Tabell 1 Olika perspektiv på hinder (Baserad på Sorrell et al., 2000).

Teoretisk referensram	Hinder	Förklaring	
Ekonomiskt	Heterogenitet	En åtgärd kan vara kostnadseffektiv generellt men inte passa alla aktörer	
	Dolda kostnader	Ekonomiska analyser inkluderar inte alla kostnader relaterade till en teknikinvestering	
	Tillgång på kapital	Bristande tillgång på kapital kan vara ett hinder för investeringar i energieffektiv teknik	
	Risk	Korta payoffkrav för energieffektiva investeringar kan ha sitt ursprung i en naturlig riskaversion	
	Imperfekt information	Brist på information riskerar leda till att kostnadseffektiva investeringar förbises	
	Skilda incitament	Om den ansvarige för en process inte ansvarar för energikostnaden finns det risk att en energieffektiv investering förbises	
	Ogynnsamma val	Innebär att energikostnaden riskerar förbises på grund av transaktionskostnader och det faktum att produktens karaktäristika ej är synlig	
	Relationen chef – underställd	Hård styrning, på grund av att den ena parten ej kan observera den andra parten, kan leda till att energieffektiva investeringar negligeras	
	Beteende och organisation	Begränsad rationalitet	I stället för att fatta beslut med fullständig information fattas beslut "på känn" vilket kan leda till att energieffektiva investeringar ej implementeras
		Typ av information	Effektiv information måste bland annat vara specifik, personlig och enkel om den ska komma till nytta
Trovärdighet och förtroende		Trovärdighet och förtroende för informationskällan är viktig om en energieffektiv teknik ska implementeras	
Tröghet		Individer inom en organisation som är motståndare till förändringar riskerar leda till att en mängd möjligheter till energieffektivisering blir förkastade	
Värderingar		Motiverade individer med miljövärderingar kan ge energieffektiva investeringar högre prioritet	
Makt		Om energiledning har låg status i ledningen kan detta leda till att energifrågor ej prioriteras	
Kultur		Organisationer kan uppmuntra effektiva investeringar genom att utveckla en kultur som strävar efter miljömässiga förbättringar	

I denna studie som avser samarbete där teknik relaterad till fjärrvärme är av stor betydelse har det funnits anledning att avgränsa sig till färre hinder än de givna i tabellen ovan (tabell 1). Med anledning av detta har några hinder valt att exkluderas eller slås ihop. Exempelvis har hindret begränsad rationalitet tagits bort då stora beslut inbegriper betydande beslutsunderlag i form av rapporter, modelleringar etc. Vidare har hindret ogynnsamma val tagits bort med anledning av att affärsuppgörelsen i de aktuella fallen innebär faktiska samarbeten, det vill säga det innebär inte en ren försäljning av en vara eller tjänst. Vidare har relationen chef-underställd (eng. principal agent-relationship) valt att slås ihop med makt, imperfekt information med typ av information,

och värderingar med kultur. Vidare har relationen chef-underställd och skilda incitament slagits samman och klassats under asymmetrisk information, detta med anledning av att dessa hinder inom ekonomisk teori ofta slås samman, se exempelvis Sorrell et al. (2000). Den reviderade tabellen med hinder, tabell 2, presenteras nedan.

Tabell 2 Relevanta hinder i relation till den aktuella studien.

Teoretisk referensram	Hinder	Förklaring
Ekonomiska	Heterogenitet	En åtgärd kan vara kostnadseffektiv generellt men inte passa alla aktörer
	Dolda kostnader	Ekonomiska analyser inkluderar inte alla kostnader relaterade till en teknikinvestering
	Tillgång på kapital	Bristande tillgång på kapital kan vara ett hinder för investeringar i energieffektiv teknik
	Risk	Korta payoffkrav för energieffektiva investeringar kan ha sitt ursprung i en naturlig riskaversion
	Imperfekt information	Brist på information riskerar leda till att kostnadseffektiva investeringar förbises
	Assymetrisk information	Om den ansvarige för en process inte ansvarar för energikostnaden eller att den ena parten ej kan observera den andra parten, kan leda till att energieffektiva investeringar negligeras
Beteende och organisation	Trovärdighet och förtroende	Trovärdighet och förtroende för informationskällan är viktig om en energieffektiv teknik ska implementeras
	Tröghet	Individer inom en organisation som är motståndare till förändringar riskerar leda till att en mängd möjligheter till energieffektivisering blir förkastade
	Värderingar	Motiverade individer eller organisationer med miljövärderingar kan ge energieffektiva investeringar högre prioritet

Drivkrafter

En framgångsfaktor eller drivkraft för energieffektivisering kan definieras som motsatsen till en barriär, dvs. en faktor som driver fram investeringar i energieffektiv teknik. Framgångsfaktorer eller drivkrafter för energieffektivisering kan delas in i fyra olika kategorier (Thollander och Ottosson, 2008):

- Marknadsrelaterade drivkrafter
- Styrmedel som påverkar företaget
- Potentiella framtida industriella styrmedel samt
- Beteende och organisatoriska drivkrafter

Marknadsrelaterade drivkrafter

Ett företag, ett energibolag eller en tillverkande industri, är enligt klassisk ekonomisk teori en nyttomaximerande enhet, som söker minska kostnaderna. Minskade kostnader från en effektivare energianvändning är således en marknadsrelaterad drivkraft. Skulle företaget befinna sig på en fullständig monopolmarknad skulle detta förefalla mindre

viktigt, om än inte oviktigt. Andra marknadsrelaterade drivkrafter som driver fram investeringar i energieffektiv teknik på slutanvändaresidan är hotet om ökade energipriser och internationell konkurrens (Rohdin and Thollander, 2006). Vidare är så kallade energitjänstföretag (ESCOs) och tredjepartsfinansiering/incitamentavtal (EC 2006), goda affärsrelationer mellan industri och energibolag, effektiv marknadsföring beträffande fjärrvärmens fördelar, och krav från kunder ytterligare drivkrafter (de Groot et al., 2001; del Rio González, 2005).

Styrmedel som påverkar svensk industri

Frånsett det europeiska utsläppshandelsystemet så finns det ett antal nationella styrmedel som direkt eller indirekt påverkar svensk industri. Exempel på sådana är det svenska elcertifikatsystemet, PFE-programmet, lagen om kommunal energiplanering, och det nyligen införda möjligheterna från länsstyrelserna att ställa krav på företagen. Andra styrmedel företag möter är kraven på en årlig miljöredovisning till länsstyrelsen innehållande en energiplan med förslag på effektiviseringsåtgärder, och den kommunala energirådgivningen (Thollander and Ottosson, 2008). Andra typer av styrmedel inkluderar koldioxid-, energi-, svavel, och kväveoxidskatt. För en bra genomgång av svenska styrmedel mot industrin rekommenderas Johansson et al. (2007). Tidigare stöd har inkluderat statliga de statliga investeringsprogrammen, LIP och KLIMP.

Potentiella framtida industriella styrmedel

Det finns också ett antal olika typer av styrmedel som inte förekommer idag men som har potential att införas inom svenskt näringsliv. Dessa inkluderar investeringsstöd vid fjärrvärmesamarbete, möjlighet till förmånliga lån vad gäller fjärrvärmesamarbete, att företaget ingår i ett lokalt energiprogram, och att erbjuda stöd (från energiexpert) i detaljspecifika frågor (Thollander och Ottosson, 2008).

