

# Forskarskolan Program Energisystem

Kunskapsutveckling genom samverkan  
mellan teknik- och samhällsvetenskap



Slutrapport





# Forskarskolan Program Energisystem

Kunskapsutveckling genom samverkan  
mellan teknik- och samhällsvetenskap



Slutrapport 2016

**Forskningssyntes för konsortiet  
Industriella energisystem**



Arbetsnotat nr 54  
ISSN 1403-8307

# Sammanfattning

Denna syntesrapport är en sammanfattning och analys av den forskning som bedrivits inom ramen för det Industriella konsortiet från år 1997 (konsortiets verksamhet startade 1999) inom ramen för forskarskolan Program Energisystem. Under denna tid har 25 doktorsavhandlingar och en licentiatavhandling producerats inom det Industriella konsortiet. Avhandlingarna sammanfattas och analyseras i denna syntesrapport och arbetet avgränsas då till att studera avhandlingarnas *Problemområde, Verktyg/Metod/Teori, Systemgräns, studerad Sektor och Övergripande resultat*. Vidare ges, med utgångspunkt från dessa forskningsresultat, förslag på fortsatt forskning för hållbara och effektiva energisystem.

Många viktiga problemområden har studerats inom ramen för forskarskolans Industrikonsortium. Ett flertal avhandlingar behandlar möjligheter att minska utsläppen av växthusgaser från industrin och här har flera sektorer studerats, bland annat massa- och pappersindustrin, järn- och stålindustrin, kemiindustrin och oljeraffinaderiindustrin. Ett centralt tema i avhandlingarna är potentialer för energieffektivisering i industrisektorn, inte minst vid införande av bioraffinaderikoncept i framtiden. Här analyseras t.ex. tekniska potentialer, kostnadseffektivitet för energieffektiviseringsåtgärder, samt betydelsen av energiledning och styrmedel.

I avhandlingarna har en mängd olika metoder och verktyg använts. Den i särklass mest använda vetenskapliga metoden är intervjuer (15) följt av scenarioanalys (10), dokumentstudier (9), simuleringsberäkningar (9), pinchanalys (9) och optimering (8). Fallstudiemetodik där mer än en metod används för att studera ett specifikt fall, t.ex. ett företag, förekommer i flera avhandlingar. En grundtanke i forskarskolan Program Energisystem har varit att forskaren måste vara medveten om att resultat från energisystemanalyser kan påverkas av vilka systemgränser som valts. I flertalet av Industrikonsortiets avhandlingar har Europas elsystem utgjort systemgräns då effekter av förändrad elanvändning eller elproduktion analyserats.

Industrikonsortiets forskningsresultat visar på många intressanta slutsatser. Det påvisas att det finns energieffektiviseringspotentialer både i nya investeringar och i energiledningsåtgärder, som att justera driftsbetingelser för befintlig teknisk utrustning och ändra beteenden. Det konstateras också att energisamarbeten mellan industri och energibolag med syfte att öka användningen av industriell överskottsvärme i många fall är en hållbar lösning som minskar regioners behov av primärenergi och reducerar utsläppen av växthusgaser. Hinder mot sådana samarbeten kan vara att detta inte är en del av industrins kärnverksamhet. Det konstateras även att energisamarbeten

mellan närliggande anläggningar i ett industrikluster kan leda till avsevärt större energieffektiviseringspotentialer än om var och en av de ingående industrierna arbetar enbart med interna åtgärder. Hinder mot denna typ av samarbete är brist på etablerade affärsmodeller. Forskningen visar på ett behov av fortsatta studier kring begreppet kärnverksamhet och dess påverkan på energifrågan i svensk industrin. Avskiljning och lagring av koldioxid (CCS) från industrin har studerats och här konstateras att denna lösning inte är ekonomiskt lönsam med dagens förutsättningar. Det rekommenderas därför att framtida forskning bedrivs för att studera vilka styrmedel som skulle behövas för att CCS ska bli ekonomiskt intressant för industrin. En annan viktig fråga är hur energitjänsteföretag ska formulera affärsmodeller och strategier kring CCS, samt hur de kan samarbeta med industrin för att på affärsmässiga grunder få till stånd CO<sub>2</sub>-avskiljning, transport och lagring. Även framtida forskning kring styrmedel, t.ex. energitjänster, för ökad energieffektivitet i industrisektorn förordas. Resultat från Industrikonstorsortiets avhandlingar visar att processintegrationsverktyget pinchanalys kan kombineras med optimeringsverktyg (i detta fall MIND) vid analys av industriella energisystem. Denna metodkombination ger intressanta resultat varför fortsatt forskning förordas kring kombinationer av olika processintegrationsmetoder. I flertalet avhandlingar har företagsdata använts som indata vid exempelvis modellering och processintegrationsstudier. Detta har accentuerat behovet av ett standardiserat protokoll vid insamling av företagsdata. Ett sådant protokoll kan öka reliabiliteten på indata och förslagsvis användas vid fallstudier.

Avslutningsvis kan konstateras att trots närmare 20 års tvärvetenskaplig forskning mellan samhällsvetare och teknikvetenskaperna finns det fortfarande mycket mer att beforska och utveckla.

# Förord

Det tar tid att utveckla och skapa effektiva former för tvärvetenskaplig forskning. Det krävs många möten, diskussioner, konflikter och misslyckanden för att lyckas utveckla förståelse för varandras metoder och perspektiv. Inom Program Energisystem har vi antagit den utmaningen och ser att detta är en mognadsprocess som främjar tvärvetenskaplig kunskapsbildning och leder till många nya frågeställningar och lösningar som är hållbara ur både tekniskt och samhälleligt perspektiv.

Detta är huvudrapporten i slutrapporteringen från Program Energisystem som består av fem delar:

- Huvudrapport
- Forskningssynes för konsortiet Byggnader i energisystem
- Forskningssynes för konsortiet Industriella energisystem
- Forskningssynes för konsortiet Lokala och regionala energisystem
- Publikationer från Program Energisystem

Till slutrapporteringen ska också läggas alla avhandlingar och artiklar, konferensbidrag, arbetsnotat mm som producerats under Program Energisystems 20-åriga liv.

I rapporterna beskriver vi det tvärvetenskapliga samarbetet i forskning och forskarutbildning, både om metoder och resultat. Det främsta resultatet av Program Energisystem är 81 examinerade doktorer och licentiater med unika energisystemkompetenser, men också den goda publiceringen och de nätverk som byggts.

Program Energisystem finansierades vid starten 1997 av Stiftelsen för Strategisk Forskning. Energimyndigheten har varit vår huvudfinansör från antagningen 2001 till och med den sista antagningen 2010, där doktorandantagningar genomförts i princip vartannat år. Linköpings universitet har bidragit ekonomiskt till programledningsfunktionen. Andra forskningsfinansörer, näringsliv, kommuner och organisationer har lämnat viktiga bidrag. Tack!

Vi hoppas att rapporterna ger dig som läsare en god bild av Program Energisystem och av vad vi åstadkommit – trevlig läsning!

Göteborg, Linköping, Stockholm och Uppsala i oktober 2016, då merparten av texten sammanställdes, med uppdateringar i april 2019.

<i>Per Alvfors</i>	Kungliga Tekniska Högskolan
<i>Kajsa Ellegård</i>	Linköpings universitet
<i>Simon Harvey</i>	Chalmers
<i>Magnus Karlsson</i>	Linköpings universitet
<i>Bahram Moshfegh</i>	Linköpings universitet
<i>Jenny Palm</i>	Linköpings universitet
<i>Mats Söderström</i>	Linköpings universitet
<i>Joakim Widén</i>	Uppsala universitet



# Förord till Forskningssynes för konsortiet Industriella energisystem

Denna rapport är ett led i utvärderingsarbetet av forskarskolan Program Energisystem. Rapporten sammanfattar 26 doktorsavhandlingar och en licenti-  
atuppsats författade inom forskarskolans industrikonsortium.

Energisystemforskningens roll i omställningen mot hållbara energisystem är av stor vikt, då beslut rörande energifrågorna ofta berör komplexa system och processer som ej alltid har ett enda entydigt svar. Att ställa om industrin kräver breda insatser från såväl företagen själva, som från det omgivande samhället där akademien, och då i synnerhet forskning som är tvärveten-  
skaplig, har en viktig roll.

Vi vill rikta ett stort tack till Energimyndigheten som varit huvudfinansierare för konsortiets verksamhet och hoppas att du finner läsningen av denna rapport värdefull.

I energisystemforskningens tjänst,  
Göteborg och Linköping, Anno 2016, då merparten av texten sammanstäl-  
des, med uppdateringar i april 2019

<i>Simon Harvey</i> (konsortieledare)	Chalmers
<i>Patrik Thollander</i>	Linköpings universitet
<i>Mikael Ottosson</i>	Linköpings universitet
<i>Maria Johansson</i>	Linköpings universitet



# Innehåll

<b>Introduktion</b>	<b>1</b>
Industrikonsortiets historia	2
Metod	2
<b>Syntes</b>	<b>4</b>
Kvantitativ sammanställning av avhandlingar från Program Energisystems industrikonsortium	4
Analys och förslag på fortsatt forskning	5
<b>Sammanfattning av konsortiets avhandlingar</b>	<b>15</b>
<b>Referenser</b>	<b>48</b>
Avhandlingar	48
Andra publikationer	50



# Introduktion

År 1997 bildades den nationella forskarskolan Program Energisystem, bestående av fem avdelningar från fyra lärosäten:

- Avdelningen för Energisystem vid Linköpings universitet
- Tema Teknik och social förändring vid Linköpings universitet
- Institutionen för teknikvetenskaper (Fasta tillståndets fysik) vid Uppsala universitet.
- Avdelningen för Energiprocesser vid KTH
- Värmeteknik och maskinlära vid Chalmers (ingår sedan 2016 i avdelningen för Energiteknik),

Förutom dessa fem forskningsavdelningar deltog inledningsvis Avdelningen för Elektriska informations- och styrsystem vid KTH. Dessutom har Miljösystemanalys vid Chalmers och Elektriska Energisystem vid KTH associerats till programmet vid doktorandantagningarna 2008 respektive 2010.

Program Energisystems grundläggande mål är att utveckla ny kunskap som möjliggör långsiktig utveckling mot hållbara och effektiva energisystem. Denna utmaning kräver bred kompetens och ett tvärvetenskapligt angreppssätt. Program Energisystem fungerar som en gemensam arena där kunskaper från tekniska, ekonomiska och samhällsvetenskapliga områden möts och kombineras för att studera och analysera energisystem som sociotekniska system. Forskningsverksamheten i Program Energisystem bedrivs i grupper, s.k. konsortier, där doktorander och handledare från olika avdelningar möts. Dessa tre konsortier är:

- Lokala och regionala energisystem
- Industriella energisystem
- Byggnader i energisystem

Program Energisystems verksamhet har präglats av ett stort seniorengagemang kring konsortiernas doktorandprojekt. Seniorgruppen har varit stabil, vilket har varit av stor vikt för kontinuitet och kunskapsöverföring. Som exempel kan nämnas de återkommande konsortiemötena där medlemmarna träffats regelbundet, minst två gånger per år för att diskutera de inom konsortiet forskningsrelevanta ämnena. Under doktorandernas första år har de fått arbeta i obligatoriska tvärprojekt som mynnat ut i projektrapporter. I projekten har doktorander från olika avdelningar och discipliner samarbetat kring en gemensam frågeställning. Dessa tvärprojekt har engagerat en stor handledarinsats från konsortiernas seniorer.

Mycket har hänt sedan starten; avhandlingar har försvarats och opponerats på, omvärlden har drastiskt förändrats i och med avregleringar av bl.a. el- och gasmarknaderna i Europa, införandet av nya styrmedel som t.ex. EUs utsläppshandelssystem (EU ETS), industriutsläppsdirektivet (IED) som innebär skärpningar i kraven att tillämpa bästa möjliga teknik och energi-effektiviseringsdirektivet (EED) som fungerar som ett gemensamt ramverk av åtgärder för effektivare energianvändning, samt inte minst en ökad globalisering och ökad accentuering av klimatfrågan. Dessa faktorer gör att forskning inom energisystemområdet kräver en kontinuerlig analys av redan genomförd forskning för att vara framgångsrik. Denna rapport är ett led i detta viktiga arbete. Syftet med arbetet är att ge en översikt av de akademiska doktorsavhandlingarna och den licentiatuppsats som författats inom den tvärvetenskapliga forskarskolan Program Energisystems industrikonsortium. Syntesarbetet har avgränsats till att omfatta områdena:

- problemområde,
- verktyg/metod/teori,
- systemgräns,
- sektor,
- övergripande resultat

Rapporten inleds med en introduktion följt av en övergripande metodpresentation. Därefter analyseras avhandlingarna åtföljt av en slutsats och diskussion. Avslutningsvis presenteras en kort sammanfattning av varje doktorsavhandling.

## Industrikonsortiets historia

Forskarskolan Program Energisystem antog sina första doktorander hösten 1997. År 1999 grundlades industrikonsortiet, den del av forskarskolan, som studerar industriella energisystem. Industrikonsortiet leddes av professor Thore Berntsson, Chalmers, mellan 1999 och 2011. Åren därefter har professor Simon Harvey, Chalmers, ansvarat för konsortiet, med ett kortare avbrott där docent Magnus Karlsson varit biträdande konsortieledare då professor Simon Harvey varit på sabbatical. Patrik Thollander, Linköpings universitet, har under åren 2010–2014 varit verksam som forskarassistent inom konsortiet.

## Metod

Den huvudsakliga metoden som använts för framtagning av denna syntesrapport är en litteraturstudie av försvarade avhandlingar. Arbetet har ge-

nomförts under cirka fyra års tid, under ledning av docent Patrik Thollander tillsammans med dr. Mikael Ottosson, och dr. Maria Johansson. Sammanfattningarna av Industrikonsortiets avhandlingar är framtagna och skrivna av rapportens författare och avspeglar således deras perspektiv. Resultatet har kontinuerligt presenterats och diskuterats vid de två årliga möten som hållits inom industrikonsortiet. Vidare har den färdiga rapporten genomgått en referentgranskning av de i konsortiet ingående seniora forskarna, konsortieledare och professor Simon Harvey, biträdande konsortieledare och docent Magnus Karlsson, programdirektör docent Mats Söderström, dr. Karin Pettersson och professor Jenny Palm.

# Syntes

## Kvantitativ sammanställning av avhandlingar från Program Energisystems industrikonsortium

I tabell 1 visas en sammanställning av de verktyg och metoder som förekommit i avhandlingarna från Program Energisystems industrikonsortium.

Tabell 1: Sammanställning av de verktyg och metoder som förekommit i avhandlingar från Program Energisystems industrikonsortium.

