

## 1 Projektfakta

<b>Total projektbudget:</b>	4 643 tkr
<b>Sökt belopp från VINNOVA:</b>	2 320 tkr
<b>Sökande organisation:</b>	Chalmers (kontakt Torsten Wik)
<b>Projektledare:</b>	
Namn:	Karin Eriksson (CIT- Industriell energi AB)
Mailadress:	karin.eriksson@cit.chalmers.se
Telefonnummer:	073-319 09 93
<b>Projekttyp:</b>	FUI
<b>Fokusområde:</b>	Effektiv resursanvändning
<b>Projektperiod:</b>	1 Sep 2014 – 31 Aug 2017

## 2 Projektets idé

Långsiktigt stigande energikostnader, krav på hållbarhet och ökad global konkurrens innebär att många energiintensiva industriella anläggningar behöver modifieras för att öka energieffektiviteten. För att kunna hantera och förädla förnyelsebara, ofta biobaserade, råvaror krävs också investeringar i nya processer, som på ett så energieffektivt och driftssäkert sätt som möjligt skall integreras med existerande anläggningar.

Energieffektivisering är förmodligen den gemensamt mest centrala frågan för all kemiindustri, oavsett om den process som betraktas är väletablerad eller om den är under utveckling. Processintegration är i många fall vara en framgångsrik strategi för att uppnå ökad energi- och resurseffektivitet. I vissa applikationer, inte minst beträffande nya processer för effektivare utnyttjande av biomassa, är integration med redan existerande utrustning en nödvändighet för att önskad effektivisering och därmed önskad lönsamhet ska kunna erhållas.

En ökad nivå av processintegration, vanligen genom recirkulation och andra fysikaliska återkopplingar, kan innebära en dramatisk ökning av komplexiteten i processens dynamik. Det medför i sin tur att processen blir väsentligen mycket svårare att styra och att de önskvärda förbättringarna kan vara omöjliga att uppnå.

Det finns idag etablerade metoder och mjukvara för att analysera energieffektivitet och teoretiskt bestämma utformning för optimal värmeåtervinning, med t ex värmeväxlarnät. Dessa är dock baserade på stationaritet och ger ingen eller väldigt liten information om hur olika processlösningar fungerar dynamiskt och därmed om de i realiteten är styr- och reglerbara. I brist på verktyg att studera detta förkastas lösningar där man erfarenhetsmässigt inte ser hur en reglering skall implementeras eller hur processen bör modifieras. Även det omvända sker, d.v.s. processen konstrueras utifrån en stationär analys och visar sig sedan kräva omfattande förändringar då en befintlig reglering inte kan hantera förändringen.

För att skapa framgångsrika anläggningar för framtiden skall metoder för att hantera styr- och reglerbarhetsfrågor vid design av nya energieffektiva processlösningar tas fram, och en specialistkompetens kring dessa frågor byggas upp. Metoderna ligger sedan till grund för ett verktyg, som tillsammans med redan existerande verktyg för industriell värmeåtervinning, kan utgöra ett mer komplett verktygspaket för industriell energianalys med hänsyn till såväl stationära som dynamiska aspekter. Med de framtagna processindustriella verktygen ges förutsättningar för innovativ processdesign som annars uteblir. Syftet är att metoderna och verktygen sedan skall kunna appliceras kommersiellt av CIT Industriell Energi och vidareutvecklas i framtida samarbeten med Chalmers.

Som tillämpningsexempel kommer vi att utgå från två aktuella projekt på Preem i Lysekil och på Hisingen. Båda fallen är exempel på processer med mycket hög värmeintegration och svåranalyserade effekter på existerande anläggning, framförallt när det gäller styrbarhet men även för produktvariationer. Tanken är också att metoderna och verktygen skall kunna appliceras på framtida projekt på Preem.