Beteende och organisatoriska drivkrafter

Exempel på beteende- och organisationsrelaterade drivkrafter kan vara miljöprofilering av företaget/koncernen, eldsjäl/eldsjälar på företaget, en långsiktig energistrategi, miljö-/energiledningssystem, förbättrad arbetsmiljö, nätverk inom företaget/koncernen, omvärldstryck, t.ex. från olika typer av miljöorganisationer (NGOs) och omvärldstryck vad gäller hotet om ökad global uppvärmning och krav och frågor från ägare (Thollander och Ottosson, 2008).

SAMARBETE MELLAN INDUSTRI OCH ENERGIBOLAG

Studier av värmesamarbeten

Värmesamarbeten har tidigare studerats av bl.a. Gebremedhin (2003), Grönkvist och Sandberg (2006), Jönsson et al. (2008), Svensson et al. (2008) och Jönsson och Algehed (2008). Gebremedhin (2003) har visat att genom att vidga systemgränserna från enbart ett perspektiv som inbegriper själva industrin och istället även inkludera det omgivande energisystemet kan både existerande anläggningar och nya investeringar användas mer kostnadseffektivt. Detta synsätt har även använts av Svensson et al. (2008) och Jönsson et al. (2008) i en studie av användning av överskottsvärme från kemiska massabruk. Vikten av prissättning av överskottsvärme från kemiska massabruk har även studerats av Jönsson och Algehed (2008), denna studie visade att i ett värmesamarbete är det energibolaget som tar den största ekonomiska risken samtidigt som de beroende på de yttre omständigheter som nämnts ovan kan göra den största ekonomiska vinsten på ett samarbete. Priset till vilket en industri är villig att sälja överskottsvärme är betydligt mer robust än priset till vilket energibolaget är villig att köpa värme. Detta beror på att energibolagens villighet att köpa värme varierar mer beroende på bränsle- och elpriser än industriernas vilja att sälja.

Systemteori i samarbeten mellan industrier och energibolag

Enligt Churchman (1968) kan ett system analyseras genom att först finna systemets målsättning, beskriva dess komponenter, fastställa vad som utgör systemets omgivning samt resurser, och identifiera ledningen av systemet. I en studie av samarbeten mellan en industri och ett energibolag är det möjligt att avgränsa systemet på flera nivåer beroende på vad man vill studera och ur vems perspektiv man betraktar systemet. På en lägre systemnivå kan enskilda produktionsprocesser eller byggnader modelleras ur energisynpunkt. Många optimeringar sker på denna nivå och för de enskilda komponenterna leder detta till en optimal lösning, däremot kan det vara svårt att avgöra effekterna för det omgivande systemet med en snäv systemgräns.

På en lite högre systemnivå kan en hel industri eller ett energibolag betraktas som ett system. När systemgränsen dras runt det enskilda företaget är det möjligt att undersöka om samarbete är lönsamt sett ur de separata företagens synpunkt. Ett helhetsperspektiv på industrin ger andra möjligheter än när enskilda processer betraktas, vad som är optimalt på en lägre nivå behöver inte vara det för företaget som helhet.

Om systemgränsen vidgas ytterligare och en industri och ett energibolag betraktas som ett enhetligt system tillkommer relationerna mellan industrin och energileverantören, mellan leverantören och dess kunder och dessutom kan det finnas andra producenter av el och värme inom systemets gränser. I ett system på t.ex. kommunnivå är det inte alls säkert att resultatet av en optimering ger samma resultat som den gör om systemgränsen dras kring enbart industrin.

Systemets omgivning kan definieras som de faktorer som inte hör till systemet men på något sätt påverkar det. Exempel på sådana faktorer kan vara nationell lagstiftning, ekonomiska och politiska styrmedel, EU-direktiv och marknadsaspekter. Systemets omgivning är oändligt stor om alla faktorer som kan påverka systemet på ett eller annat sätt betraktas. I ett längre perspektiv är det möjligt att systemet påverkar omgivningen och inte bara tvärtom, men när en systemgräns dras är det nödvändigt att förenkla så mycket att omgivningen ses som stabil och opåverkbar.

METOD OCH AVGRÄNSNING

Metoden som använts för att uppfylla syftet har i en övergripande mening utgjorts av en fallstudie. För mera utförliga metodbeskrivning av fallstudier inom energiområdet hänvisas till Thollander (2008) och Thollander och Ottosson (2008). Inledningsvis har ett antal kvalitativa, semi-strukturerade, djupintervjuer genomförts med respondenter i industri- och energibolag som är eller har varit involverade i ett värmesamarbete. Intervjuerna gav upphov till en rad begränsade såväl som framdrivande faktorer som påverkar ett samarbete. För att erhålla en mer strukturerad bild av det hela genomfördes i ett andra led, efter intervjuundersökningen, en enkätstudie där respondenterna ombads besvara en enkät beträffande faktorer som påverkar ett värmesamarbete. Enkäten har tagits fram genom en litteraturstudie av tidigare forskning i Sverige relaterad till hinder och drivkrafter, en workshop med representanter ifrån branschföreningen Svensk Fjärrvärme, och representanter ifrån olika energibolag, samt baserades på de faktorer som uppkom vid de kvalitativa djupintervjuerna.

Eftersom intervjuerna kan ge upphov till information som är känsliga att delge, har samtliga fall och respondenter anonymiserats. I arbetet har det valts att avgränsa sig till samarbete mellan industri och energibolag, det vill säga samarbete mellan två energibolag har exkluderats. Tre olika typer av samarbeten har studerats avseende i huvudsak tre olika tekniklösningar: en direkt fjärrvärmeanslutning där industrin tidigare haft egna pannor, ett värmepannsamarbete³, och en gemensam kraftvärmeanläggning. Ett fjärde fall, spillvärmesamarbete, var också planerat att studeras. På grund av de affärshemligheter som uppgavs ligga till grund för detta förhållandevis nya samarbete som avsågs att studeras och det faktum att nya samarbeten med ytterligare aktörer diskuterades var denna industri motvilligt inställda till att delta varför detta fjärde fall fick utgå. Frånsett detta fall valde samtliga tillfrågade respondenter att delta i studien. Totalt har 12 djupintervjuer genomförts, sex stycken med energibolag och sex stycken med industrin. Enligt systemforskare som exempelvis Boulding (1956) är studier av interaktion människa-teknik eller människa-människa bland det mest komplexa system som går att studera. Det är därför viktigt att betona att trots forskningsmässigt höga ambitioner så kan respondentens svar exempelvis innehålla olika grader av korrekthet. Exempelvis så finns en risk att en respondent svarar så som han eller hon tror att forskaren vill att han eller hon ska svara, s.k. SDB (Social Desirability Bias). Det bör även noteras att det vid analysen av enkätsvaren görs förenklingar, dvs. de rankade hindren och drivkrafterna innehåller flera perspektiv än bara en kvantifierad siffra.

³ Industrin erhåller fjärrvärme upp till en viss utomhustemperatur. Därefter går industrins pannor in och tar topplasten. Således utgör samarbetet inte bara en ren fjärrvärmeanslutning utan också gemensam drift av panncentralen.