Verktyg/m etod	Optimering	Simulering	Pinch	Intervjuer	Enkäter	Dokumentstudier	Observationer	Scenarioanalys	Känslighetsanalys	Avhandling
				X		X				Möllersten, 2002
	X		X						X	Karlsson, 2002
	X	X	X						X	Bengtsson, 2004
								X		Viklund, 2004
	X			X					X	Sandberg, 2004
		X							X	Mirbe, 2005
				X		X				Grönkvist, 2005
		X	X					X		Andersson, 2007
	X			X		X				Wolf, 2007
				X		X				Holmberg, 2008
	X			X	X					Thollander, 2008
		X	X					X		Hektor, 2008
				X		X				Hansson, 2008
		X		X	X	X				Lind, 2009
		X	X					X		Petterson, 2011
	X		X					X		Jönsson, 2011
				X	X	X				Ottosson, 2011
	X			X				X	X	Svensson, 2011
		X	X					X		Johansson, 2013
				X				X	X	Johansson, 2014
				X		X				Karlton, 2014
		X	X						X	Hackl, 2014
				X	X					Backlund, 2014
				X		X	X			Fidenskog, 2015
	X			X	X			X		Broberg Viklund, 2015
		X	X					X	X	Andersson, 2016

Som ses i tabell 1 så har en mängd olika metoder och verktyg använts under åren. Den i särklass mest använda vetenskapliga metoden är intervjuer (15) följt av scenarioanalys (10), dokumentstudier (9), simuleringsberäkningar (9), pinchanalys (9) och optimering (8). Med simulering avses olika beräkningsmetoder för att fastställa mass- och energibalanser för industriella processer, som behövs som input för dimensioneringsberäkningar av nyckelkomponenter i processens energisystem.

I tabell 2 visas en sammanställning av de olika industrisektorer som studerats i avhandlingarna från Program Energisystems industrikonsortium. Som ses i tabell 2 så är den vanligaste studerade sektorn massa- och pappersindustrin (14), följt av energisektorn (8). Massa- och pappersindustrin har under senare tid utvecklats från en ren massa- och pappersproducent till att även producera el och pellets etc., med möjlighet att även expandera affärsmoddellerna till att inkludera biodrivmedel. Denna företagsutveckling har varit ämne för flera intressanta studier. Massa- och pappersbrukens roll i olika



typer av biokombinat har också varit centralt i flertalet energisystemanalyser genomförda inom konsortiet.

Tabell 2: Sammanställning av de olika studerade industrisektorerna i avhandlingar från Program Energisystems industrikonstium.

Sektor	Massa- och papper	Sågverk	Järn- och stål	Olje- raffinaderi	Kemi-industri	Övrig industri <sup>1</sup>	Energi- sektor	Avhandling
	X							Möllersten, 2002
	X							Karlsson, 2002
	X							Bengtsson, 2004
		X						Vidlund, 2004
	X		X			X		Sandberg, 2004
							X	Marbe, 2005
	X						X	Grönkvist, 2005
	X							Andersson, 2007
	X	X						Wolf, 2007
							X	Holmberg, 2008
						X		Thollander, 2008
	X							Hektor, 2008
							X	Hansson, 2008
							X	Lind, 2009
	X							Petterson, 2011
	X							Jönsson, 2011
	X							Ottosson, 2011
	X					X	X	Svensson, 2011
				X				Johansson, 2013
			X					Johansson, 2014
	X						X	Karltorp, 2014
					X		X	Hackl, 2014
							X	Backlund, 2014
							X	Eldenskög, 2015
	X		X		X	X		Broberg Viklund, 2015
				X	X			Andersson, 2016

<sup>1</sup> Icke energintensiv industri, gjuteriindustri, verkstadsindustri, läkemedelsindustri

## Analys och förslag på fortsatt forskning

I nedanstående text görs en kort analys av avhandlingarna inom forskarskolan Program Energisystems industrikonstium. I vissa fall förordas forskning i nedanstående analys som senare genomförts utanför forskarskolans ramar, något som ej explicit berörs, då det faller utanför rapportens syfte.

Framtida studier av effekterna på synen av kärnverksamhetsbegreppet och hur det påverkar energifrågan svensk industri förordas också, då det senaste decenniet visat att den förmodade utveckling som förutspås i t.ex. Möllersten (2002) avhandling ej kom till stånd. Istället går massa- och pappersindustrin mot en diversifierad strategi där energi ibland även ingår som ett av affärsmålen. Resultatet av detta syntesarbete visar således att den faktiska utvecklingen inom massa- och pappersindustrin (se t.ex. Ottosson (2011)) jämfört med Möllerstens (2002) resultat uppenbarligen visar att företagsstrategier uppvisar trender. Detta är något som forskare inom detta fält bör ta med sig i framtida forskningsstudier och -ansatser.

Fortsatt forskning kring användandet av MIND-metoden (Method for analysis of INDUSTRIAL energy systems) och studier kring tillämpad optimering förordas i andra industribranscher än i massa- och pappersindustrin och järn- och stålindustrin. Fortsatt forskning förordas kring användandet av den framgångsrika metodologiska kombinationen mellan pinchanalys och optimering som Karlsson (2002), Bengtsson (2004), Svensson (2011) och Jönsson (2012) uppvisat.

Karlsson (2002) förordar själv även vidare modelleringsstudier kring kraftvärmeanläggningar i industri (industriellt mottryck) och en ökad modellupplösning där olika produktkvalitéer modelleras. Tidigare forskning kring produktionssimulering har visat på betydande energibesparingspotentialer beträffande effektivare produktionsplanering (Solding et al., 2009). Detta föranleder ett förslag till framtida forskning inkluderande optimering där produktionsplanering integreras. Förslagsvis inkluderar en sådan systemstudie även industriellt mottryck och kopplingen mellan elgenerering och produktion av produkter. En sådan studie förordas inte enbart i massa- och pappersindustrin utan skulle med framgång kunna bedrivas i andra industribranscher, inte minst energiintensiva branscher där satsvis produktion sker, dvs. icke kontinuerlig produktion.

Karlsson (2002) noterar även att de flesta större investeringar i energieffektiv teknik tävlar mot kvalitets- och produktivitetshöjande investeringar, vilket leder till att investeringar i energieffektiv teknik ej sker, förutom vid så kallade utbytesinvesteringar. Mot bakgrund av detta förordas en studie i olika branscher och avseende en mängd olika tekniker, alltifrån strategiska investeringar till investeringar i så kallade stödprocesser, och i vilken utsträckning dessa, de facto, är så kallade utbytesinvesteringar. Givet en sådan kunskap kan styrmedel mot ökad grad av implementering av energieffektiv teknik utformas till att bli mer kostnadseffektiva. Här kan även skönjas en koppling till hur energisystemforskning senare kan gynna den svenska styrmedelsdesignen.

Karlsson (2002) skriver också att elcertifikatsystemet som introducerades år 2003 kommer att leda till investeringar i mottrycksturbiner i branschen. Även om tidigare studier berört ämnet föranleder detta frågan hur bruken resonerat kring besluten kring investeringar i ökat mottryck. En sådan avhandling, Ottosson (2011), presenterades senare inom forskarskolan vilket visar att ett kontinuerligt syntesarbete redan skett inom ramen för Program Energisystems forskning.

En iakttagelse som Karlsson (2002) gjorde var att under tiden avhandlingen skrevs var löner, valutakursen (USD/EUR), priset på papper, och pro-

duktionskapacitet, de främsta faktorerna vid en nyinvestering i massa- och papperslinier, inte energikostnader. Senare forskning, t.ex. Thollander och Ottosson (2011), visar att energikostnaden idag är bland de högsta kostnads-posterna för ett massa- och pappersbruk. Detta visar tydligt på vikten av systemforskning i tiden, dvs. en studie som genomförts ett decennium kan vara av stor vikt att genomföra igen.

Bengtssons (2004) visar att när studier beträffande överskottsvärmeutnyttjande genomförs och randvillkor definieras påverkas dessa randvillkor av såväl ekonomiska som tekniska faktorer samt brukens attityd mot processintegration. Vad gäller de tekniska randvillkoren är detta något som arbetas fram i diskussion mellan forskargruppen och brukets personal. Vad gäller de ekonomiska randvillkoren har Axelsson och Harvey (2010) redan genomfört forskning där ett antal olika scenarier arbetats fram för att underlätta för forskare att definiera de ekonomiska randvillkoren. En större studie, med hjälp av intervjuer eller enkäter förordas i massa- och pappersindustrin, och kanske även andra relevanta branscher, för att undersöka företagets nuvarande syn på processintegration men även för att undersöka hur synen har förändrats av stigande energipriser, teknikutveckling och kärnverksamhetsbegreppet.

Bengtsson (2004) skriver vidare att potentiella åtgärder diskuteras i nära samarbete med brukets personal. Avhandlingar där företagsdata används, t.ex. modellering, föranleder ett förslag om t.ex. framtagande av protokoll där reliabiliteten av indata, dvs. hur tillförlitlig datan är, kan säkras, och även hur den påverkas av den nära kontakten mellan forskare och industrirepresentanter. En sådan studie bör vara av generell karaktär och även inbegripa t.ex. energikartläggningar där liknande relation, forskare/energikartläggare och industrirepresentant föreligger. I relation till dessa typer av studier, som ofta har karaktären av en fallstudie eller fallstudier, skulle ett önskat utfall av sådan framtida forskning vara att ett standardiserat förfarande (t.ex. fallstudieprotokoll) tas fram för indatainsamling och resultatvalidering. Detta skulle öka datans reliabilitet och således stärka forskningsstudiens validitet.

Bengtsson (2004) föreslår själv vidare forskning kring värmeväxlarnätverksdesign med matrismetoden, något som enligt Bengtsson (2004) initierats på Chalmers.

Vidlund (2004) visar på en stor energieffektiviseringspotential i en tidigare ej så beforskad bransch, sågverksindustrin, avseende effektivare energianvändning. Fortsatt forskning förordas rörande processintegration och även modellering, t.ex. optimering och produktionsplanering i den berörda branschen.

Då Sandberg (2004) förordar en utveckling mot ökad grad av samverkan mellan energibolag och processindustri, vore det önskvärt att följa upp utfallet av detta i ett antal branscher i Sverige. Detsamma gäller den förordade utvecklingen av energitjänster i energiintensiv industri. Med signifikant förändrade omvärldsförutsättningar som exempelvis en ökning av elpriserna med 300 % på ett decennium borde både studier beträffande värmesamarbeten samt energitjänster följas upp.

Vidare förordar Sandberg (2004) studier beträffande energitjänstföretagens (ESCOs) roll vid industriell energistyrning (energy management).

Marbe (2005) förordar fortsatt forskning kring biomassaeförgasning. Marbes (2005) avhandling visar vidare att scenarier är ett sätt att framgångsrikt studera denna typ av komplexa system. Vad gäller de ekonomiska randvillkoren har Axelsson och Harvey (2010) redan genomfört forskning där ett antal olika scenarier arbetats fram för att underlätta för forskare att definiera de ekonomiska randvillkoren. En större studie, med hjälp av intervjuer eller enkäter etc. förordas för att komplettera Marbes (2005) och senare forskning kring biomassaeförgasning. Denna utvidgade studie bör undersöka marknadens syn på biomassaeförgasning och hur den har förändrats av stigande energipriser och teknikutveckling inom området. Marbe (2005) föreslår själv vidare forskning kring samtidig produktion av fordonsbränsle, fortsatt utveckling av beslutsstöd för biomassaeförgasningsstudier, samt framtida studier som studerar andra möjliga typer av design för att reducera koldioxidutsläpp.

Kompletterande studier där hinder och drivkrafter för samarbeten mellan industri och energibolag studeras förordas, där fler industrisektorer och energibolag inkluderas.

Det rekommenderas vidare att fler tekniker för koldioxidavskiljning analyseras och jämförs med koldioxidavskiljning med syrgasförbränning. Det bör även analyseras vilka applikationer som ger den mest effektiva koldioxidavskiljningen, t.ex. vid vilken process och hur tekniken kan integreras med andra processer för ett effektivt energiutnyttjande.

Grönkvist (2005) förordar mer forskning kring hur priseffekter påverkar beräkningsmodeller för indirekta utsläpp av koldioxid till följd av ökad elanvändning.

Framtida forskning kring integrerad produktion av fordonsbränsle förordas där distributions- och fordonskostnader inkluderas. Vidare förordas framtida forskning kring styrmedelsdesign. Framtida forskning kring mer trovärdi-

ga energimarknadsförutsättningar kan ge resultat som kan användas för att förfinas resultaten från forskning likt t.ex. Anderssons (2007) ytterligare.

Wolfs (2007)s avhandling understryker dels vikten av medvetenhet beträffande hur system avgränsas samt att samarbeten mellan olika industriföretag kan medföra win-win för alla deltagande parter.

Holmberg (2008) skriver själv att ett syfte med avhandlingen är att bidra till en bredare förståelse för varför mänskliga samhällen har blivit beroende av fossila bränslen och att utöka den vetenskapliga kunskapen om var man kan söka efter vägar bort från sådant beroende. Svaren finns, i det estniska fallet, i den befintliga infrastrukturen, kunskapsbasen och de speciella sociopolitiska förhållanden som råder i Estland vilka effektivt förhindrat förändring.

Thollanders (2008) avhandling visar på att hinder mot effektivare industriell energianvändning skiljer sig åt mellan olika branscher, varför fortsatt forskning i fler branscher, såväl svenska som utländska förordas. Fortsatta studier kring drivkrafter för effektivare energianvändning förordas också. Vidare förordas tekniks specifika hinderstudier, dvs. studier rörande vad som hindrar enskilda tekniker såsom energieffektiva elmotorer, energieffektiva tryckluftskompressorer, energieffektiva pumpar etc. Slutligen förordas också studier kring vad kostnaden är för att överbrygga dessa hinder, samt hur stor energi-effektiviseringspotentialen är för att överbrygga dessa hinder.

Hektors (2008) avhandling visar på väsentliga fördelar med CO<sub>2</sub>-avskiljning i sulfatmassabruk under vissa förutsättningar. Hektor (2008) skriver emellertid att forskningen kring detta fortfarande är i sin linda och att framtida forskning krävs för att visa på att det är praktiskt möjligt att både avskilja, transportera och lagra CO<sub>2</sub>. Fortsatt systemforskning inom avskiljning och lagring av koldioxid (CCS) förordas, inte minst kring vilka förutsättningar rent styrmedelsmässigt som kan behövas för att göra CCS ekonomiskt intressant för industrin. Vidare förordas attitydundersökningar inom både sulfatmassaindustrin, dess kunder, såväl som i offentlig sektor kring CCS.