RESULTAT FRÅN INTERVJUERNA

Heterogenitet

Med *heterogenitet* menas att det i olika företag finns skillnader i förutsättningar såsom produktion etc. som gör att det är svårt att dra generella slutsatser om möjligheterna att implementera en viss teknik på ett specifikt företag. En viss teknik kan vara tekniskt gångbar i ett sammanhang, men inte i ett annat, beroende på individuella variationer.

Detta hinder har inte visat sig ha någon större betydelse i de studerade fallen. Det vill säga, det har inte varit tekniken såsom pannor, värmeväxlare, rör etc. som spelat en avgörande roll i uppgörelsen. Faktum är att detta inte nämnts av någon av de intervjuade respondenterna som ett avgörande hinder, vare sig ifrån industrin eller ifrån energibolagen, beträffande själva samarbetet. Det bör emellertid nämnas att i ett framgångsrikt samarbete hade industrins primärkrets, initialt innan samarbetet påbörjades, alldeles för höga temperaturnivåer i jämförelse med fjärrvärmesystemets. Den tillverkande industrin valde då att påbörja ett arbete med att sänka temperaturnivåerna, något som föll väl ut.

En faktor relaterade till heterogenitet är teknikutvecklingen och att möjligheterna till fjärrstyrning gjort att samarbeten underlättats idag. Ett energibolag kan sköta driften av en panncentral belägen på en industri utan att ständigt behöva vara på plats.

I ett annat fall där en uppgörelse inte kom till stånd har det efter ett antal år kommit upp ett önskemål om att den aktuella industrin vill leverera värme till fjärrvärmenätet med hjälp av sin nybyggda panncentral under tider då företaget ställer om sin produktion. På grund av baslastpannans fastbränsleförbränning kan inte effekten i pannan regleras momentant. Istället för att idag kyla bort överskottsvärmen under tider då produktionen ställer om så är tanken att industrin kan leverera ut detta på fjärrvärmenätet. I det aktuella fallet visade sig emellertid den potentiella leveransen inte vara optimal, främst på grund av att det uppstår obalans i fjärrvärmenätet.

Dolda kostnader

Dolda kostnader menas utgöra en av de viktigaste förklaringarna till förekomsten av ett energieffektiviseringsgap vad gäller energieffektiv teknik. Dolda kostnader delas in i tre kategorier:

- Overheadkostnader för exempelvis energiledning
- kostnader förenade med en viss teknikinvestering
- förlorade fördelar vid investering i energieffektiv teknik

Overheadkostnader för energiledning omfattar bland annat kostnader för insamling av data och kostnader för specialistkompetens. Kostnader för en viss investering omfattas bland annat av kostnaden för att identifiera möjligheterna och kostnaderna förenade med ansökning om pengar till en investering.

I de studerade fallen har det vid förhandlingar, avtalsförberedelser och underlagsrapporter i vissa fall tagits in externa resurser i form av teknikkonsulter och jurister men kostnaderna för dessa har inte nämnts som en faktor som påverkat beslutet. Flera energibolag har alltså valt att ta ökade overheadkostnaderna som ett led i att stärka relationen med kund. VDn för ett energibolag som lyckats etablera ett samarbete uttryckte sig på följande sätt:

”Jag plockade in precis rätt folk till detta”

I de studerade fallen har således intervjuerna visat att dolda kostnader inte utgör en väsentlig faktor som påverkar beslutet och förhandlingarna negativt i någon av de tre nämnda kategorierna. Snarare kan det istället vara viktigt att ta i beaktande ökade overheadkostnader för att lyckas etablera ett samarbete, mer om detta i senare delar av resultatkapitlet.

Tillgång på kapital

Begränsad *tillgång på kapital* lyfts fram som ett av största hindren för energieffektiviseringar och kan utgöra en naturlig begränsning vid investeringar i energieffektiv teknik. Att låna vid en investering är i de studerade fallen ofta ett måste och kan för vissa aktörer som exempelvis mindre företag vara förenat med höga kostnader.

Ett tilltänkt samarbete, där även avsiktsförklaring skrivits på, föll till följd av att man i energibolagets investeringskalkyl räknat med så kallat KLIMP-bidrag. Då bidrag inte erhöles, drog sig industrin till slut ur. Även om detta är relaterat till tillgång på kapital så har det under intervjuerna visat sig att bristande tillgång på kapital i regel inte lyfts fram av respondenterna som en betydande faktor som begränsat samarbetet. Snarare har lönsamheten bland de studerade energibolagen varit hög:

”Vi har haft tur och gjort goda affärer så vi har god lönsamhet”

Något som påverkat samarbetena positivt är de stigande energipriserna som påverkat lönsamhetskalkylerna positivt:

”Oljepriserna har ju hjälp till”

Viljan att investera, eller energibolagets och industrins riskaversion, information och förtroende har emellertid visat sig spela en betydligt större roll, något som presenteras nedan.

Risk

Hur ett företag relaterar till *risk* (riskaversion) är en fråga av central betydelse avseende investeringsbeslut beträffande energieffektiv teknik. Risk kan delas in i tre grupper.

- Externa risker såsom förändrat energipris med mera
- Affärsmässiga risker såsom konjunktursvängningar, risker med belåning och betalningsförmåga
- Tekniska risker som teknikens tillförlitlighet och prestanda

I de studerade fallen har olika grader av riskaversion visat sig vara av avgörande betydelse. En respondent från ett energibolag uttryckte sig så här:

”Skulle vi skrivit på skulle vi gått under”

I det aktuella fallet hade förhandlingarna enligt respondenten blivit så ofördelaktiga för energibolaget att det skulle ha resulterat i endera en konkurs eller mer sannolikt ett ägarbyte. En industrirepresentant menade att storleken på energibolaget, i det aktuella fallet avseende om energibolaget är kommunalägt eller del av en större vinstdrivande koncern, är av väsentlig betydelse vad avser möjligheterna att nå fram till en affärsupp-görelse eftersom detta ökar energibolagets möjligheter att ta affärsmässiga risker:

”Hos kommunen finns det ibland ett motstånd mot att leverera mot en sån här typ av industri”

”Energibolaget (EB) är för litet”

”Vi har ju aldrig varit tveksamma men på EB (Energibolaget) har det ju funnits ett litet motstånd”

En annan faktor relaterad till risk är om energibolagets eller industrins pannor är relativt nya eller om det krävs utbytesinvesteringar eftersom det senare fallet ökar energibolagets eller industrins vilja att ta en risk vad gäller ett potentiellt samarbete. En annan faktor som positivt påverkat villigheten att ta risken och ge sig in i ett samarbete är att ett tillverkande företag, innan samarbetet initierades, lyfte upp energifrågan på en strategisk nivå:

”Jag tror att vi tecknat avtal ändå men det är klart att det här drev på (underförstått den antagna energistrategin)”

En faktor nära knutet till energistrategi är affärsstrategi då det senare i allra högsta grad påverkar företagets riskaversion. I ett lyckat samarbete har energibolaget under många år haft en offensiv roll vad gäller att knyta större aktörer med egen värmeproduktion till sig. När pannorna varit i större behov av renoveringar etc. hos dessa aktörer har energibolaget istället gått in och tagit över pannorna. I ett fall där ett samarbete inte lyckades komma till stånd menade en industrirepresentant att bristen på strategi hos energibolaget var ett hinder vid samarbetet:

”Vad har de (Energibolaget) för strategier... det är ju så kortsiktigt allt de gör”

I ett fall menade en industrirepresentant att det faktum att energibolaget ekonomiskt gått mycket bra påverkade riskaversionen negativt:

”Varför ska man ta en risk när man tjänat så mycket”

Ett problem, relaterat till riskaversion är att ett kommunalägt energibolag ytterst har medborgarna i kommunen som ägare och detta hämmar risktagandet. En energibolagsrepresentant uttryckte sig på följande sätt:

”Vi har ju medborgarnas intressen att arbeta för och detta är ju ett problem. Det känns tyngre att man måste stå till svars för medborgarna”

Ytterligare en faktor som påverkar är eventuella ägarbyten eller nedläggning av verksamheten:

”Den största risken vi har är ju att industrin lägger ned”

En respondent har även nämnt värmesamarbete som ett sätt för kommunen att minska risken för att en industri läggs ned. Risken för att energibolaget köps upp har också nämnts som en viktig faktor att ta med:

”Det är en springande punkt att kommunen inte går och säljer energibolaget fast det går inte att skriva i avtalet.”

En kort summering av intervjuresultaten beträffande risk visar att detta är en av nyckelfaktorerna att ta i beaktande vid ett tilltänkt samarbete mellan industri och energibolag.

Imperfekt information

Imperfekt information innebär att en kostnadseffektiv energieffektivisering förhindras av att en aktör tagit del av delvis missvisande eller otillräcklig information vilket i sin tur leder till att fördelar med en viss energieffektiv teknik eller tjänst inte framkommer. Vad gäller samarbeten har detta visat sig vara av avgörande betydelse. Respondenter från samma energibolag, med en misslyckad uppgörelse bakom sig, uttryckte sig på följande sätt:

”Det stora i det här är att de inte kunde det här...då satt de alltså här ute och räknade, de hade ingen extern konsult”

”...de utgick ifrån naturgas och det är ju en informationsbrist och det ligger ju på Ener-gibolagets sida att förklara”

”Vi förhandlade med några som inte förstod sig på något om bioeldning”

På en industri nämndes brist på kompetens och kunskap inom koncernen som ett problem:

”...mer med kompetens och kunskap att göra...inom koncernen finns det ingen som har koll. Ingen där som ser helheten och som kan se helheten”

Duktiga medarbetare påtalade VDN, för ett energibolag med flera fungerade värmesamarbeten, som en mycket viktig faktor.

En annan faktor som visat sig utgöra en katalysator i flera samarbeten har varit att ett Universitet varit involverade och byggt optimeringsmodeller över energisystemet på or-

ten. Med detta som grund har sedan de faktiska monetära fördelarna med ett samarbete kunnat påvisas av en oberoende part. Ett framgångsrikt sätt att överbrygga problem med imperfekt information är således att ta fram en optimeringsmodell där även industriella aktörers värmelaster inkluderas.

Asymmetrisk information

Asymmetrisk information är en av de mest omnämnda förklaringsvariablerna till förekomsten av ett energieffektiviseringsgap. Hindret består i korthet av att en aktör inte vinner något på att effektivisera eftersom vinsten riskerar eller nyttan tillfaller en annan aktör eller att det uppstår en risk på grund av att den ena parten inte kan observera den andra parten. Till följd av bristande tilltro vill den överordnade styra den underställda. Detta kan ta sig uttryck både inom organisationer och i marknadsrelationer. I det inomorganisatoriska fallet tar det sig ofta uttryck i form av ökad styrning av de underordnades grad av handlingsfrihet. I ett lyckat fall uttryckte sig VDN för energibolaget på följande vis:

”Ett problem är när linjeförstärkningen på industrin vill behålla sina gubbar inom organisationen, han vill ha kvar ansvaret över pannorna i egen regi”

I sådana fall har timingen visat sig vara mycket viktig:

”Sen är det ju timingen som är väsentlig... personalbyte, pensionering och ett intresse för att göra något åt sin energisituation”

En typ av asymmetrisk information har visat sig inom ett kommunalägt energibolag där politiker tryckt på energibolaget hårt vad gäller att presentera en låg investeringskalkyl för att få till stånd en nyetablering av en industri. Således var inte själva samarbetet det huvudsakliga utan det faktum att kommunen ville att industrin skulle etablera sig på orten. I det aktuella fallet pressades kalkylerna hårt för att matcha omkringliggande kommuner. Bland annat inkluderades ett 30-procentigt bidrag från KLIMP i energibolagets investeringskalkyl, detta trots att det inte var klart med ett sådant bidrag. När bidrag sedan inte erhöles ville industrin inte ta kostnadshöjning som blev fallet och avsiktsförklaringen revs på industrins initiativ.

I ett par fall har en omorganisation i industrin, där energifrågan istället hamnat i en egen grupp eller i ett eget bolag, öppnat upp möjligheterna för ett samarbete:

”Industrin delades...mitten på 90-talet...en part skötte leveranserna till båda...plus att de (industrin) infört fastighetsförvaltning”

”Det (energifrågan) har inte hamnat längst ned i någon driftorganisation utan det har blivit X (Fastighetsförvaltningsbolaget) och det är deras kärnkompetens”

En typ av asymmetrisk information har således kunnat skönjas där kontrollen över det

egna manskapet och värmeproduktionen har velat behållas inom ramen för den egna verksamheten. En annan typ av asymmetrisk information har visat sig under intervjuerna, nämligen den beträffande statens eller den offentliga sektorns styrning vad gäller energifrågan. Vad gäller miljö tillstånd har detta inte visat sig vara så lätt:

”Vi hade mycket krångel med miljö tillståndet”

I ett fall där ett samarbete avbröts och industrin valde att investera själva upplevdes tillståndsprövningen orättvis:

”Vi hade ju jättesvårt att få miljö tillstånd. Vi höll på jättelänge med Länsstyrelsen och sen får industrin det på en vecka!”

Även om denna studie berör samarbete mellan industri och energibolag så framkom det även under intervjuerna liknande problem med tillståndsprövningar vad gällde vindkraftsetablering:

”X (industri) lämnande in ansökan om vindkraft...det gick inte igenom...Y (en industri i samma koncern men i ett annat europeiskt land) lämnande in...och det gick igenom ett år senare...min uppfattning är att kraven idag snarare är hämmande....ett annat problem är hoppigheten i lagstiftningen...ryckigheten i energipolitiken har varit ett stort hinder...brist på långsiktighet”

Ett par faktorer som framkommit under intervjuerna som minskar problematiken med asymmetrisk information är att engagera personalen och det faktum att en industri är en stor fabrik inom sin koncern:

”Nyckeln till framgång är att få med personalen”

”En sak som gjort att vi kunnat driva det här inom koncernen är att vi är en stor site inom koncernen”

Trovärdighet och förtroende

Trovärdighet och förtroende är viktigt vid informationsöverföring eftersom mottagaren av informationen måste ha förtroende för den som ger information. Om detta saknas finns det en risk att informationen negligeras. Förtroendet beror exempelvis av tidigare erfarenheter av den som ger informationen och även vad andra källor uppger sig ha för syn på informationsgivaren. Informella personliga kontakter och rekommendationer har visat sig bättre på att överföra information än böcker och generella skriftliga rekommendationer.