Avhandlingarna kring CCS och energitjänster från programmet accentuerar att en helt ny marknad för energitjänster kan komma till stånd, givet ett anammande på bred front av CCS i t.ex. sulfatmassaindustrin. Hur ESCOs ska formulera affärsmodeller och strategier kring CCS, samt hur industrin och ESCOs kan samarbeta för att på affärsmässiga grunder få till stånd CO<sub>2</sub>-avskiljning, transport och lagring är områden som förordas som fortsatta intressanta forskningsteman.

Hansson (2008) pekar redan år 2008 på flertalet problem som måste lösas för att CCS skall kunna realiseras. Det som återstår är att foga samman tekniken, nå lönsamhet i hanteringen och få allmän acceptans för att fortsätta

bränna kol i nästan hundra år till, samt lagra koldioxiden permanent. De trevande försöken som ej fallit väl ut visar att det rör sig om utmaningar som sedan avhandlingen skrevs fortfarande inte är lösta.

Slutsatsen i Lind (2009) är bland annat att utvecklingen av CCS bör fortsätta, men att storskaliga tester som innefattar alla steg i processen från avskiljning till deponering måste till för att skapa acceptans och bedöma om tekniken överhuvudtaget är ett intressant alternativ. Vidare pekar Lind (2009) på att det finns en befogad oro att tekniken inkräktar på pengar till förnyelsebara alternativ och att koldioxiddeponeringen likt kärnkraftsavfall kan skapa problem för framtida generationer.

Jönssons (2011) avhandling berör teknikutvecklingsvägar (technology pathways) i den europeiska massa- och pappersindustrin, och visar att ökad el- och fjärrvärmeproduktion är ekonomiskt robusta utvecklingsvägar, medan CCS och svartlutsförgasning är mindre ekonomiskt robusta, men uppvisar större CO<sub>2</sub>-minskningar än ökad el- och fjärrvärmeproduktion. Jönsson (2011) förordar själv fortsatt forskning kring bl.a. CCS. Vidare visar Jönsson (2011) att tillgången på offentlig data och statistik, och även datas reliabilitet, behöver stärkas för att fortsatt forskning ska kunna bedrivas med framgång.

Pettersson (2011) förordar själv fortsatt forskning kring svartlutsförgasning i relation till olika typer av bruk, i synnerhet detaljerade processintegrationsstudier av svartlutsförgasning följt av drivmedelsproduktion. Pettersson (2011) studerar en mycket intressant utvecklingsväg för svenska massabruk, och som Pettersson (2011) skriver så är en av de främsta utmaningarna framöver att implementera tekniken i full skala. Petterssons (2011) avhandling visar vidare att de framtida förutsättningarna på energi- och massamarknaden signifikant påverkar i vilken riktning branschen och enskilda bruk ska gå för att maximera sin lönsamhet och säkra sin framtida överlevnad. Därför är fortsatt framtida forskning likt Petterssons (2011) av stor vikt, både för enskilda bruk, för branschen som helhet, men också för Sverige som land.

Den svenska skogsindustrin utgör ett belysande fall på hur en energiintensiv bransch (re)agerar på ökade miljömässiga krav riktade mot dess energi- och naturresursanvändning. Ottossons (2011) avhandling kan därmed bidra med kunskap om hur en bransch hanterar förändringskrav riktade mot dess strategiska nyckelresurser. Avhandlingen visar att skogsindustrin pendlat mellan motstånd och anpassning gentemot de förändringar och krav som påverkat energisystemet och särskilt skogs- och elresurserna.

Svensson (2011) rekommenderar fortsatt forskning kring möjligheten att använda absorptionskyla i industrin t.ex. hur större kylbehov påverkar lönsamhet och CO<sub>2</sub>-utsläpp. Hon förordar också studier av energisamarbeten

mellan energibolag och andra typer av industrier. Potentialer för utnyttjande av restvärme från olika industrier bör analyseras. En tidigare avhandling (Grönkvist, 2005) som emanerat från programmet studerade också drivkrafter för och hinder mot energirelaterade samarbeten mellan industri och fjärrvärmebolag. Broberg Viklunds (2015) forskning visar att det finns en signifikant mängd outnyttjad restvärme i Sverige. Fortsatt forskning förespråkas kring outnyttjad industriell restvärmepotential i Sverige och möjligheterna att återvinna restvärmen. Andersson (2016) undersöker möjligheten att nyttja överskottsvärme (från raffinaderier) för framtida algbaserade bioraffinaderier. Broberg Viklund (2015) lyfter t.ex. fram behovet av studier som analyserar lokala förhållanden där hänsyn tas till avstånd mellan värmekälla och potentiell användare. Hon förordar också fortsatt forskning kring resurseffektivitet vid utnyttjande av industriell restvärme. Johansson (2014) förordar mer teknikspecifik forskning för att återvinna restenergi i järn- och stålindustrin. Broberg Viklund (2015) konkluderar att brist på resurser såsom personal och kapital förhindrar användning av industriell restvärme. Hon skriver att införande av styrmedel som kan överbrygga dessa hinder kan komma att öka utnyttjandet av restvärme.

Johansson (2013) rekommenderar att fler fallstudier genomförs på oljeraffinaderier för att få en tydligare bild av vilken potential den europeiska oljeraffinaderiindustrin har att minska utsläppen av CO<sub>2</sub>. Fler alternativ för utsläppsminskning bör analyseras och jämföras med Johanssons (2013) resultat. Förslagsvis export av restvärme till fjärrvärmenät, elproduktion och produktion av syntetisk naturgas från förgasad biomassa, bränslebyte till biomassa, elproduktion från förgasade oljeprodukter, produktion av förnybar diesel genom vätebehandling av bioolja samt ytterligare tekniker för koldioxidavskiljning. Forskning som studerar integrering av produktion av Fischer-Tropschdiesel med andra industrisektorer förordas. Lönsamhet och effekter på globala utsläpp av växthusgaser bör studeras. Det krävs vidare studier för att undersöka oljeraffinaderiers roll i framtida värdekedjor för biodrivmedelsproduktion i relation till andra industrier som exempelvis massa- och pappersindustrin.

Andersson (2016) studerar processförändringar i oljeraffinaderier för att öka kapaciteten för koldioxidinfångning. Han pekar på att det behövs forskning om utveckling av lågtemperaturaminer som kan vara aktiva vid atmosfärstryck.

I sina studier av algbaserat bioraffinaderi kopplat till oljeraffinaderi pekar Andersson (2016) på forskningsbehov om effektiv vätgasproduktion, näringsbalansfrågor och behovet av ett lagligt ramverk för marinbaserad algodling.

Johansson (2014) förordar fortsatta studier av bränslebyte i värmningsugnar där man analyserar fler förgasningstekniker och andra typer av biobränslen som råvara till förgasaren t.ex. GROT och träavfall från industrin. Hon anser även att möjligheten att använda biosyntesgas som bränsle istället för bio-SNG bör analyseras vidare ur både tekniskt och ekonomiskt perspektiv. Johansson (2014) skriver vidare att möjligheten att återvinna den stora restvärmepotentialen i järn- och stålindustrin bör analyseras vidare. Stora värmekällor såsom ljusbågsugn, stränggjutning, och slagg bör inkluderas i studien. Värmeåtervinning från slagg torde ha stor potential och i detta fall finns ingen risk att kvaliteten på stålprodukter påverkas. Värmeåtervinning från svalning av varma stålprodukter kan också erbjuda en möjlighet att styra svalningsförloppet så att efterfrågad stålqualität erhålls.

Det bör utredas vilka styrmedel som krävs för att järn- och stålindustrin ska ersätta fossila bränslen med biobränslen. Intervjustudier med beslutsfattare på riksdagsnivå och inom stålindustrin kan kompletteras med matematisk modellering av ett stålverk med olika möjligheter att integreras med biomassaförgasning.

En tidigare avhandling inom forskarskolan (Thollander, 2008) visade att viktiga hinder mot effektivare energianvändning i gjuteriindustrin, pappers- och massaindustrin och små och medelstora företag är tekniska risker såsom risk för produktionsstörning, tidsbrist eller andra prioriteringar och brist på kapital. Johanssons (2014) avhandling visar att dessa hinder även gäller för svensk stålindustri. Här ansågs dock tidsbrist och andra prioriteringar vara ett större hinder än brist på kapital. Vissa åtgärder för effektivare energianvändning som genomförts i svensk stålindustri hade inte som primärt syfte att minska energianvändningen; här var energieffektivisering en bieffekt. Exempel på sådana åtgärder var renovering av omklädningsrum och målning av tak och väggar med ljusa färger. Framtida forskning kring icke-energi-relaterade nyttor som motivering för investering i energieffektiviseringsåtgärder rekommenderas.

Karltorp (2014) föreslår en konceptuell modell för att studera interaktion (framför allt resursmobilisering) mellan aktörer i teknologiska innovationssystem (TIS) och aktörer i dess omgivning. Här möts studier av framväxande ny teknik och strategiska val inom etablerad industri, till exempel utveckling av biomassaförgasning och pappersmassaindustri. Detta pekar på två centrala aspekter av storskalig samhällsomvandling, förändringar i etablerade sociotekniska system och framväxande av nya. Det första av dessa är tidigare beforskat inom Program Energisystems Industrikonstium men den andra delen tillför ett nytt perspektiv. Karltorps (2014) avhandling visar också på



en breddning av forskning inom konsortiet till länder utanför Europa. Sådan fortsatt forskning inom konsortiet och programmet förordas.

Backlund (2014) studerade energieffektivisering i små och medelstora industriföretag, ett område som hittills i Sverige och internationellt varit sparsamt beforskat. Backlund (2014) definierar två nya energieffektiviseringspotentialbegrepp, energitjänstegapet och energiledningsgapet. Fortsatt forskning förordas för att kvantifiera dessa potentialer i olika industribranscher, samt beforska vilka metoder och verktyg, såväl i företag och energitjänsteföretag, som i statliga myndigheter, som behövs för att realisera denna potential. Vidare visar Backlund (2014) på en brist i hur energiprogram såsom t.ex. det svenska energikartläggningsprogrammet utvärderas. Fortsatt forskning kring en enhetlighet i hur t.ex. ett styrmedels kostnads- eller bidragseffektivitet ska beräknas, hur enskilda företagsinsatser ska följas upp

Hackl (2014) har utvecklat en metodik som gör det möjligt att identifiera enskilda anläggningars och klusters potential för ökad energieffektivitet samt ge förslag på stegvisa konkreta åtgärder för att förverkliga potentialen. Denna metodik har hittills bara använts i en fallstudie på kemiklustret i Stenungsund och dess specifika förutsättningar. Dessutom har metoden begränsats till att undersöka möjligheter till utbyte av energiflöden. För att öka metodens generaliserbarhet samt vidareutveckla metoden så att även utbyte av materialströmmar kan integreras i analysen krävs det ytterligare studier. Ett stort hinder till implementering av energieffektiviseringsåtgärder i industriella kluster är att det saknas erfarenheter bland företag av att jobba tillsammans och det saknas också affärsmodeller för hur sådana samarbeten ska utformas. Inom detta område krävs det ytterligare forskning och utveckling.

Eidenskog (2015) studerar i sin forskning hur anställda i ett medelstort företag arbetar med hållbarhet och hur de skapar praktiker som möjliggör omtanke om miljö- och energifrågor, samt ekonomisk och social hållbarhet. Hon visar hur hållbarhetsarbetet ger företaget möjlighet att ta hand om vad de tror är deras ansvar – gentemot sina anställda, företagets överlevnad eller samhället som helhet. Eidenskog (2015) förespråkar fortsatt forskning för att analysera hur andra organisationers ansvarsfördelning ser ut vad gäller hållbarhet. Detta för att finna nya sätt att underlätta hållbarhetsarbetet i praktiken. Eidenskog (2015) visar att miljömärkning och ISO 26000 är viktiga styrmedel för hållbarhetsarbetet. Hon rekommenderar fortsatt forskning för att analysera hur icke-standardiserade styrmedel som förhandlats fram mellan de ingående aktörerna påverkar hållbarhetsarbetet.

# Sammanfattning av konsortiets avhandlingar

## Kenneth Möllersten, 2002. Opportunities for CO<sub>2</sub> reductions and CO<sub>2</sub> -lean Energy Systems in Pulp and Paper Mills

Lärosäte/avdelning: KTH/Energiprocesser

Huvudhandledare: Mats Westermark

### **Problemområde**

Möjligheter för CO<sub>2</sub>-reduktion i svensk massa- och pappersindustri. Fokus har inte bara varit på teknisk potential utan adresserar även kostnadseffektivitet för energieffektiv teknik, koldioxidavskiljning och lagring samt managementstrategin kärnkompetens och kärnverksamhet. Avhandlingen rör även kapaciteten och viljan att realisera potentialen hos svenska massa- och pappersbruk och de aktörer (ESCOs (Energy Service Companies), produktleverantörer, och konsulter) som är kopplade till dessa.

### **Verktyg/metod/teori**

Socioteknisk analys. Teknisk-ekonomisk utvärdering av möjliga tekniker för ökad elproduktion och ökad energieffektivitet. Djupanalys av massabruks möjligheter att avskilja koldioxid från biomassaanvändning samt efterföljande koldioxidlagring (Biomass energy with CO<sub>2</sub> Capture and Permanent Sequestration (BECS)). Potentialen för massa- och pappersproduktion utan utsläpp av koldioxid genom BECS studerades också. Vidare genomfördes djupintervjuer med representanter från massa- och pappersbruk och ESCOs beträffande drivkrafter, möjligheter och risker med energisamarbeten. Genom en litteraturstudie inom teoribildningarna kärnverksamhet och kärnkompetens kopplades dessa teorier till det studerade fallet, den svenska massa- och pappersindustrin. Utöver litteraturstudier användes kvalitativa djupintervjuer för att erhålla empiri. Avhandlingen är att betrakta som en fallstudie där fallstudiemetodik tillämpats.

### **Systemgräns**

Europa med gaskombi eller kolkondens på marginalen. Dansk kolkondens argumenteras för som marginalteknik vid elproduktion.

### **Sektor**

Svensk massa- och pappersindustri och svenska ESCOs kopplade till sektorn.

## **Resultat**

Resultatet visar att ökad elproduktion i massaindustrin som leder till minskad marginalproduktion av el utgjorde den största koldioxidminskningen. Avhandlingen är skriven då kärnkraften planerade att avvecklas och då förnyelsebara drivmedel för transporter ännu ej diskuterades i någon större utsträckning.

Vidare visar Möllersten (2002) att både fristående massabruk och integrerade massa- och pappersbruk kan bli nettoexportörer av biomassabaserad el och samtidigt eliminera stora utsläpp av koldioxid till atmosfären.

Avhandlingen presenterar också att koldioxidavskiljning av bioenergi är tekniskt möjligt, vilket öppnar upp en potential för energitillförsel och produkter, som karaktäriseras av negativa koldioxidbalanser. Möllersten (2002) presenterar också resultat från djupintervjuer med representanter från massa- och pappersindustrin samt från ESCOs beträffande möjliga samarbeten. Möllersten drar slutsatserna att både industri och ESCOs drar nytta av samarbete då det leder till stärkt konkurrenskraft. Möllersten menar att framtida samarbete mellan ESCOs och bruk kommer komma till stånd i mycket större utsträckning eftersom bruken kommer att fokusera alltmer på sin kärnverksamhet och kärnkompetens.

## **Magnus Karlsson, 2002. Analysing Strategic Energy-Related Investments in Process Industries - Applied Studies at a Pulp and Board Mill**

Lärosäte/avdelning: Linköpings universitet/Energisystem  
Huvudhandledare: Mats Söderström

### **Problemområde**

Att analysera investeringar i industriella energisystem med hjälp av i synnerhet optimering genom att inkludera tekniska, ekonomiska och miljömässiga randvillkor. Enbart energirelaterade investeringar studeras. Outsourcing och organisatoriska aspekter berörs inte i avhandlingen. Avhandlingen utgörs delvis av en fallstudie av ett svenskt massa- och pappersbruk.

### **Verktyg/metod/teori**

Optimering är den huvudsakliga metoden som använts. Även andra metoder som t.ex. pinchanalys och känslighetsanalys har tillämpats. Teoribildning kring operationsanalys (eng. Operation Research), systemteori (Eng. Systems Approach), känslighetsanalys, och validering etc. presenteras. Avhandlingen kan tillsammans med Bengtsson (2004) sägas vara den första inom

det industriella konsortiet inom Program Energisystem där två vetenskapliga metoder – pinchanalys och optimering – framgångsrikt kombinerades. Avhandlingen inbegriper en fallstudie av Skoghalls bruk. Avhandlingen är att betrakta som en fallstudie där fallstudiemetodik tillämpats.

### **Systemgräns**

Europa där marginalet täcker ökad elanvändning i systemet. Marginalteknik för elproduktion är kolkondens på kort sikt och naturgaskombicycle på lång sikt.

### **Sektor**

Integrerat svenskt massa- och pappersbruk.

### **Resultat**

Investeringsutrymmet beräknades med hjälp av MIND-metoden. Pinchanalys användes för att undersöka icke-konventionell design av brukets ångsystem. Från dessa två metodologiska ansatser valdes sedan ett antal alternativ ut där känslighetsanalyser genomfördes för att beräkna investeringsutrymme och potential för reducerade CO<sub>2</sub>-utsläpp. Resultat visar att den metodologiska ansatsen fungerar framgångsrikt. Avhandlingen visar vidare på ett antal fallspecifika effektiva lösningar för det studerade integrerade bruket.

## **Cecilia Bengtsson, 2004. Novel Process Integration Opportunities in Existing Kraft Pulp Mills with Low Water Consumption**

Lärosäte/avdelning: Chalmers tekniska högskola/Värmeteknik och maskinlära

Huvudhandledare: Thore Berntsson

### **Problemområde**

Att teoretiskt kvantifiera den ekonomiska och miljömässiga potentialen för effektivt utnyttjande av överskottsvärme i existerande massabruk med låg vattenförbrukning. Fokus har varit att genom en ny metodologisk approach erhålla den optimala nivån av överskottsvärmeutnyttjande med den högsta möjliga temperaturnivån. Vidare har ett annat mål varit att kvantifiera CO<sub>2</sub>-reduktionspotentialen vid implementerad processintegration på det existerande bruket Skoghall.

### **Verktyg/metod/teori**

Pinchanalys kombinerat med optimering. Värmeväxlarnätverkskonstruktion, t.ex. matrismetoden, användes också. I avhandlingen användes optime-

ring med hjälp av MIND-metoden för studier på en högre systemnivå medan pinchanalys användes på en lägre systemnivå, dvs. för att mer detaljerat studera en del av systemet. Avhandlingen kan tillsammans med Karlsson (2002) sägas vara den första inom det industriella konsortiet inom Program Energisystem där två vetenskapliga metoder utvecklade av två olika forskargrupper – pinchanalys från Chalmers och optimering från LiU – framgångsrikt kombinerades. Teknoekonomisk utvärdering av möjliga tekniker för reducerat ångbehov, ökad elproduktion, ökad energieffektivitet och minskade CO<sub>2</sub>-utsläpp. Avhandlingen inbegriper en fallstudie av Skoghalls bruk. Avhandlingen är att betrakta som en fallstudie där fallstudiemetodik tillämpats. Avhandlingen innehåller även ett försök att extrapolera betydelsen av resultaten från fallstudien till hela sektorn i Sverige.

### **Systemgräns**

Europa med kolkondens eller gaskombi på marginalen för elproduktion. Möjlighet till export av överskottsvärme till ett fjärrvärmenät.

### **Sektor**

Svensk massa och pappersindustri.

### **Resultat**

Stora mängder överskottsvärme kan göras tillgänglig vid användbara temperaturer i befintliga kemiska avsalubruk med låg vattenförbrukning. Överskottsvärmen kan erhållas för en inte alltför hög investeringskostnad genom ombyggnad av värmeväxlarnätverket. En totalkostnadsanalys tillsammans med en miljöutvärdering visar att processintegrerad indunstning (evaporation plants), jämfört med värmepumpar och fjärrvärme, har stor potential. Ångbehovet i indunstningsanläggningen kan reduceras med 16–79 % genom processintegration och genom att fler effekter läggs till i indunstningsanläggningen. Implementering av en processintegrerad indunstning i ett enskilt kemiskt avsalubruk ger, beroende av hur mycket bränsle som kan sparas och vilken marginal elproduktion som antas, en minskning av CO<sub>2</sub>-utsläppen med 1,2–3,6 % av de cirka 2 000 000 ton fossil CO<sub>2</sub> som släpps ut årligen i den svenska massa- och pappersindustrin. Den kombinerade metodologiska ansatsen med pinchanalys och optimering visade sig synnerligen användbar. När studier beträffande överskottsvärmeutnyttjande genomförs är det viktigt att initialt sträva efter så stort antal frihetsgrader som möjligt. När studiens randvillkor definieras, såsom ekonomiska och tekniska randvillkor men även brukens attityd till processintegration, är det viktigt att detta eftersträvas. Om så inte sker riskerar en processintegrationsstudie att ge ett alltför magert resultat. Om å andra sidan, alltför lösa randvillkor sätts riskeras resultatet att uppvisa stor teoretisk potential för värmeöverskottsut-

nyttjande, som är mycket svårt att genomföra i praktiken. Ett scenario visar också att det vid betydande ångöverskott kan vara lönsamt att producera el med hjälp av kondensdrift. Vad gäller användning av värmepumpar visar avhandlingen att randvillkoren påverkar utfallet betydligt. Där kolkondens ligger på marginalen är värmepumpar inte en miljöanpassad lösning. Där lämpar sig fjärrvärmeproduktion, om möjlighet till detta finns, bättre. Dock, om naturgaskombi ligger på marginalen visar det sig att värmepumpar utgör en mer miljöanpassad lösning jämfört med fjärrvärmeproduktion, detta sett ur ett koldioxidemissionsperspektiv.

## **Anna Vidlund, 2004. Sustainable production of bio-energy products in the sawmill industry (Licentiatavhandling)**

Lärosäte/avdelning: KTH/Energiprocesser

Huvudhandledare: Mats Westermark

### **Problemområde**

Denna licentiatuppsats behandlar sågverksindustrin i syfte att utvärdera potentialen för en effektivare användning av biobränslen inom industrin och i de regionala energisystem i vilka sågverken är belägna. I fokus står effektivare biobränsleanvändning och ökad integrering mellan sågverksindustrin och närliggande fjärrvärmesystem. Målet med avhandlingen har varit, inte bara att analysera tekniska möjligheter till energibesparingar i sågverksindustrin, utan också att analysera kostnadseffektiviteten och miljöpåverkan från de analyserade åtgärderna.

### **Verktyg/metod/teori**

Främst baseras resultaten på fallstudier men även ett hypotetiskt typsågverk används.

### **Systemgräns**

Svenska sågverk såväl som Sveriges energisystem utgör systemgräns. Globala utsläpp av CO<sub>2</sub> beräknas. I elsystemet antas kolkondens som marginalelsproduktion. Möjlighet till export av överskottsvärme till fjärrvärmenätet antas.

### **Sektor**

Svensk sågverksindustri.

## **Resultat**

Slutsatsen av studien är att en mängd olika energiprodukter såsom värme, oförädlade biobränslen, träpellets och el effektivt kan produceras i sågverksindustrin och säljas till externa kunder. Återbetalningsperioden för de föreslagna investeringarna är måttliga och både utsläppen av flyktiga organiska föreningar och globala CO<sub>2</sub> emissioner minskas. Om de föreslagna åtgärderna genomförs fullt ut på svenska sågverk, skulle cirka 2,8 TWh biobränsle kunna sparas årligen, 0,5 TWh överskottsvärmevärme säljas som fjärrvärme och 0,8 TWh grön el kunna produceras.

## **Peter Sandberg, 2004. Optimisation and Co-operative Perspectives on Industrial Energy Systems**

Lärosäte/avdelning: Linköpings universitet/Energisystem  
Huvudhandledare: Mats Söderström

### **Problemområde**

Att undersöka olika angreppssätt, framförallt optimering, som kan befrämja en mer samlad bild av industriella energisystem. Fallstudierna innefattade optimering av ett integrerat stålverk. Vidare studerades energirelaterade samarbeten mellan företag. Den ena studien omfattande energitjänster och energitjänsteföretag i industrin och då primärt svensk massa- och pappersindustri. Den andra studien undersökte värmesamarbete mellan processindustrier och kommunala energibolag, med fokus på drivkrafter för och hinder mot detta.

### **Verktyg/metod/teori**

Optimering är den huvudsakliga metoden som använts. Även andra metoder såsom intervjuteknik och känslighetsanalys har tillämpats. Teoribildning kring operationsanalys (eng. Operation Research), systemteori (Eng. Systems Approach), känslighetsanalys, och validering etc. presenteras. Vidare berör avhandlingen så kallad multi-objective approach (multimålsansats), där så kallade paretofronter analyseras för att hitta ett globalt optimum för matematiska problem med flera målfunktioner. Avhandlingen inbegriper fallstudier av SSAB i Luleå. Avhandlingen tillämpar fallstudiemetodik.

### **Systemgräns**

Nationell, och fallspecifik. Koldioxid- och svavelutsläpp monetariseras, och studeras ur ett företagsekonomiskt perspektiv.

## **Sektor**

Sektorer som studerats är: ett integrerat stålverk, energitjänsteföretag, svensk massa- och pappersindustri samt andra energiintensiva och icke energiintensiva tillverkande företag.

## **Resultat**

Studien kring behov av beslutsstöd visar att det föreligger ett behov i industrin för mer omfattande beslutsunderlag. Studierna kring samarbete mellan energitjänsteföretag/ energibolag och industrin visar att företagens syn på kärnkompetens skiljer sig från Prahalad och Hameds (1990) definition av begreppet. Studierna visar också att ökat samarbete gällande energitjänster är en framtidslösning för mer uthållig energistyrning (energy management) i industrin, givet att de detekterade hindren kan överbryggas.

De optimeringsmodeller som tagits fram, och använts i avhandlingen, visade på vikten av att ha en vidgad systemgräns som inkluderar hela stålverket, detta för att undvika risken för suboptimeringar. Vidare visades att en multimålsansats ökar kunskapen kring hur olika mål påverkar varandra.

## **Åsa Marbe, 2005. New Opportunities and System Consequences for Biomass Integrated Gasification Technology in CHP Applications**

Lärosäte/avdelning: Chalmers tekniska högskola/Värmeteknik

Huvudhandledare: Thore Berntsson

## **Problemområde**

Att undersöka under vilka framtida förutsättningar som det kan vara ekonomiskt intressant att investera i biomassabaserad förgasningsteknik för produktion av kraftvärme. Fokus har varit på att undersöka kostnaden för elproduktion, men även koldioxidutsläpp har beaktats. Olika framtida energimarknadsscenarioer har använts, vilka inkluderande t.ex. framtida bränslepriser, klimatstyrmedel, samt referensanläggningar för elproduktion.

## **Verktyg/metod/teori**

Tekno-ekonomisk analys av biomassaintegrerad förgasningsteknik för kraftvärme. I avhandlingen användes kraftvärmesimulering av biomassaintegrerad förgasningsteknik för kraftvärmeproduktion med hjälp av verktyget GateCycle på en lägre systemnivå, för att mer detaljerat studera olika tekniska förutsättningar och för att möjliggöra en tekno-ekonomisk analys på en högre systemnivå. Avhandlingen är den första inom det industriella konsortiet inom Program Energisystem som studerar förgasningsteknik och som



använder kraftvärmesimulering. Tekno-ekonomisk utvärdering av möjliga tekniker genomförs för att undersöka effektivitet, koldioxidutsläpp och kostnad för elproduktion.

### **Systemgräns**

Norden med kolkondens på marginalen för elproduktion på kort sikt, gaskombi på marginalen på medellång sikt och avancerad kolkraftselproduktion med CCS på lång sikt.

### **Sektor**

Svensk kraftvärme.

### **Resultat**

Resultaten från avhandlingen visar att biomassaintegrerad förgasningsteknik för kraftvärmeproduktion kan spela en viktig roll i framtidens energisystem. En stor fördel med tekniken är att den producerar väsentligt mer el än konventionella biomassaeldade ångkraftvärmecykler, givet samma värmeunderlag. Förutsättningarna på energimarknaderna och i synnerhet kostnaderna associerade med olika typer av styrmedel, har i avhandlingen visat sig spela en avgörande roll beträffande teknikens lönsamhet. Avhandlingen visar vidare att utsläpps rättshandelssystemet inte räcker till för att göra tekniken mer lönsam än t.ex. naturgaskombikraftvärme. Ytterligare styrmedel krävs, t.ex. det svenska elcertifikatsystemet, för att tekniken ska bli lönsam att investera i.

## **Stefan Grönkvist, 2005. All CO<sub>2</sub> molecules are equal, but some CO<sub>2</sub> molecules are more equal than others**

Lärosäte/avdelning: KTH/Energiprocesser

Huvudhandledare: Mats Westermark

### **Problemområde**

Att föreslå och utvärdera åtgärder för att begränsa klimatförändringar och att ta fram verktyg som kan överbrygga hinder som kan förhindra dessa åtgärder. Belysa problem med gällande Kyotoprotokoll och föreslå modifieringar. Avhandlingen grundar sig på idén att begränsning av klimatförändringar ska genomföras på det mest effektiva sättet, d.v.s. störst effekt per spenderad krona. Studera hinder mot och drivkrafter för energirelaterade samarbeten mellan industrier och fjärrvärmeföretag.