VDar för två olika Energibolag uttryckte sig på följande sätt:

”Vi är trovärdiga när vi kommer ut och lever upp till det vi säger... när man förhand-

lar med industrin så måste man veta vad man pratar om annars genomskådar de detta direkt...sen måste man kunna språket, det affärsmässiga och det tekniska”

”Fundamentalt, övertyga om att vi inte är en kommun, offentligheten...samma villkor som industrin”

Mycket intressant att notera är att en industrirepresentant i en annan kommun sade precis likadant om VDn för energibolaget:

”Organisationen på värmeverkssidan var oerhört professionell. Han (VDn) var exemplarisk. Han var oerhört kompetent. Sen var han en hedersman. Det han sa det stod han för”

Den kommunala stämpeln kan ibland utgöra ett hinder med långa beslutstider etc. VDn för ett kommunalägt bolag uttryckte sig på följande sätt:

”Man får kasta bort allt vad kommunalt tänk heter”

Tröghet

Beteendeforskning lyfter fram *tröghet* som ett hinder för energieffektivisering. Tröghet kan sammanfattas i att en individ eller individer är motståndare till förändringar och detta rättfärdigas ofta genom att förkasta information som motsätter sig den rådande ordningen. Detta riskerar i sin tur att leda till att möjligheter förkastas:

”Hos kommunen finns det ibland ett motstånd att leverera till en sådan här typ av industri”

Bilden som växt fram under intervjuerna är att samarbeten mellan industri och energibolag i regel tar lång tid att få till stånd:

”1999 påbörjade vi förhandlingarna med X (Industrin) och det tog tre år och det berodde på många vändor inom industrin”

”Det tar tid att etablera ett sådant här typ av samarbete”

”Men det är ju långa processer. Vi har ju haft kontakt med X (industrin) i 20 år”

Under intervju efter intervju, både med industri och energibolag, har vikten av att se på möjligheterna upprepat sig gång på gång:

”Det gäller att se möjligheterna”

”Man får inte vara nöjd och det tror jag är lätt i den här branschen... det har varit lätt att tjäna pengar”

”...sen måste man hitta människor på båda sidor som ser möjligheterna, utan att bevaka sin position... att man ser möjligheterna...”

Värderingar

Motsatsen till tröghet är ju individer och organisationer som är drivande. Miljömässiga *värderingar*, individuella såväl som organisatoriska, kan således påverka beslut om energieffektivisering i en positiv riktning. Värderingar rörande energieffektivisering och hänsynstagande till miljön utgör således en förklaringsvariabel till villigheten att investera i energieffektiv teknik.

VDn för ett energibolag, som tidigare jobbat inom den privata sfären, svarade på följande sätt på frågan varför de (Energibolaget) varit så expansiva:

”Det beror på en drivande VD. Ja jag vill inte framhäva mig, men visst spelar det roll. X (en energibolagschefskollega) är ju en förebild för mig... just nu håller vi på att undersöka möjligheterna till vindkraft.”

En drivande person kan åstadkomma mycket. Samma energibolag har, som ett led i att förbättra samarbeten med industrin och förstärka bolagets affärsmässigheten, utöver de politiskt tillsatta i Energibolagets styrelse, valt att ta in två stycken industrirepresentanter:

”Detta är lite speciellt detta med vår styrelse. Vi har nämligen två industrirepresentanter... de tillför den i övrigt politiskt tillsatta styrelsen mycket erfarenhet”

I ett fall uttryckte sig en energibolagschef på följande sätt om en industri som tidigare varit svår att etablera samarbete med och där man nu har ett väl fungerade samarbete:

”Sen har de bytt ledning (på industrin)...ett ungt ledargång som inser miljöfokus”

Vad gäller samarbete mellan industri och energibolag har miljövärderingar visat sig vara av mycket stor betydelse:

”Det tyngsta är ju miljöskälet att vi gör så här”

”Vi jobbar inte bara med lönsamheten utan även med miljön”

”Energipriser, ja, men miljövinsten är det stora, ekonomiskt är det ett nollsummespel. Miljön är viktig, det är det övergripande”

En mycket betydande faktor, som påtalats både från energibolag och från industrin, i ett bordlagt samarbete, var det faktum att den förhandlande parten från industrin kom ifrån företagets huvudkontor lokaliserat utanför Sverige. Under förhandlingarna framkom betydande skillnader i vad som upplevs vara gängse praxis vid ett förhandlingsbord. Affärsmässigheten upplevdes, från huvudkontorets representanter, inte vara

så stor ifrån energibolagets sida, medan både industri och energibolagsrespondenter påtalat skillnaden i kultur som en orsak till att förhandlingarna inte fungerade smärtfritt:

”Sen var det ju X (nationalitet)”

”X (nationalitet) är drivna människor”

För att övervinna tröghet hos individer och inom organisationer visar sig således ledarrollen spela en mycket stor roll och i synnerhet de värderingar som individer och organisationer har.

RESULTAT FRÅN ENKÄTEN

Som ett andra steg i intervjuundersökningen genomfördes en enkätundersökning där respondenter ifrån energibolag och industri ombads fylla i relevansen av olika framgångsfaktorer vid samarbete mellan industri och energibolag. Som det också påtalats tidigare i rapporten utgör de inkluderade faktorerna ett axplock av en i princip oändlig kedja av faktorer. Genom bland annat en litteraturstudie beträffande faktorer som påverkar detta och genom att be referensgruppen och kollegor ta del av enkäten innan utskick har emellertid ett begränsat antal faktorer, som kan anses vara av betydelse, inkluderats. Resultatet från enkäten presenteras i figur 1.

Marknadsrelaterade drivkrafter

Bland de högt rankade marknadsrelaterade drivkrafterna återfinns önskan om minskade kostnader, samt de goda affärsrelationerna med fjärrvärmebolaget. Intressant att notera är att diskrepansen är stor mellan energibolagen och industrins svar. Medan industrin värderar minskade kostnader betydligt högre än energibolaget så värderar energibolagen de goda affärsrelationerna och effektiv marknadsföring högre. Svaren, bland de lägre rankade faktorerna visar också att industrin är intresserade av så kallade energitjänstlösningar i form av drift och underhåll och tredjepartsfinansiering.