## **Verktyg/metod/teori**

Systemanalys med utgångspunkt från flera olika teorier, bland annat Churchmans. Generella ekonomiska metoder, djupintervjuer, dokumentstudier.

## **Systemgräns**

Flera olika systemgränser för beräkning av indirekta utsläpp av CO<sub>2</sub>: nationell medelmix för elproduktion, europeisk systemgräns med kolkondens på marginalen på kort sikt och naturgaskombicycle eller annan ny teknik på lång sikt samt en europeisk marginal-elmodell med prisflexibilitet där efterfrågan och utbud påverkas av elpriset. Biobränsleanvändning ses utifrån två perspektiv: CO<sub>2</sub>-neutralt respektive att biobränsle är en begränsad resurs där ökad användning innebär ökad fossilbränsleanvändning någon annanstans.

## **Sektor**

Processindustri, energibolag.

## **Resultat**

Resultat från avhandlingen visar att gynnsamma tekniska och ekonomiska förutsättningar inte är tillräckligt för att få till stånd ett energisamarbete mellan industri och fjärrvärmebolag. Det krävs även att det finns individer på båda sidor med ett driv att genomföra samarbetet och en personlig övertygelse att detta är till nytta, inte enbart för de ingående parterna, utan även för samhälle och miljö i stort. Det finns inte en allmängiltig metod för beräkning av indirekta utsläpp av CO<sub>2</sub>, eftersom så många icke kvantifierbara faktorer påverkar det verkliga utfallet av olika projekt. Istället bör ett bredare perspektiv användas vid strategiska beslut. Exempel på hur fel överförenklade beräkningar av indirekta koldioxidutsläpp kan slå ges i samband med en genomgång av utsläppsberäkningar för så kallade CDM-projekt inom Kyoto-protokollet. Koldioxidavskiljning med syrgasförbränning kan appliceras på cementugnar och mesaugnar och medför då större klimatnytta jämfört med om avskiljningen görs vid anläggningar för elproduktion. Koldioxidavskiljning på processer som utnyttjar biobränsle gynnas inte av Kyoto-protokollet. Grönkvist (2005) menar att avskiljning och lagring av CO<sub>2</sub> med biologiskt ursprung bör premieras på ett likartat sätt som avskiljning och lagring av CO<sub>2</sub> med fossilt ursprung. Motiveringen är att koldioxidens ursprung inte spelar någon roll för atmosfären.

# Eva Andersson, 2007. Benefits of Integrated Upgrading of Biofuels in Biorefineries - Systems Analysis

Lärosäte/avdelning: Chalmers tekniska högskola/Värmeteknik och maskinlära

Huvudhandledare: Simon Harvey

## **Problemområde**

Att undersöka om processintegrerad produktion av uppgraderat biobränsle i bioraffinaderier kan leda till förbättrad energieffektivitet och lönsamhet, samt ge upphov till minskade koldioxidutsläpp jämfört med konventionell massa- och pappersproduktion.

## **Verktyg/metod/teori**

Metoderna som använts har varit en tidig version av den vid Chalmers utvecklade ENPAC-modellen, dvs. scenarioanalys, samt processintegration.

## **Systemgräns**

Europeisk med kolkondens eller gaskombi på marginalen för elproduktion och biomassa som en begränsad resurs.

## **Sektor**

Svensk massa- och pappersindustri.

## **Resultat**

Avhandlingen berör utveckling av en metodik för att undersöka lönsamhet och koldioxidutsläpp avseende bioraffinaderikonceptet vid olika framtida energimarknadsscenarier. Avhandlingen studerar integrerade bioraffinaderikoncept för produktion av träpellets eller vätgas i massabruk, samt gör en systemanalys av vätgasproduktion från förgasning av biomassa integrerad med ett naturgaskombikraftvärmeverk.

Resultaten visar bl.a. att det mest attraktiva sättet att integrera biomassatorkning är att utnyttja avgaserna från sodapannan. Torkning med ånga är energieffektivt men förlusterna i minskad elproduktion, i kombination med att koldioxidutsläppsreduktionen blir låg, gör den mindre attraktiv.

I fyra av fem studerade framtida energimarknadsscenarier visar avhandlingen att vätgasproduktion från svartlutsförgasning har den största potentialen att minska koldioxidutsläppen, jämfört med andra möjliga sätt att nyttja svartlut. Vidare visar avhandlingen att när vätgasproduktion är integrerad med ett massabruk blir resultatet större koldioxidutsläppsminskningar, jäm-

fört med vätgasproduktion genom förgasning av fast biomassa, i alla utom ett av scenarierna.

Vad gäller vätgasproduktion integrerad med ett naturgaseldat kraftvärmeverk visar detta samma utfall i produktionskostnad och koldioxidutsläppsminskningar som vätgasproduktion från förgasning av fast biomassa. Avhandlingen visar att massaindustrin har en konkurrensfördel i processintegrerad produktion av vätgas.

## **Anna Wolf, 2007. Industrial Symbiosis in the Swedish Forest Industry**

Lärosäte/avdelning: Linköpings universitet/Energisystem

Huvudhandledare: Mats Söderström

### **Problemområde**

Forskningen som presenteras i denna avhandling bygger på forskningsfältet Industriell ekologi, och särskilt Industriell Symbios (IS). I centrum står analysen av huruvida det är möjligt för en bransch (och enskilda industribolag) att öka produktvärdet och samtidigt minska sin användning av resurser. I förlängningen uppnås därmed ökad effektivitet i produktionen, mindre avfall samt effektivare energiflöden. Detta uppnås främst genom att enstaka anläggningar integreras i ett större system. Syftet med avhandlingen var dels att tillämpa IS-ramverket på den svenska skogsindustrin för att få ökad empirisk

kunskap, som kan användas för vidare begreppsutveckling, och dels att utvärdera hur den IS-perspektivet kan bidra till att utveckla skogsindustrin.

### **Verktyg/metod/teori**

Främst baseras resultaten på fallstudier, bl a från Kisa, Mönsterås, Värö och Forssjöbruk, men även ett optimeringsprogram har använts (MIND).

### **Systemgräns**

Systemgränsen är olika beroende på delstudier t.ex. skogsindustrin i Sverige och lokala industriella ekosystem.

### **Sektor**

Svensk skogsindustri.

## **Resultat**

Avhandlingen visar att flera fall av industriell symbios existerar inom svensk skogsindustri och att samarbetena betraktas som gynnsamma av de ingående parterna. Avhandlingen visar även att förutsättningarna för att implementera IS varierar beroende på vilken typ av systemavgränsning som görs. De viktigaste gemensamma nämnarna för framgång är dock en positiv attityd från företagets sida, en vilja att agera, och maktrelationer i företagen. Brist på resurser, bristfällig miljölagstiftning, tidsramar för investeringar samt risker med att satsa på ny teknik är de viktigaste hindren som identifierats. Avhandlingen indikerar även att IS kan medföra fördelar både utifrån ett ekonomiskt och miljömässigt perspektiv. Beroende på vilket systemperspektiv som tas blir utfallet olika beträffande förtjänster med IS.

## **Rurik Holmberg, 2008. Survival of the Unfit: Path Dependence and the Estonian Oil Shale Industry.**

Lärosäte/avdelning: Linköpings universitet/Tema T  
Huvudhandledare: Staffan Læstadius

## **Problemområde**

Avhandlingen är en analys av hur Estland blev ”inlåst” i en miljömässigt skadligt elproduktion, baserad på det lokala fossila bränslet oljeskiffer. Oljeskiffer finns på många håll i världen, men Estland är det enda land som byggt upp en verkligt storskalig energimarknad på dess basis.

## **Verktyg/metod/teori**

Metoderna som använts har varit intervjuer och analys av historiska dokument både från Sovjettiden och från det självständiga Estland.

## **Systemgräns**

Europeisk med särskilt fokus på att förklara varför Estland ”valt” eller snarare tvingats välja oljeskiffer som energiresurs.

## **Sektor**

Estländsk energisektor.

## **Resultat**

Avhandlingen spårar ursprunget till Estlands beroende av oljeskiffer långt tillbaka i historien, från tiden efter första världskriget, då Estland blev en självständig nation för första gången. Alternativen för Estland var vid tillfället främst import av kol. De estniska statsjärnvägarnas lok började eldas med

oljeskiffer på 1920-talet. Holmberg (2008) visar dock att genombrottet för oljeskiffern kom när Estland började förädla oljeskiffern till den mer högförädlade skifferoljan. Bland annat Nazi-Tyskland var en stor kund av denna produkt.

Efterfrågan från Nazi-Tyskland kom att driva det estniska energisystemet mot ett stigberoende (eng path dependence) och metoderna för utvinning och bearbetning av oljeskiffern blev nu alltmer kommersiellt konkurrenskraftiga. Det är detta stigberoende som lett till att Estland inte ens idag har kunnat ställa om sitt energisystem bort från oljeskiffern, trots dess uppenbara miljöskador i form av utsläpp till mark och luft och stora svarta askberg från bränd skiffer.

## **Patrik Thollander, 2008. Towards increased energy efficiency in the Swedish industry - barriers, driving forces and policies**

Lärosäte/avdelning: Linköpings universitet/Energisystem

Huvudhandledare: Mats Söderström

### **Problemområde**

Att studera faktorer som främjar eller hindrar effektivare slutenergianvändning i svensk industri.

### **Verktyg/metod/teori**

Optimering och energikartläggning är de primära verktygen som, Thollander (2008) använt, djupintervjuer och enkäter de huvudsakliga metoderna, och barriärmodeller den primära teorin.

### **Systemgräns**

Europeisk.

### **Sektor**

Svensk tillverkningsindustri.

### **Resultat**

Thollanders (2008) avhandling visar att förbättrad energieffektivitet är ett sätt för svensk industri att bemöta hotet om stigande energipriser. Avhandlingen visar ett antal hinder som hindrar investeringar i energieffektiv teknik. I massa- och pappersindustrin var t.ex. risk och kostnader för produktionsstörningar, högt rankade hinder medan det för icke energiintensiva företag var brist på tid och andra prioriteringar. De hinder som detekterats i

de olika studerade branscherna skiljer sig åt, medan flera av de högst rankade drivkrafterna visade sig vara detsamma.

Vidare visar avhandlingen att ett energikartläggningsstöd som styrmedel mot små och medelstora tillverkningsföretag är ett bidragseffektivt sätt att främja energieffektivitet i dessa företag.

Avhandlingen visar också i en optimeringsmodell att ett framtida elpris där priset varierar över dygnet, dvs. mer likt det som europeiska företag möter, får väsentligt förändrade konsekvenser för större strategiska investeringar i svenska gjuteriindustrin.

## **Erik Hektor, 2008. Post-Combustion CO2 Capture in Kraft Pulp and Paper Mills**

Lärosäte/avdelning: Chalmers tekniska högskola/ Värmeteknik och maskinlära

Huvudhandledare: Thore Berntsson

### **Problemområde**

Att analysera möjligheter för koldioxidavskiljning och lagring (CCS) i sulfatmassabruk ur ett systemperspektiv.

### **Verktyg/metod/teori**

Tekno-ekonomiska studier av CO<sub>2</sub>-avskiljning har genomförts. Pinchanalys har använts för att studera potentialen för integration mellan CCS-anläggningar och brukets övriga processer. Scenarioanalys har använts och den huvudsakliga metoden har varit den vid Chalmers utvecklade ENPAC-modellen.

### **Systemgräns**

Europeisk systemgräns med kolkondens, kolkondens med CCS, samt gaskombi som utbyggnadsmarginal för elproduktion.

### **Sektor**

Sulfatmassaindustrin.

### **Resultat**

Avhandlingen omfattar ett antal studier rörande CCS i massabruk och visar att processintegration reducerar behovet av externt bränsle vid CCS i sulfatmassabruk. För CO<sub>2</sub>-avskiljning med det aminbaserade lösningsmedlet monoetanolamin (MEA) i integrerade bruk är naturgaskombicykel det mest

lämpliga sättet att förse bruket med det ökade energibehovet. Hektor (2008) visar vidare att kostnaden för CCS med kylt ammoniak skulle kunna vara väsentligt lägre jämfört med CCS med MEA.

Under vissa marknadsförutsättningar kan CO<sub>2</sub>-uppfångning ge bruket högre intäkter vilket visar att CO<sub>2</sub>-uppfångning under dessa förutsättningar kan vara ett mer effektivt sätt att använda överskottsånga jämfört med ökad elproduktion.

## **Anders Hansson, 2008. Kolets återkomst. Koldioxidavskiljning och lagring i vetenskap och politik**

Lärosäte/avdelning: Linköpings universitet/Tema T  
Huvudhandledare: Jonas Anshelm

### **Problemområde**

I denna avhandling studeras vad som år 2008 var en ny och mycket omtalad teknik för att hantera växthuseffekten. Tekniken kallas koldioxidavskiljning och lagring (CCS) och tillskrevs 2005 av FN:s klimatpanel möjligheterna att stå för 15–55 % av all CO<sub>2</sub>-reducering fram till 2100. Detta skulle ske till en 30 % lägre kostnad än vad som annars vore möjligt. EU var år 2008 en framträdande pådrivare av CCS och förde fram att växthuseffekten inte kan hanteras utan att CCS implementeras skyndsamt. CCS beskrevs i dessa sammanhang som en hållbar teknik. CCS är emellertid som Hansson (2008) påvisar förbunden med långtidslagring, en betydande teknisk komplexitet och anses tillämpbar främst på kolkraftverk. Storskaliga satsningar på CCS kan medföra att kolanvändningen ökar.

Syftet med avhandlingen är att analysera de vetenskapliga och politiska ansträngningarna att visa att CCS är en eftersträvsvärd teknik för att hantera växthuseffekten.

### **Verktyg/metod/teori**

Studier av vetenskapliga rapporter, artiklar i massmedia, politiska dokument och intervjuer.

### **Systemgräns**

Europeisk och global nivå.

### **Sektor**

Energibranschen.



## **Resultat**

Avhandlingen visar att scenarier och prognoser har en central roll för att kunna påvisa att CCS är en eftersträvt värd teknik. I flera av dessa scenarier framställs en närmast linjär teknikutveckling och flera betydelsefulla problem och hinder bortses från. CCS framstår vid tidpunkten som en teknik med stor teknisk och ekonomisk potential och i massmedia beskrivs CCS ofta som outhållig enligt avhandlingen. En mer nyanserad bild framträder vid de intervjuer med CCS-experterna som Hansson (2008) gjort. Då lyfts fler osäkerheter och hinder fram. Förståelsen för varför denna teknik får stöd av många starka aktörer blir även tydligare. Den dominerande beskrivningen av CCS egenskaper och inverkan på energisystemen ligger i linje med det som är utmärkande för teorin ekologisk modernisering och således även för det dominerande sättet att bedriva energi- och klimatpolitik idag. Det vill säga att CCS möjliggör fortsatt ekonomisk tillväxt utan att vi omskapar samhällsekonomin och försörjningsbasen från grunden.

## **Mårten Lind, 2009. Opportunities and uncertainties in the early stages of development of CO<sub>2</sub> capture and storage**

Lärosäte/avdelning: KTH/Energiprocesser  
Huvudhandledare: Mats Westermark

### **Problemområde**

Denna avhandling handlar om avskiljning och lagring av koldioxid (CCS) som vid tidpunkten för dess tillkomst lyftes fram av forskare, industrier och regeringar med flera som en lämplig åtgärd för att få bukt med klimatproblematiken trots fortsatt eldning av fossila bränslen. På grund av teknikens komplexitet och tillhörande risker så är den i högsta grad kontroversiell.

Syftet med avhandlingen är att analysera hur tekniken kan fortsätta att utvecklas på ett ansvarsfullt sätt.

### **Verktyg/metod/teori**

Lämplighetsstudie, pilotstudie, modellering, investeringsanalys, dokumentstudie, enkät och intervjuer.

### **Systemgräns**

Europeisk och global nivå.

### **Sektor**

Energibranschen.

## Resultat

I den första delen av avhandlingen analyseras metoder för avskiljning av koldioxid i industriella processer samt kraftverk. Motivet är att hitta möjligheter där avskiljning kan appliceras i ett tidigt skede, vilket anses vara viktigt på grund av klimatfrågans akuta natur. Tre potentiella applikationer studeras: i) avskiljning av koldioxid från kalcineringsprocesser genom användning av den så kallade oxyfueltekniken, ii) avskiljning av koldioxid från trycksatt rökgas och iii) avskiljning av koldioxid från hybridkraftverk. Var och en av teknikerna har fördelar som skulle kunna göra dem konkurrenskraftiga i jämförelse med andra tekniker men enligt Lind (2009) finns det också nackdelar.

Den andra delen av avhandlingen har en bredare ansats och är tvärvetenskaplig i sin karaktär. Syftet är att kritiskt analysera olika aktörers uppfattningar om CCS med specifikt fokus på experter och andra drivande aktörer bakom utvecklingen av CCS. Avhandlingen belyser komplexiteten och de vetenskapliga osäkerheterna bakom CCS samt den optimism som omgärdar tekniken och dess anhängare. På grund av den osäkra framtida utvecklingen inom områdena klimatförändring, fossilbränsleanvändning och växthusgasgenerering, så är slutsatsen att CCS bör fortsätta att utvecklas och demonstreras.

## Karin Pettersson, 2011. Black Liquor Gasification-Based Biorefineries – Determining Factors for Economic Performance and CO<sub>2</sub> Emission Balances

Lärosäte/avdelning: Chalmers tekniska högskola/ Värmeteknik och maskinlära

Huvudhandledare: Simon Harvey

### Problemområde

Att studera faktorer, inklusive val av produkt, typ av bruk, alternativa investeringar, möjligheter för koldioxidavskiljning och lagring och framtida energimarknadsförhållanden, som påverkar lönsamheten och koldioxidbalanserna för bioraffinaderikoncept baserade på svartlutsförgasning i sulfatmassaindustrin. Avhandlingen avser att bidra till en mer diversifierad syn på svartlutsförgasning, som speciellt i studier av mer övergripande karaktär kan framställas som ett enda fall utan vidare diskussion kring de för fallet specifika förutsättningarna och hur de påverkar resultatet. Svartlutsförgasning jämförs också med andra bioraffinaderikoncept.

## **Verktyg/metod/teori**

Metoderna som använts har varit processintegration, tekno-ekonomisk analys samt systemexpansion för beräkning av CO<sub>2</sub>-utsläpp. Framtidsscenarioer för energimarknaden har använts.

## **Systemgräns**

Europeisk systemgräns med kolkraft, kolkraft med CCS, gaskombi samt även koldioxidneutral elproduktion på marginalen i elsektorn, beroende på framtidsscenario. Biobränsle betraktas som en begränsad resurs, dvs att ökad användning av biomassa i en anläggning antas leda till ökad användning av fossilt bränsle i en annan anläggning.

## **Sektor**

Svensk sulfatmassaindustri.

## **Resultat**

Avhandlingen omfattar ett antal studier rörande faktorer som påverkar lönsamheten och koldioxidbalanserna för bioraffinaderier baserade på svartlutsförgasning. Resultaten visar att svartlutsförgasning med drivmedelsproduktion kan vara lönsamt för både massabruk och integrerade massa- och pappersbruk, medan svartlutsförgasning med elproduktion främst är intressant för massabruk. Exempel på andra potentiellt lönsamma bioraffinaderikoncept är uttag av lignin och drivmedelsproduktion via förgasning av fast biobränsle. Endast ett fåtal av de studerade bioraffinaderikoncepten leder till betydande reduktion av koldioxidutsläpp, om biomassa antas vara en begränsad resurs, speciellt i integrerade massa- och pappersbruk. Implementering av avskiljning och lagring av koldioxid kan dock ändra på det samtidigt som det kan ge bruket stora intäkter under framtida förhållanden med höga avgifter för utsläpp av koldioxid. Ångbesparande åtgärder kan också förbättra både lönsamhet och koldioxidbalanser, speciellt för bioraffinaderikoncept som innebär utökad biobränsleanvändning. Även om inte sodapannan har nått slutet på sin tekniska livslängd, kan det vara intressant att investera i en mindre anläggning för svartlutsförgasning.

**Johanna Jönsson, 2011. Analysing different technology pathways for the pulp and paper industry in a European energy systems perspective**

Lärosäte/avdelning: Chalmers tekniska högskola/ Värmeteknik och maskinlära

Huvudhandledare: Thore Berntsson

## **Problemområde**

Att undersöka sex olika teknikutvecklingsvägar för europeisk massa- och pappersindustri, samt analysera under vilka framtida förutsättningar som det kan vara ekonomiskt intressant att investera i dessa utvecklingsvägar.

## **Verktyg/metod/teori**

Metoderna som använts har varit tekno-ekonomisk analys, scenarioanalys och processintegration med optimering. Vid optimeringen användes verktyget reMIND.

## **Systemgräns**

Europeisk systemgräns med kolkraft, kolkraft med CCS, gaskombi samt även koldioxidneutral elproduktion på marginalen i elsektorn, beroende på framtidsscenario. Biobränsle betraktas som en begränsad resurs, dvs att ökad användning av biomassa i en anläggning antas leda till ökad användning av fossilt bränsle i en annan anläggning.

## **Sektor**

Europeisk massa- och pappersindustri.

## **Resultat**

Avhandlingen berör teknikutvecklingsvägar (technology pathways) i den europeiska massa- och pappersindustrin och visar att ökad el- och fjärrvärmeproduktion är ekonomiskt robusta utvecklingsvägar, medan införande av CCS och svartlutsförgasning är mindre ekonomiskt robusta. Däremot uppvisar CCS och svartlutsförgasning större CO<sub>2</sub>-minskningar än ökad el- och fjärrvärmeproduktion.

## **Mikael Ottosson, 2011. Opposition and Adjustment to Industrial 'Greening': The Swedish Forest Industry's (Re) Actions regarding Energy Transition - 1989-2009.**

Lärosäte/Avdelning: Linköpings universitet/Tema T  
Huvudhandledare: Jonas Anshelm

## **Problemområde**

Den här avhandlingen analyserar hur svensk skogsindustri (re)agerat beträffande energiomställningen och särskilt omvandlingen av elektricitets- och skogsresurserna i Sverige, 1989-2009. Avhandlingen består av fyra artiklar vilka analyserar hur svensk skogsindustri, genom energiledning i massa- och pappersbruk, i företagsledningars koncernstrategier, och genom branschor-

ganisationen, hanterat de ökade miljökrav som politiker och allmänhet riktat mot branschen. I centrum för avhandlingen står särskilt frågor relaterade till branschens omfattande användning och hantering av elektricitet och skogsresurser. Mer specifikt fokuserar avhandlingen på de konflikter och förändringar som skogsindustrin genomgått som ett led i motståndet och/eller anpassningen till energiomställningen.

### **Verktyg/metod/teori**

Enkätstudie, intervjuer, besök på anläggningar och dokumentstudier.

### **Systemgräns**

Svensk skogsindustri men även det svenska och europeiska energisystemet. I enskilda artiklar bruksnivå, koncernnivå samt branschnivå.

### **Sektor**

Svensk skogsindustri.

### **Resultat**

På bruksnivå har energifrågan blivit allt viktigare för företagen inte minst som ett resultat av kraftigt stigande priser. På koncernnivå är resultaten splittrade. Då vissa bolag så sent som i början på 2000-talet sålde ut elkraft och skogstillgångar har andra bolag investerat kraftigt i egen elproduktion och nya hållbara produkter från skogen. På branschnivå har företrädare för skogsindustrin ofta visat en stor obenägenhet att förändras. Skogsindustrierna motsatte sig Sveriges mål för minskning av växthusgaser och ansåg att skogsindustrin borde undantas från handeln med utsläppsrätter. Inte ens när deras egna företag började tjäna pengar på att sälja grön el, försvann den generella motviljan mot energiomställningen.

## **Inger-Lise Svensson, 2011. Evaluating System Consequences of Energy Co-operation between Industries and Utilities**

Lärosäte/Avdelning: Linköpings universitet/Energisystem

Huvudhandledare: Bahram Moshfegh

### **Problemområde**

Att analysera olika aspekter för samarbete mellan industrier och energiföretag. Avhandlingen studerar teknisk potential och ekonomisk lönsamhet för samarbeten, samt vilka sociotekniska faktorer som påverkar samarbeten och implementering av potentiella åtgärder för effektivare energianvändning i industrin och fjärrvärmesektorn.

## **Verktyg/metod/teori**

Avhandlingen baseras på systemanalys i enlighet med Churchmans och Bouldings teorier. Fallstudier har gjorts där potentiella samarbeten mellan industri och fjärrvärmebolag modellerats och optimerats med verktyget re-MIND. Känslighetsanalys har gjorts med hjälp av energimarknadsscenarioer framtagna med verktyget ENPAC.

## **Systemgräns**

Europeisk systemgräns med kolkondens eller naturgaskombicycle som utbyggnadsmarginal för elproduktion. Biobränsle anses vara en begränsad resurs och marginal användning av resursen beaktas vilket innebär att ny användare av biobränsle allokeras CO<sub>2</sub>-utsläpp motsvarande marginalanvändarens ökning av fossila CO<sub>2</sub>-utsläpp.

## **Sektor**

Pappers- och massaindustri, tillverkande industri (bilindustri, läkemedelsindustri) och energiföretag.

## **Resultat**

Avhandlingen jämför ekonomisk lönsamhet för intern respektive extern användning av restvärme från ett sulfatmassabruk. Resultat visar att storleken på fjärrvärmenätet har avgörande betydelse för vilket alternativ som är mest lönsamt. För fall med små fjärrvärmenät är det fördelaktigare att exportera värmen till fjärrvärmenätet, medan det för stora nät med kraftvärmeproduktion och avfallsförbränning är bättre att använda värmen internt på bruket. Effekter på globala utsläpp av CO<sub>2</sub> beror på vilken typ av bränslen som används i systemet och nettoproduktionen av el. Om industrin ersätter kompressionskyla med frikyla från sjöar eller värmedriven kylning minskar elanvändningen i systemet. Absorptionskyla levererad från energibolag med kraftvärme medför ökad elproduktion och ökad användning av energiresurser i systemet. De scenarier med högst elproduktion har de lägsta utsläppen av CO<sub>2</sub> när marginalel används i beräkningsmodellen. Flera olika sociotekniska faktorer påverkar sannolikheten för energisamarbeten mellan industri och energiföretag. Några faktorer som anses viktiga är ekonomiska styrmedel, risk för produktionsstörning, fluktuerande energipriser, förändringar i ägarstruktur, förtroende mellan samarbetsparter, företagens värderingar avseende miljö, brist på information om fördelar med samarbete och personer som motsätter sig förändringar.

# Daniella Johansson, 2013. System studies of different CO<sub>2</sub> mitigation options in the oil refining industry: Post-combustion CO<sub>2</sub> capture and biomass gasification

Lärosäte/Avdelning: Chalmers tekniska högskola/ Värmeteknik och maskinlära

Huvudhandledare: Thore Berntsson

## Problemområde

Att analysera potentialen för minskade utsläpp av CO<sub>2</sub> i Europas oljeraffineriindustri. Forskningen innefattade en övergripande studie av potentialen för koldioxidminskning i Europas raffinaderiindustri samt fallstudier för att undersöka hur olika utvecklingsvägar påverkar det globala energisystemet. Avhandlingen fokuserar på tre utvecklingsvägar: 1) integrering av storskalig biomassaeförgasning för produktion av Fischer-Tropschdiesel, 2) integrering av storskalig biomassaeförgasning för produktion av vätgas och 3) koldioxidavskiljning efter förbränning. Effekter på globala utsläpp av CO<sub>2</sub> och lönsamhet studeras.

## Verktyg/metod/teori

Metoder som använts i avhandlingen är tekno-ekonomisk analys, processintegration med pinchanalys och scenarioanalys där energimarknadsscenarioerna har tagits fram med hjälp av verktuget Energy price and carbon balance scenarios (ENPAC) tool (Axelsson & Harvey, 2010). Avhandlingen utgör en analys av raffinaderisektorn i Europa samt fallstudier som representeras av ett hydroskimning raffinaderi och ett komplext raffinaderi.

## Systemgräns

Europeisk systemgräns med kolkondens med eller utan koldioxidavskiljning eller naturgaskombicykel som utbyggnadsmarginal för elproduktion. Biobränsle anses vara en begränsad resurs och marginal användning av resursen beaktas vilket innebär att ny användare av biobränsle allokeras CO<sub>2</sub>-utsläpp motsvarande marginalanvändarens ökning av fossila CO<sub>2</sub>-utsläpp.

I den övergripande studien har systemgränsen varit Europas raffinaderiindustri.

## Sektor

Oljeraffineriindustri.