Styrmedel som påverkar svensk industri

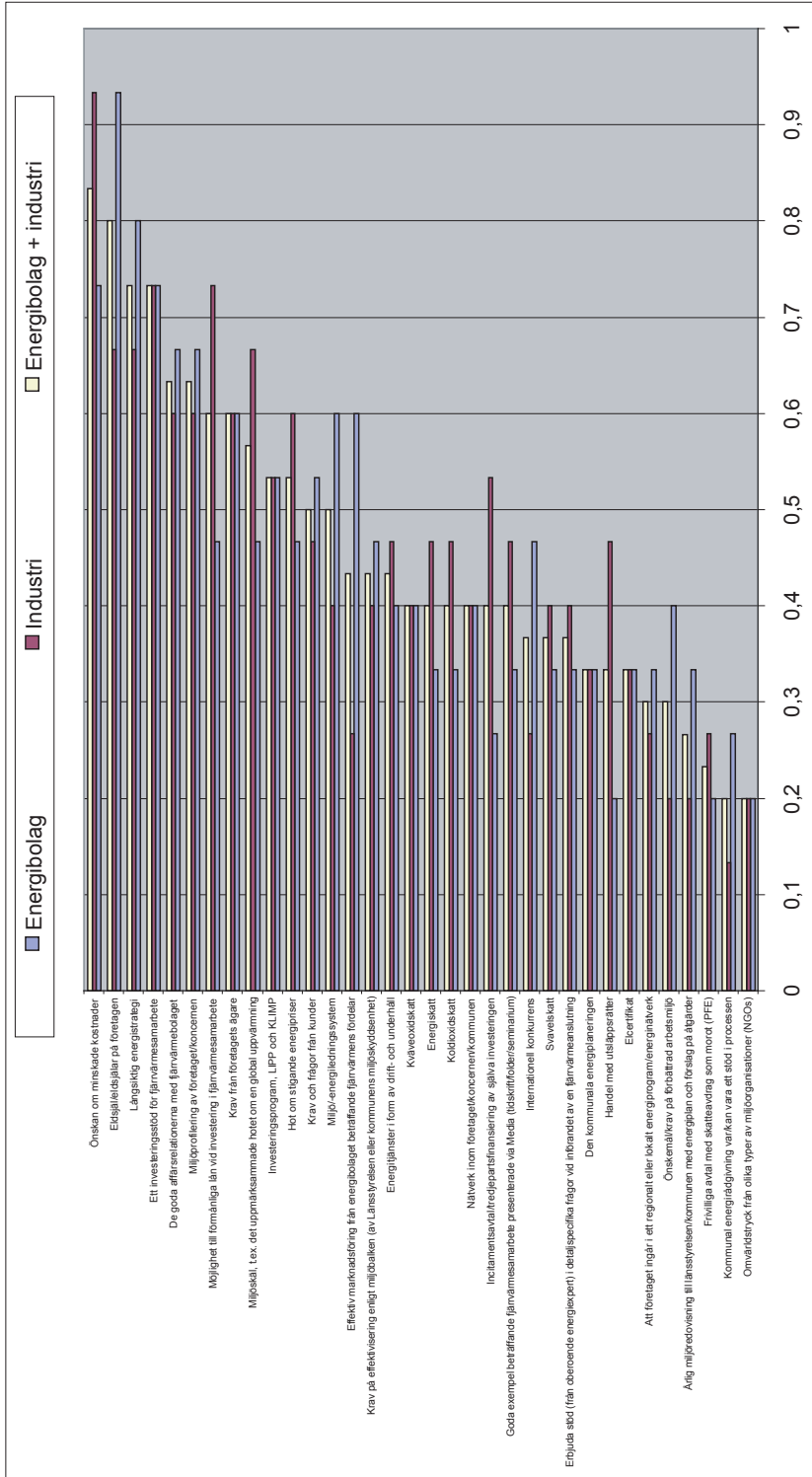
Bland de nuvarande eller tidigare styrmedlen som påverkar ett samarbete visade sig bara ett, investeringsprogram som LIP och KLIMP, vara förhållandevis högt rankat. Intressant att notera är emellertid att industrin i regel värderar de nuvarande styrmedlen högre än energibolagen som en faktor som driver fram ett samarbete.

Potentiella framtida industriella styrmedel

Bland de olika typer av styrmedel som inte förekommer idag men som har potential att införas inom svenskt näringsliv visade sig ett investeringsstöd för fjärrvärmesamarbete vara högt rankat. Även förmånliga lån rankades förhållandevis högt, inte minst från industrin.

Beteende och organisatoriska drivkrafter

Av de sex högst rankade framgångsfaktorerna återfinns fyra inom kategorin beteende- och organisationsrelaterade faktor. Dessa fyra var eldsjäl/eldsjälar på företaget, långsiktig energistrategi, krav från företagens ägare, samt miljöprofilering av företaget/koncernen. Högt rankad bland industrirepresentanterna var även miljöskäl, t.ex. det uppmärksammade hotet om en global uppvärmning. Intressant att notera även här är att diskrepansen är stor mellan energibolagen och industrins svar beträffande i synnerhet förekomsten av en eldsjäl. Energibolagen värderar en eldsjäl betydligt högre än industrin för att få till stånd ett samarbete.



Figur 1 Poängsatt viktad sammanställning av framgångsfaktorer för samarbete. (Alltid viktigt=1; Ofta viktigt=0,67; Ibland viktigt=0,33; Sällan/aldrig viktigt=0.)⁴

4 Enkäten återspeglar svaren från 10 respondenter, fem från energibolag och fem från industrin.

SLUTSATS OCH DISKUSSION

Det har inte visat sig vara tekniken såsom pannor, värmeväxlare, rör etc. som spelat en avgörande roll i ett samarbete. Heterogenitet visade sig således inte ha någon större betydelse i de studerade fallen. Dolda kostnader visade sig inte heller utgöra en väsentlig faktor som påverkar beslutet och förhandlingarna negativt i någon av de tre nämnda kategorierna. Snarare kan det istället vara viktigt att ta i beaktande ökade overhead-kostnader för att lyckas etablera ett samarbete.

Bristande tillgång på kapital har under intervjuerna inte lyfts fram av respondenterna som en betydande faktor som begränsat samarbetet. Snarare har lönsamheten bland de studerade energibolagen varit hög.

I de studerade fallen har olika grader av riskaversion visat sig vara av avgörande betydelse. Bland annat påverkar det ett eventuellt samarbete om energibolagets eller industrins pannor är relativt nya eller om det krävs utbytesinvesteringar eftersom det senare fallet ökar energibolagets eller industrins vilja att ta en risk vad gäller ett potentiellt samarbete. En annan faktor som positivt påverkat villigheten att ta risken och ge sig in i ett samarbete är att ett tillverkande företag, innan samarbetet initierades, lyfte upp energifrågan på en strategisk nivå.

Ytterligare en faktor kopplat till risk och knutet till energistrategi är affärsstrategier då det senare i allra högsta påverkar företagets riskaversion. I ett lyckat samarbete har energibolaget under många år haft en offensiv roll vad gäller att knyta större aktörer med egen värmeproduktion till sig. När pannorna varit i större behov av renoveringar etc. hos dessa aktörer har energibolaget istället gått in och tagit över pannorna. I ett fall där ett samarbete inte lyckades komma till stånd menade en industrirepresentant att bristen på strategi hos energibolaget var ett hinder vid samarbetet. Ytterligare en faktor som påverkar är eventuella ägarbyten eller nedläggning av verksamheten. En respondent har även nämnt värmesamarbete som ett sätt för kommunen att minska risken för att en industri läggs ned. Risken för att energibolaget köps upp har också nämnts som en viktig faktor att ta med. En kort summering av intervjuresultaten beträffande risk visar att detta är en av nyckelfaktorerna att ta i beaktande vid ett tilltänkt samarbete mellan industri och energibolag.