## Resultat

Avhandlingen analyserar och jämför olika utvecklingsvägar för den Europeiska oljeraffineriindustrin. Lönsamhet och effekter på globala utsläpp av CO<sub>2</sub> studeras. Resultat visar att det finns relativt få tillgängliga alternativ i närtid för minskade CO<sub>2</sub>-utsläpp i oljeraffineriindustrin. Långsiktigt skulle man kunna reducera utsläppen med 13–80 % med hjälp av koldioxidavskiljning och den största potentialen återfinns hos raffinaderier lokaliserade vid Nordsjön med närliggande infrastruktur och lämplig långtidsförvaring av koldioxid. Integrering av produktion av Fischer-Tropschdiesel eller vätgas via förgasning av biomassa kan minska de globala utsläppen av CO<sub>2</sub>. Vätgasproduktion ger större utsläppsminskning jämfört med produktion av Fischer-Tropschdiesel. Vid höga avgifter på CO<sub>2</sub>-utsläpp kan koldioxidavskiljning efter förbränning vara ekonomiskt lönsamt. Bidrag är nödvändigt för att produktion av Fischer-Tropschdiesel ska vara lönsamt. Lönsamhet och effekter på globala utsläpp av CO<sub>2</sub> beror på vilka antaganden som görs om framtidens energimarknad.

## Maria Johansson, 2014. Improved Energy Efficiency and Fuel Substitution in the Iron and Steel Industry

Lärosäte/Avdelning: Linköpings universitet/Energisystem  
Huvudhandledare: Mats Söderström

### Problemområde

Att analysera tekniska åtgärder för effektivare energianvändning och minskade utsläpp av koldioxid i järn- och stålindustrin, samt att studera vikten av energiledning och nätverkande för implementering av energieffektiviseringsåtgärder. Studien över tekniska åtgärder fokuserar på två områden: 1) återvinning av restenergi, med tyngdpunkt på restvärme, och 2) byte från fossila bränslen till biomassa. Ekonomiska analyser och utvärdering av hur olika åtgärder skulle påverka globala utsläpp av CO<sub>2</sub> har genomförts.

### Verktyg/metod/teori

Avhandlingen har i många fall ett framtidsperspektiv där energirelaterade investeringar analyseras utifrån ekonomi (investeringsutrymme och nuvärde) och globala utsläpp av CO<sub>2</sub>. Energimarknadsscenarioer har används för att få en robust analys av investeringarna. Dessa scenarioer har tagits fram med hjälp av verktyget Energy price and carbon balance scenarios (ENPAC) tool som har utvecklats på Chalmers tekniska högskola. För att studera vikten av energiledning och nätverkande gjordes djupintervjuer där energiansvariga på svenska stålverk resonerade kring varför energieffektiviserings-



åtgärder genomförs eller varför de inte genomförs. Avhandlingen utgörs till stor del av fallstudier. Fall som studerats är: industriell restvärme i Gävleborgs län, energiledning i svensk stålindustri och energieffektiviseringsåtgärder och bränslebyte på SSAB i Luleå och Sandvik AB i Sandviken.

## **Systemgräns**

Europa där marginalen täcker ökad elanvändning i systemet. Marginalteknik för elproduktion är kolkondens på kort sikt och kolkondens eller naturgaskombicycle på lång sikt. Biobränsleanvändning har studerats ur två perspektiv: 1) biobränsle ger inga CO<sub>2</sub>-utsläpp och 2) biobränsle anses vara en begränsad resurs och marginal användning av resursen beaktas vilket innebär att ny användare av biobränsle allokeras CO<sub>2</sub>-utsläpp motsvarande marginalanvändarens ökade fossilbränsleanvändning. Systemgräns i intervjustudien är Sveriges järn- och stålindustri.

## **Sektor**

Järn- och stålindustri.

## **Resultat**

Avhandlingen jämför olika tekniker för återvinning av industriell restvärme. Några av teknikerna appliceras på den outnyttjade industriella restvärmepotentialen i Gävleborgs län. Resultat visar att utbytet blir mer än tre gånger så stort om värmen används som fjärrvärme än om den används för elproduktion. En ekonomisk utvärdering av tre tekniker för elproduktion från restvärme visar att organisk Rankine cykel och en så kallad fasändringsmaterialmotor kan vara lönsamma tekniker medan termoelektrisk elproduktion inte är lönsam med dagens teknik och prisnivå. Under de antaganden som gjort i avhandlingen skulle det inte vara lönsamt för Sandvik AB i Sandviken att ersätta gasol som bränsle i värmningsugnarna med syntetisk naturgas producerad genom förgasning av träbränsle. Elproduktion från restvärme medför alltid minskade globala utsläpp av CO<sub>2</sub>, medan export av restvärme till fjärrvärmenätet och bränslebyte kan innebära både minskade och ökade utsläpp beroende på hur energimarknaden är uppbyggd. Resultat från intervjustudien visar att svensk stålindustri anser att energifrågan är viktig, men det finns fortfarande mycket att göra för att effektivisera energianvändningen i denna sektor.

# Kersti Karltorp, 2014. Scaling up renewable energy technologies - The role of resource mobilisation in the growth of technological innovation systems.

Lärosäte/Avdelning: Chalmers tekniska högskola/Miljösystemanalys  
Huvudhandledare: Björn Sandén

## **Problemområde**

Frågeställningen i avhandlingen är vilka hinder en storskalig spridning av förnybar energiteknik kan möta, framför allt med avseende på de betydande resurser som krävs. Två teknikområden, vindkraft och bioraffinaderiteknik, ingår i flertalet fallstudier som studerar behovet av humankapital, finansiellt kapital samt andra typer av (fysiska) resurser till exempel kraftnät. I de flesta analyser tas perspektivet av den framväxande tekniken/industrin, men i en analys lyfts (den etablerade) pappersmassaindustrins syn och hur aktörer inom denna industri förhåller sig till att eventuellt gå in i en ny framväxande industri.

## **Verktyg/metod/teori**

Teknologiskt innovationssystem (TIS) används som ramverk för analysen i avhandlingen. För att kunna göra mer detaljerade studier av hur aktörer inom systemet interagerar med aktörer i dess omgivning för mobilisering av resurser krävs kompletterande litteratur. Dels av sociotekniska system med flera analysnivåer (multilevel perspective) dels för att beskriva hur olika resurser fördelas, t.ex. strukturen inom finanssektorn.

De två teknikområdena ses som fall av förnybar energiteknik och fallstudie-metodik tillämpas. Kvalitativa intervjuer samt omfattande analys av dokument som beskriver teknikutveckling och resursfördelning har använts för datainsamling.

## **Systemgräns**

Sverige, EU, Kina. Vindkraft och bioraffinaderiteknik. Det sociotekniska systemet avgränsas i de flesta fall till de aktörer som påverkar och påverkas av den framväxande tekniken.

## **Sektor**

Förnybar energiteknik (vindkraft och bioraffinaderiteknik), svensk massa- och pappersindustri, kraftbolag.

## Resultat

Den första delen av resultatet beskriver vad som utmärker ett TIS i en tillväxtfas. Fallet med havsbaserad vindkraft i EU visar på att tre funktioner behöver stärkas i denna fas: legitimitet, marknadsformering och resursmobilisering. Funktionerna är sammankopplade och att stärka en förutsätter att de andra två också stärks. Fallet med vindkraft i Kina visar däremot på att andra funktioner behöver stärkas såsom kunskapsutveckling och fullskaliga testanläggningar. Att de två fallen visar så olika resultat kan ha sin förklaring i att teknikutvecklingen följt olika mönster, där Kina till stor del överfört teknik medan EU utvecklat själva.

Nästa del av resultatet visar resursmobiliseringsutmaningar i tillväxtfasen av ett TIS. Dessa innefattar att omfattande mängder och olika typer av resurser (humant kapital, finansiellt kapital, infrastruktur) krävs. Resurser kan behöva formas specifikt för de framväxande teknikerna, ett exempel är specifik kompetens som kräver nya utbildningsprogram. Det kan medföra en tidsfördröjning från det att behovet av en resurs/kompetens identifieras till dess att den finns att tillgå. Aktörer i TIS möter konkurrens om resurser från aktörer i etablerad industri. Dessa aktörer kan behöva uppleva starkt omvandlingsstryck innan de vill tilldela resurser till framväxande industrier (t.ex. starta utvecklingsprojekt eller joint venture). Även när detta sker är det troligast att resurser allokeras i linje med den teknikutvecklingsväg som företaget redan är inne på. Det kan även finnas hinder i akademien och finanssektorn, t.ex. brist på kunskap om de framväxande teknikerna och att de modeller som används för att överföra resurser från till exempel finanssektorn till etablerade industrier inte passar för mobilisering av resurser till TIS.

Den sista delen av resultatet föreslår hur dessa utmaningar kan övervinnas. Aktörer inom TIS kan kommunicera sitt behov av resurser, t.ex. behovet av kompetens till universitet. De kan även försöka öka kunskapen om den framväxande tekniken inom finanssektorn för att på så sätt motivera denna sektor att finna vägar att tilldela finansiellt kapital till ny teknik, och finna nya vägar för resursmobilisering, såsom nya investeringsmodeller. För att nå resurser som kontrolleras av etablerade industrier kan aktörer i TIS försöka finna gemensamma "intressen" t.ex. kunskapsbas eller affärsmodell, för att på så sätt finna de aktörer i dessa industrier som kan vara intresserade av samarbeten. Politiska beslutsfattare kan spela en viktig roll för uppskalningen av ny teknik och resursmobilisering. Ett exempel är genom att öka omvandlingstrycket på etablerade industrier. Ett annat att (om industrin inte gör det) ta på sig rollen att koordinera motstridiga intressen om hur resurser ska användas. Ett exempel på detta är planering av marinmiljö för

att koordinera intressen från t.ex.(havsbaserad) vindkraftsindustrin, fiskare, försvarsmakten och människor som önskar spendera sin fritid vid havet.

## **Sandra Backlund, 2014. Efficient improvement of energy efficiency in small and medium-sized Swedish firms**

Lärosäte/avdelning: Linköpings universitet/Energisystem

Huvudhandledare: Patrik Thollander

### **Problemområde**

Avhandlingen behandlar effektiv implementering av energieffektiviseringsåtgärder i svenska små och medelstora företag. Syftet är att undersöka och diskutera potentialen för att på ett ekonomiskt effektivt sätt öka implementering av energieffektiva åtgärder i svenska företag.

### **Verktyg/metod/teori**

Genom att studera styrmedelsdokument, intervjua representanter för små medelstora företag och energikartläggare samt att studera data från det svenska energikartläggningsstödet har potentialen för energiledning, energitjänster och energikartläggningar undersökts. Avhandlingen är en produkt av en tvärvetenskaplig kontext men med en ekonomisk teoretisk tyngdpunkt som hjälpt formulera frågeställningar och hypoteser.

### **Systemgräns**

Det empiriska underlaget är svenska förhållanden men slutsatser kan till viss del generaliseras till små och medelstora företag och icke-energiintensiv industri även i andra länder.

### **Sektor**

Små och medelstora företag i Sverige

### **Resultat**

Resultaten visar att trots att det finns en stor potential för att öka graden av energieffektivitet i svenska små och medelstora företag så är det svårt att komma åt den i enskilda företag. Det finns energieffektiviseringspotentialer både i nya investeringar och i energiledningsåtgärder, som att justera teknik och ändra beteenden, men kostnaderna för att undersöka dessa potentialer och implementera åtgärder är stora relativt kostnadsbesparingarna i varje enskilt företag. Energiledningsrutiner brister i sektorn och energitjänster kommer enbart att efterfrågas om kostnadsminskningarna bedöms större än transaktionskostnader förknippade med tjänsten. Det svenska energikart-

läggningsstödet har lett till ökad implementering av energieffektiva åtgärder men kostnaderna är högre jämfört med andra styrmedel för att öka energieffektivitet i Sverige.

## **Roman Hackl, 2014. A Methodology for Identifying Transformation Pathways for Industrial Process Clusters: Toward Increased Energy Efficiency and Renewable Feedstock**

Lärosäte/Avdelning: Chalmers tekniska högskola/ Värmeteknik och maskinlära

Huvudhandledare: Simon Harvey

### **Problemområde**

Den europeiska och svenska processindustrin står inför stora utmaningar. Den utbyggnad som skett av nya, storskaliga anläggningar i andra delar av världen bidrar till en hård konkurrens. Krav på minskade utsläpp och resurseffektivitet tvingar industrin att se över sin råvaru- och energianvändning. Industriell klusterbildning och så kallad industriell symbios erbjuder möjligheter för företagen att tillföra och använda råvaror och andra insatsvaror på ett effektivt sätt, nyttja varandras överskottsenergiflöden, leverera överskottsenergi till det regionala energisystemet och därmed öka effektiviteten i tillverkningen och minska utsläppen av växthusgaser.

### **Verktyg/metod/teori**

Processintegration användes som en övergripande ”verktygslåda”. Mer specifikt användes pinch analys, Total Site Analysis, processimulering och processutveckling för att ta fram ett tillvägagångssätt som möjliggör analys och förbättringsförslag avseende ekonomi och miljöpåverkan av energisystemet i ett industriellt kluster.

### **Systemgräns**

Enskilda processanläggningar, industriella kluster, regionala energisystem. Metoden som utvecklades inom projektet används för att analysera och föreslå åtgärder för industriella kluster att minska sin energianvändning och på ett effektivt sätt integrera förnyelsebara råvaror i sina processer. Detta sker genom analys av produktionsprocesser på olika nivåer: enskilda processer, deras samspel med andra processer i närheten och samspelet med det regionala energisystemet.

### **Sektor**

Kemiindustri, energibolag.

## **Resultat**

Projektet gav intressanta och användbara resultat både avseende metodutveckling och praktiska resultat från fallstudien. Metoden utvecklades så att det nu är möjligt att identifiera enskilda anläggningars och klusters potential för ökad energieffektivitet samt ge förslag på stegvisa konkreta åtgärder för att förverkliga potentialen. Dessutom kan mängden industriell överskottsvärme som skulle kunna användas i regionala fjärrvärmesystem kvantifieras tack vare den interna värmeintegrationen. Projektet bidrog till ökad kunskap om Stenungsundsklustrets nuvarande energisystem och potentiella åtgärder som i ett idealfall kan leda till en minskning av klustrets värmeförsel från idag ca 129 MW till ett överskott på ca 16 MW högtrycksånga. Inom projektet utvecklades och utvärderades värmeåtervinningssystem med kapacitet att spara 42 % (ca 54 MW) av den totala besparingspotentialen. Dessutom identifierades möjligheter att integrera biobaserade råvaror i klustret på ett effektivt sätt.

## **Maria Eidenskog, 2015. Caring for Corporate Sustainability**

Lärosäte/avdelning: Linköpings universitet/Tema T

Huvudhandledare: Jenny Palm

### **Problemområde**

Avhandlingen berör hur hållbarhetsarbete ser ut i praktiken på ett medelstort företag i Sverige. Hållbarhet kan se väldigt olika ut i olika situationer och i denna avhandling analyseras hur de anställda arbetar med hållbarhet och hur de skapar praktiker som möjliggör omtanke om miljö- och energifrågor, samt ekonomisk och social hållbarhet.