Vad gäller samarbeten har imperfekt information också visat sig vara av avgörande betydelse, inte minst vid själva förhandlingen. Att aktörerna har korrekt information är således av stor vikt. En parameter som visat sig utgöra en katalysator i flera samarbeten har varit att ett Universitet varit involverade och byggt optimeringsmodeller över energisystemet på orten. Med detta som grund har sedan de faktiska monetära fördelarna med ett samarbete kunnat påvisas av en oberoende part. Ett framgångsrikt sätt att överbrygga problem med imperfekt information är att en oberoende aktör som exempelvis ett Universitet tar fram en optimeringsmodell som även inkluderar industriella aktörers värmelaster.

Asymmetrisk information kan ta sig uttryck både inom organisationer och i marknadsrelationer. En typ av asymmetrisk information som visat sig påverka själva samarbetet var att det huvudsakliga var inte värmesamarbetet utan det faktum att kommunen ville att industrin skulle etablera sig på orten. När KLIMP-bidraget, som inkluderats i kalkylen uteblev drog sig industrin ur samarbetet. En annan typ av asymmetrisk information som uppkommit under intervjuerna, är den beträffande statens eller den

offentliga sektorns styrning vad gäller energifrågan. Vad gäller exempelvis miljötillstånd har detta inte alltid varit så lätt, något som enligt respondenterna varit hämmande för ett samarbete. En faktor som visat sig minska asymmetrisk information och öppnat upp möjligheterna för ett samarbete är när energifrågan istället hamnat i en egen grupp eller i ett eget bolag där energifrågan är kärnverksamhet. Vidare har det visat sig viktigt att engagera personalen och att möjligheterna för industrin att gå in i ett samarbete underlättas om man är en stor fabrik inom sin koncern.

Trovärdighet och förtroende beror exempelvis av tidigare erfarenheter av den som ger informationen och även vad andra källor uppger sig ha för syn på informationsgivaren. Informella personliga kontakter och rekommendationer har visat sig bättre på att överföra information än böcker och generella skriftliga rekommendationer. Att kunna både uppvisa god kompetens både affärsmässigt och tekniskt har visat sig oerhört betydelsefullt. Vidare att så långt det är möjligt tvätta bort energibolagets kommunala stämpel. Både ifrån energibolagets och industrins sida kan det därför finnas incitament att ta in en extern part.

Tröghet bland individer och inom organisationer har visat påverka samarbeten. Industrin har ibland upplevt att funnits ett motstånd att leverera till en sådan här typ av industri. Vidare har intervjuerna visat att samarbeten mellan industri och energibolag i regel tar mycket lång tid att få till stånd. För att övervinna individers och organisationers tröghet har det visat sig viktigt att istället se möjligheterna med samarbetet snarare än de problem som dyker upp. En chef som utgör ett föredöme och som är drivande har visat sig oerhört betydelsefull. Vidare att det den politiskt tillsatta styrelsen för energibolaget, inkluderar representanter från industrin.

Vad gäller samarbete mellan industri och energibolag har miljövärderingar visat sig vara av mycket stor betydelse. Kulturella hinder har visat sig vara hämmande och är en faktor som är viktig att ta med sig in i förhandlingar med en motpart från en annan kultur.

Bland de högt rankade framgångsfaktorerna återfanns fyra av de sex högsta inom kategorin beteende- och organisationsrelaterade faktor vilket tyder på det främst är inomorganisatoriska och individrelaterade faktorer som är av betydelse, något som intervjuerna också påvisade. Den högst rankande faktorn bland de marknadsrelaterade faktorerna var naturligt en önskan om minskade kostnader. Intressant att notera är att diskrepansen var stor mellan energibolagen och industrins svar. Medan industrin värderar minskade kostnader betydligt högre än energibolaget så värderar energibolagen de goda affärsrelationerna och effektiv marknadsföring högre. Svaren, bland de lägre rankade faktorerna visar också att industrin är intresserade av så kallade energitjänstlösningar i form av drift och underhåll och tredjepartsfinansiering, något som således torde vara viktigt för energibolagen att erbjuda för att få till stånd ett samarbete. Bland de styrmedel som påverkar industrin visade sig investeringsprogram som LIP och KLIMP vara högst rankat. Intressant att notera även här är att industrin i regel värderar de nuvarande styrmedlen högre än energibolagen som en faktor som driver fram ett samarbete. Detta beror sannolikt till stor del av att det administrativa arbetet dessa styrmedel för med sig, exempelvis handel med utsläppsrätter, minskar för industrin vid ett samarbete. Således kan detta vara en viktig faktor att använda sig av från energibolagets sida

när man arbetar med att etablera ett samarbete med industrin. Det faktum att investeringsprogrammen, LIP och KLIMP, är bland de högt rankade talar för att denna typ av styrmedel har varit framgångsrikt, och borde övervägas som framtida styrmedel om staten ämnar satsa på ökad grad av resurshushållning. Bland de potentiella styrmedlen visade sig ett investeringsstöd för fjärrvärmesamarbete vara högt rankat. Även förmånliga lån rankades förhållandevis högt, inte minst från industrin. Som nämndes tidigare talar detta således också för att en typ av styrmedel inriktat i form av ett investeringsstöd torde främja framtida värmesamarbeten mellan industri och energibolag.

En liten men dock mycket viktig slutsats från denna studie är att det vid ett samarbete mellan industri och energibolag är oerhört viktigt att vårda affärsrelationen. Det som i dagligt tal kallas personkemi har visat sig spela en mycket viktig roll. Ett lyckat samarbete handlar mera om engagerade individer och organisationer där relationen mellan de båda parterna fungerar, än om fungerande teknik.

REFERENSER

- Björkqvist O., 1996. Perspectives on demand-side energy efficiency. Doktorsavhandling. Göteborg: Chalmers tekniska högskola.
- Boulding, K.E., 1956. General System Theory – The Skeleton of Science. Management Science Vol.2 , No.3, pp. 197-208.
- CADDET, 1995. Learning from experiences with energy management in industry. Sittard, Den Haag, Nederländerna.
- Churchman, C., 1968. The systems Approach. Dell Publishing Co., Inc., New York.
- de Groot, H., Verhoef, E. och Nijkamp, P., 2001, Energy saving by firms: decision-making, barriers and policies, Energy Economics Vol.23 , No.6, pp. 717-740.
- del Rio González, P., 2005. Analysing the factors influencing clean technology adoption: A study of the Spanish pulp and paper industry. Business Strategy and the Environment Vol.14 , No.1, pp. 20-37.
- EC (European Commission), 2006. Directive 2006/32/EC of the European Parliament and of the Council of 5 April 2006 on energy end-use efficiency and energy services and repealing Council Directive 93/76/ EEC, Brussels.
- Gebremedhin, A., 2003. The role of a paper mill in a merged district heating system, Applied Thermal Engineering, Vol.23, No.6, pp. 769-778.
- Grönkvist, S. och Sandberg, P., 2006. Driving forces and obstacles with regard to co-operation between municipal energy companies and process industries in Sweden, Energy Policy Vol.34 , No.13, pp. 1508-1519.
- Johansson, B., Modig, G. och Nilsson, L.J., 2007. Policy instruments and industrial responses – experiences from Sweden. In: Proceedings of the 2007 ECEEE summer study “Saving energy - just do it”, Panel 7, 1413-1421.
- Jönsson, J. och Algehed, J., 2008. Economic trade-offs between internal and external use of excess heat from kraft pulp mills in Sweden, Proceedings of the 19th International Conference of Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, ECOS, 2008, pp. 965-972.
- Jönsson, J., Svensson, I.L., 2008. Excess heat from kraft pulp mills: Trade-offs between internal and external use in the case of Sweden – Part 2: Results for future energy market scenarios. Energy Policy Vol.36 , No.11, pp. 4186-4197.
- Klugman, S. et al., 2007. An Integrated Chemical Pulp and Paper Mill – Energy Audit and Perspectives on Regional Cooperation, Proceedings of the 19th International Conference of Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, ECOS, 2006, pp. 637-644.
- Rohdin, P. och Thollander, P., 2006. Barriers to and Driving Forces for Energy Efficiency in the Non-energy Intensive Manufacturing Industry in Sweden. Energy Vol.31 , No.12, pp. 1836-1844.
- Rydstrand, C., 2005. Fjärrvärme på tre starka ben, Svensk Fjärrvärme (SDHA).
- Sorrell S. et al., 2000. Reducing barriers to energy efficiency in public and private organizations. The European commission.
- STEM (Energimyndigheten), 2007. Energiläget 2007. Energimyndighetens förlag, första upplagan, Eskilstuna:
- Svensson, I.-L., Jönsson, J., 2008, Excess heat from kraft pulp mills: Trade-offs between internal and external use in the case of Sweden – Part 1: Methodology,