### **Verktyg/metod/teori**

Studien är en fallstudie av ett medelstort företag som forskaren följt periodvis under ett års tid. Kvalitativa metoder och då framför allt observationer och intervjuer, men även viss del dokumentstudier, har legat till grund för analysen. Teoretiskt placerar sig avhandlingen inom studier av teknik och vetenskap med inriktning mot postaktörs-nätverksteori med inslag av feministisk teori.

### **Systemgräns**

Då avhandlingen är en fallstudie dras systemgränsen kring det enskilda företaget men studien bidrar framför allt till kunskap inom det teoretiska området samt med kunskap kring hållbarhetspraktiker och omtankespraktiker i företag.

## **Sektor**

Små och medelstora företag i Sverige

## **Resultat**

Hållbarhet är ett komplext begrepp med många betydelser vilket får konsekvenser för dess användning i praktiken hos medelstora företag som har begränsade resurser att lägga på sitt hållbarhetsarbete. I det studerade företaget förekom flera olika hållbarhetspraktiker där de anställda visade omsorg om olika aspekter, några av de vanligast förekommande hållbarhetspraktikerna handlade om att spara resurser (både ekonomiska och miljömässiga), producera miljömärkta varor, omtanke om leverantörernas anställda, omtanke om rent vatten samt ekonomisk hållbarhet. Ibland kunde flera hållbarhetspraktiker samexistera medan andra hållbarhetspraktiker krockade med varandra eller övriga praktiker i företaget. Studien visar på när det är svårt att arbeta med hållbarhet och ger även vissa indikatorer på vilka faktorer som kan öka möjligheterna för de anställda att kunna arbeta med hållbarhetsfrågor.

## **Sarah Broberg Viklund, 2015. System studies of the use of industrial excess heat**

Lärosäte/Avdelning: Linköpings universitet/Energisystem

Huvudhandledare: Magnus Karlsson

## **Problemområde**

Att studera och analysera den tillverkande industrins möjligheter att använda industriell överskottsvärme och härigenom bidra positivt till industrin, samhället och klimatet. Detta område studerades för att skapa en förståelse för hur denna resurs kan användas för att förbättra energieffektiviteten och reducera industrin klimatpåverkan. I avhandlingen studerades potentialen för utnyttjad restvärme, konsekvenserna av att använda olika tekniker och systemlösningar för överskottsvärmeanvändning, klimatpåverkan under olika förutsättningar samt hur styrmedel påverkar användningen av överskottsvärme.

## **Verktyg/metod/teori**

Denna avhandling använder en bredd av metoder, både kvantitativa och kvalitativa, för att studera problemområdet från flera olika perspektiv. I de potentialstudier som ingår i avhandlingen användes enkäter för att samla in data kring den utnyttjade restvärmepotentialen i Sverige. Energimarknads-scenarier har använts för att få en robust analys av utsläppspåverkan från

olika avsättningsalternativ och systemlösningar för restvärme. Dessa scenarier har tagits fram med hjälp av verktyget Energy price and carbon balance scenarios (ENPAC) tool som utvecklats vid Chalmers tekniska högskola. För att studera styrmedlens påverkan på användningen av överskottsvärme gjordes djupintervjuer med energiansvariga på tillverkande industriföretag i Sverige. För att studera den optimala fördelningen av restvärme vid olika avsättningsmöjligheter användes optimeringsverktyget reMIND som utvecklats vid Linköpings Universitet. I avhandlingen har också investeringsutrymmet för ett antal avsättningsalternativ beräknats. Studierna i avhandlingen bygger till stor del på fallstudier från olika branscher och regioner i Sverige.

## **Systemgräns**

Systemgränsen för de studier som ingår i avhandlingen och det empiriska underlaget är tillverkande industri i Sverige. Resultaten kan dock till viss del generaliseras till industriföretag i andra länder. I de studier som studerar utsläppspåverkan antas i huvudsak att produktionen av Europeisk marginalet påverkas vid förändringar i systemet (kolkondens eller naturgaskombicykel). I dessa studier antas också att biobränsle är en begränsad resurs.

## **Sektor**

Tillverkande industri.

## **Resultat**

Resultatet visar att även om överskottsvärme idag används som värmekälla i Svenska fjärrvärmenät så är den outnyttjade potentialen betydande. Outnyttjad överskottsvärme identifieras i flera olika energibärare, framförallt i lågtemperaturvattenflöden. Då olika avsättningsmöjligheter studerades identifierades en större output då värmen användes för leveranser till fjärrvärmenätet än då den användes till värmedriven elproduktion. Dock visade avhandlingen på att effekterna från användning av överskottsvärme i fjärrvärmenätet beror på typen av befintlig värmeproduktion i fjärrvärmesystemet. Trots att överskottsvärme ofta ses som CO<sub>2</sub>-neutral visade avhandlingen att effekterna på utsläppspåverkan var tvetydlig. Användningen av överskottsvärme för elproduktion och för tillämpningar som minskar elanvändningen minskar utsläppen av växthusgaser. Användningen av överskottsvärme för leveranser till fjärrvärmenäten visade sig däremot bero på energimarknadens utveckling (t.ex. framtida elproduktion och alternativ användning av biomassa) och på vilken typ av fjärrvärmeproduktion som ersätts. Intervjuer med energiansvariga vid tillverkande industri visade att styrmedel påverkar användningen av överskottsvärme både genom att främja och missgynna användningen. Utöver påverkan från nationella styrmedel



visade sig även att interna mål och kärnvärden var viktiga för ökad användning av överskottsvärme och därmed ökad energieffektivitet.

## **Viktor Andersson, 2016. Excess heat utilization in oil refineries – CCS and algae-based biofuels**

Lärosäte/Avdelning: Chalmers tekniska högskola/ Energiteknik  
Huvudhandledare: Thore Berntsson

### **Problemområde**

Projektet syftar till att minska CO<sub>2</sub>-utsläppen från ett oljeraffinaderi, sett ur ett systemperspektiv. Detta görs genom två parallella spår. Huvudspåret är koldioxidavskiljning via MEA<sup>1</sup>-absorption, där koldioxiden sedan kan pumpas ner i akvifärer eller andra lämpliga lagringsplatser. Eftersom ett av huvudproblemen för koldioxidavskiljning är att mycket värme går åt i processen, undersöks det i projektet hur en avskiljningsprocess bäst kan värmeintegreras med raffinaderiet. Det andra spåret är att använda koldioxiden från rökgaserna som näringskälla till algodlingar. Algerna kan efter skörd vidareförädlas till biobränslen, och denna process skulle även den kunna värmeintegreras med raffinaderiet.

### **Verktyg/metod/teori**

I avhandlingen används processintegration, scenarieanalys där scenarierna tagits fram med hjälp av verktyget Energy price and carbon balance scenarios (ENPAC) tool (Axelsson & Harvey, 2010) samt tekno-ekonomisk analys. Som fallstudie används oljeraffinaderier på Sveriges västkust.

### **Systemgräns**

I avhandlingen används ett systemperspektiv med utvidgad systemgräns, vilket innebär att även värme- och elproduktionens växthusgasutsläpp beräknas och räknas in i koldioxidbalanserna.

### **Sektor**

Oljeraffinaderiindustri.

### **Resultat**

Resultaten visar att man kan öka koldioxidinfångningen genom att ändra processtemperaturer så att mer värme finns tillgängligt vid lägre tem-

---

<sup>1</sup> MEA är en förkortning av monoetanolamin som är ett aminbaserat lösningsmedel.

peraturer jämfört med dagens standardtemperaturer. Avhandlingen visar också att det är mer ekonomiskt fördelaktigt att använda värme från processerna än att producera värme i panna för detta behov.

Ett algbaserat bioraffinaderi kan använda infrastrukturen som redan finns på oljeraffinaderiet för distribution av produkter. Att samlokalisera med ett oljeraffinaderi ger tillgång till vätgas och framförallt tillgång till värme.

# Referenser

## Avhandlingar

Avhandlingarna i alfabetisk ordning efter författare. Disputationsdatum i parentes.

- Andersson, Eva. (2007-01-12) Benefits of Integrated Upgrading of Biofuels in Biorefineries - Systems Analysis. Doktorsavhandling, Ny serie nr 2556. Chalmers tekniska högskola, Göteborg.
- Andersson, Viktor. (2016-09-27) Excess heat utilisation in oil refineries CCS and algae-based biofuels. Doktorsavhandling, Ny serie nr 4133. Chalmers tekniska högskola, Göteborg.
- Backlund, Sandra. (2014-12-13) Efficient improvement of energy efficiency in small and medium-sized Swedish firms. Linköping Studies in Science and Technology, Doktorsavhandling nr 1634. Linköpings universitet, Linköping
- Broberg Viklund, Sarah (2015-09-25) System studies of the use of industrial excess heat. Linköping Studies in Science and Technology, Doktorsavhandling nr 1679. Linköpings universitet, Linköping
- Bengtsson, Cecilia. (2004-05-07) Novel Process Integration Opportunities in Existing Kraft Pulp Mills with Low Water Consumption. Doktorsavhandling, Ny serie nr 2134. Chalmers tekniska högskola, Göteborg.
- Eidenskog, Maria (2015-05-13) Caring for corporate sustainability. Linköping Studies in Arts and Science, Doktorsavhandling nr 644. Linköpings universitet, Linköping
- Grönkvist, Stefan. (2005-10-12) All CO<sub>2</sub> molecules are equal, but some CO<sub>2</sub> molecules are more equal than others. Doktorsavhandling TRITA-KET R221. Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm.
- Hackl, Roman. (2014-11-21) A methodology for identifying transformation pathways for industrial process clusters – towards increased energy efficiency and renewable feedstock. Doktorsavhandling Ny serie nr. 3772. Chalmers tekniska högskola, Göteborg.
- Hansson, Anders. (2008-06-05) Kolets återkomst - Koldioxidavskiljning och lagring i vetenskap och politik. Linköping Studies in Arts and Science, Doktorsavhandling nr 436. Linköpings universitet, Linköping
- Hektor, Erik. (2008-11-07) Post-Combustion CO<sub>2</sub> Capture in Kraft Pulp Mills - Technical, Economic and System Aspects. Doktorsavhandling, Ny serie nr 2859. Chalmers tekniska högskola, Göteborg

- Holmberg, Rurik. (2008-05-15) Survival of the Unfit. Path Dependence and the Estonian Oil Shale Industry. Linköping Studies in Arts and Science, Doktorsavhandling nr 427. Linköpings universitet, Linköping
- Johansson, Daniella. (2013-02-25) System studies of different CO<sub>2</sub> mitigation options in the oil refining industry: Post-combustion CO<sub>2</sub> capture and biomass gasification. Doktorsavhandling Ny serie nr 3487. Chalmers tekniska högskola, Göteborg
- Johansson, Maria. (2014-04-29) Improved energy efficiency and fuel substitution in the iron and steel industry. Linköping Studies in Science and Technology, Doktorsavhandling nr 1586. Linköpings universitet, Linköping
- Jönsson, Johanna. (2012-01-20) Analysing different technology pathways for the pulp and paper industry in a European energy systems perspective. Doktorsavhandling Ny serie nr. 3306. Chalmers tekniska högskola, Göteborg.
- Karlsson, Magnus. (2002-12-11) Analysing Strategic Energy-Related Investments in Process Industries, Applied Studies at a Pulp and board Mill. Linköping Studies in Science and Technology, Doktorsavhandling nr 791. Linköpings universitet, Linköping
- Karltorp, Kersti. (2014-10-03) Scaling up renewable energy technologies – the role of resource mobilisation in the growth of technological innovation systems. Doktorsavhandling Ny serie nr 3745. Chalmers tekniska högskola, Göteborg.
- Lind, Mårten. (2009-09-28) Opportunities and uncertainties in the early stages of development of CO<sub>2</sub> capture and storage. Doktorsavhandling TRITA-CHE Report 2009:50. Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm.
- Marbe, Åsa. (2005-04-01) New Opportunities and System Consequences for Biomass Integrated Gasification Technology in CHP Applications. Doktorsavhandling, Ny serie nr 2268. Chalmers tekniska högskola, Göteborg
- Möllersten, Kenneth. (2002-09-27) Opportunities for CO<sub>2</sub> Reductions and CO<sub>2</sub>-Lean Energy Systems in Pulp and Paper Mills. Doktorsavhandling TRITA-KET R161. Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm.
- Ottosson, Mikael. (2011-04-01) Opposition and adjustment to industrial greening - the Swedish forest industry's (re)actions regarding energy transition 1989-2009. Linköping Studies in Arts and Science, Doktorsavhandling nr 526. Linköpings universitet, Linköping.
- Pettersson, Karin. (2011-06-01) Black Liquor Gasification Based Biorefineries - Determining Factors for Economic Performance and CO<sub>2</sub> Emission Balances. Doktorsavhandling, Ny serie nr 3218. Chalmers tekniska högskola, Göteborg.

- Sandberg, Peter. (2004-12-02) Method development concerning decision-support for system change i energy systems. Linköping Studies in Science and Technology, Doktorsavhandling nr 913. Linköpings universitet, Linköping.
- Svensson, Inger-Lise. (2011-11-14) Evaluating system consequences of energy co-operation between industries and utilities. Linköping Studies in Science and Technology, Doktorsavhandling nr 1407. Linköpings universitet, Linköping
- Thollander, Patrik. (2008-10-28) Towards Increased Energy Efficiency in Swedish Industry: Barriers, Driving Forces & Policies. Linköping Studies in Science and Technology, Doktorsavhandling nr 1214. Linköpings universitet, Linköping
- Vidlund, Anna. (2004) Sustainable production of bio-energy products in the sawmill industry. Licentiatuppsats. Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm.
- Wolf, Anna. (2007-10-26) Industrial Symbiosis in the Swedish Forest Industry. Linköping Studies in Science and Technology, Doktorsavhandling nr 1133. Linköpings universitet, Linköping

## Andra publikationer

- Axelsson, E., Harvey, S., 2010. Scenarios for assessing profitability and carbon balances of energy investments in industry. AGS Pathways report 2010:EU1. The Alliance for Global Sustainability, Göteborg, Sweden.
- Prahalad, C.K. Hamel, G., 1990. The Core Competence of the Corporation. Harvard Business Review.
- Solding, S., Petku, D., Mardan, N., 2009. Using simulation for more sustainable production systems: methodologies and case studies. International Journal of Sustainable Engineering, vol. 2 (2): 111-122.
- Thollander P, Ottosson M, 2011. Energy related outsourcing - The case of ESCOs in the Swedish pulp and paper industry. In Proceedings of the 1st International Technology Management Conference, ITMC 2011, 329-337.