Energy Policy Vol.36 , No.11, pp. 4178-4185.

Thollander, P., 2008. Towards increased energy efficiency in Swedish industry – barriers, driving forces and policies. Linköping Studies in Science and Technology, Doktorsavhandling 1214, Linköpings Universitet, Linköping.

Thollander, P. och Ottosson, M., 2008. An energy efficient Swedish pulp and paper industry – exploring barriers to and driving forces for cost-effective energy efficiency investments. Energy Efficiency Vol.1 , No.1, pp.21-34.

Velthuijsen J W., 1995. Determinants of investments in energy conservation. Doktorsavhandling, Rijksuniversiteit, Groningen.

BILAGA 1. FRÅGEFORMULÄR

Drivkrafter för fjärrvärmesamarbete

Frågorna besvaras, om inget annat anges med ett kryss (X). Ett framgångsrikt energi-effektiviseringsarbete omfattas av en rad faktorer, externt såväl som internt på företaget. Utifrån den samlade erfarenhet som finns på Ert företag, hur värderar du följande drivkrafter inverkan på implementeringen (eller ej) beträffande ett fjärrvärmesamarbete mellan fjärrvärmebolag och industri som en energieffektiviserande åtgärd på Ert företag?

Typ av drivkraft	Betygsättning			
	Alltid viktigt	Ofta viktigt	Viktigt ibland	Sällan viktigt
1 Eldsjäl/eldsjälar på företagen driver fram samarbetet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 Långsiktig energistrategi driver fram samarbetet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 Miljö-/energiledningssystem driver fram samarbetet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 Miljöprofilering av företaget/koncernen driver fram samarbetet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 Önskemål/krav på förbättrad arbetsmiljö driver fram samarbetet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6 Önskan om minskade kostnader driver fram samarbetet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7 Nätverk inom företaget/koncernen/kommunen driver fram samarbetet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8 Hot om stigande energipriser driver fram samarbetet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9 Internationell konkurrens driver fram samarbetet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10 Handel med utsläppsrätter driver fram samarbetet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11 Elcertifikat driver fram samarbetet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12 Frivilliga avtal med skatteavdrag som morot (PFE) driver fram samarbetet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13 Krav på effektivisering enligt miljöbalken (av Länsstyrelsen eller kommunens miljöskydds-enhet) driver fram samarbetet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14 Ett investeringsstöd för fjärrvärmesamarbete skulle driva fram ett samarbete	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15 Möjlighet till förmånliga lån vid investering i fjärrvärmesamarbete skulle driva fram ett samarbete	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16 Omvärldstryck från olika typer av miljöorganisationer (NGOs) driver fram samarbetet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17 Erbjudna stöd (från oberoende energiexpert) i detaljspecifika frågor vid införandet av en fjärrvärmeanslutning skulle driva fram ett samarbete	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18 Incitamentsavtal/tredjepartsfinansiering av själva investeringen driver fram samarbetet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19 Energitjänster i form av drift- och underhåll skulle driva fram ett samarbete	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

20	Årlig miljöredovisning till länsstyrelsen eller kommunens miljöskyddsmyndighet med energiplan och förslag på effektiviseringsåtgärder	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21	Tidigare goda exempel beträffande fjärrvärmesamarbete presenterade via Media (tidskrift/folder/seminarium) skulle driva/drev fram ett samarbete	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22	Kommunal energirådgivning var/kan vara ett stöd i processen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23	Krav från företagets ägare driver fram samarbetet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24	Krav och frågor från kunder driver fram samarbetet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25	Att företaget ingår i ett regionalt eller lokalt energiprogram/energinätverk driver fram samarbetet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
26	De goda affärsrelationerna med fjärrvärmebolaget driver fram ett samarbete	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27	Effektiv marknadsföring från energibolaget beträffande fjärrvärmens fördelar driver fram ett samarbete	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28	Koldioxidskatt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29	Energiskatt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
30	Svavelskatt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31	Kväveoxidskatt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
32	Den kommunala energiplaneringen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
33	Investeringsprogram, LIP och KLIMP	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
34	Miljöskäl, t.ex. det uppmärksammade hotet om en global uppvärmning driver fram ett samarbete	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Företagsnamn:		Namn och position:			

Har Ni något ytterligare att tillägga beträffande drivkrafter och hinder för att ansluta till fjärrvärme?

Tack för Din medverkan!



Fjärrsyn – forskning som stärker konkurrenskraften för fjärrvärme och fjärrkyla genom ökad kunskap om fjärrvärmens roll i klimatarbetet och för ett hållbart samhälle, till exempel genom att bana väg för affärsmässiga lösningar och framtida teknik. Programmet drivs av Svensk Fjärrvärme med stöd av Energimyndigheten. Mer information finns på www.svenskfjarvarme.se/fjarrsyn

OPTIMALA FJÄRRVÄRMESYSTEM

Fjärrvärme kan bidra till resurssnåla energisystem som kan minska klimatpåverkan. Här visar forskare hur fjärrvärmens utveckling trots att försäljningen till fastigheter minskar. Fjärrvärme kan bland annat användas i olika industriella processer och för att framställa absorptionskyla när kylbehovet ökar i samhället. Men också bioenergikombinat bidrar till omställningen mot en minskning av de globala CO₂-utsläppen.

För att ta reda på hur svenska fjärrvärmesystem kan bli en ännu mer långsiktig och kostnadseffektiv del av den globala klimatlösningen och hur sådana idéer kan gå från att vara potentiellt lönsamma till faktiska genomförda projekt, analyseras också vilka faktorer som driver fram ett fungerande samarbete mellan en industri och ett energibolag.

Resultaten visar att det finns en stor möjlighet att öka användningen av fjärrvärme inom industriella processer. En ökning från 100 GWh till 300 GWh skulle till exempel kunna göras för de 41 industrier i de sex kommuner som här har analyserats.