Ytterligare en idé med projektet är att tajma det med ett parallellt doktorandprojekt på VoM (Värmeteknik och maskinlära, Institutionen för Energi och miljö) på Chalmers där skillnader mellan teoretisk och tekniskt uppnåbar värmeintegrations-potential analyseras med samma anläggningar som tillämpning. Det projektet har en färdig finansiering genom Preem och beräknas starta till sommaren. Genom att delvis samma frågeställningar kommer angripas från två olika håll (processintegration respektive reglerteknik) förväntas goda synergieffekter. Förväntningen är att projekten också leder till fortsatta samarbeten mellan VoM och RT (Reglerteknik) på Chalmers.

### **3 Projektets bakgrund**

Som en bakgrund till det här projektet bör nämnas ett antal andra doktorandprojekt på VoM på Chalmers i samarbete med Preem. Daniella Johansson studerade i sin doktorsavhandling olika möjligheter för raffinaderiindustrin att minska sina utsläpp av växthusgaser genom produktion av vätgas, förnyelsebar diesel och bensin från skogsråvara, samt infångning av koldioxid (Johansson, 2013). Viktor Andersson tittar i sitt doktorandprojekt närmare på integration av koldioxidinfångning i raffinaderier (se t.ex. Andersson et al, 2013). Jean-Florian Brau studerade i sin licentiatavhandling integration av olika nya tekniker baserade på biomassa (Brau, 2013). Som en del i dessa tidigare projekt, som ett underlag för värmeintegrationsstudierna, har CIT Industriell Energi (CIT-IE) tagit fram ett omfattande data-underlag för Preemraff Lysekil. De har då också gjort en s.k. pinchanalys och tittat på teoretiska potentialer för energibesparingar på tre olika nivåer av värmeintegration (Andersson et al., 2013). Under hösten 2013 har de utnyttjat detta vidare och tagit fram ett antal olika förslag på energibesparingsåtgärder i några av raffinaderiets processer. Studierna visar på stora potentialer för energibesparing, men antyder också att styr- och regleraspekter blir viktiga att ta hänsyn till. Exempelvis kan en energibesparing innebära att lasten på en ugn minskas, och bränsleanvändningen minskas. Å andra sidan riskerar detta försvåra regleringen av temperaturen på ett flöde till destillation, vilket därmed äventyrar produktkvaliteten.

Under hösten 2013 inleddes ett samarbete mellan Reglerteknik (Torsten Wik och Anders Karlström), VoM (Elin Svensson) och CIT-IE (Karin Eriksson och Per-Åke Franck). Det togs då fram ett underlag för potentiella möjligheter till forskningsprojekt

inom området ”integrated design and control” med särskilt fokus på energieffektiviseringsfrågor (Eriksson et al, 2013). Ett antal intressanta samarbetsmöjligheter och luckor inom existerande forskning identifierades och det projekt som här söks pengar för var ett av dessa.

Traditionell reglerteknisk design utgår från modeller som beskriver ett systems beteende ganska noggrant, vilket är typiskt för elektriska och mekaniska tillämpningar. I processtekniska sammanhang, och i synnerhet gäller det nya och biobaserade processer, är det dock snarare regel än undantag att modeller bara ger en mer eller mindre grov uppskattning av processens dynamiska beteende. I ett antal tidigare arbeten har vi studerat reglerprestanda för system med modellosäkerheter, och då visat på vikten av att beakta osäkerheterna både för optimal återkoppling och för framkoppling (se Wik et al., 2003; Fransson et al., 2009) .

Genom att syftet med projektet är att komplettera verktyg för utformning av system för värmeåtervinning med analysverktyg för utformningen av tillhörande reglersystem blir det centralt att studera styrbarhetsegenskaper. De metoder som används för utvärdering av styrbarhet och givare-aktuator ihopparring för värmeväxlarnätverk är baserade på stationära kriterier (c.f. Escobar et al., 2013). Med relativt enkla exempel kan man dock visa att dynamiken gör att detta kan leda helt fel. Inte minst för system med dödtider, vilket är ofrånkomligt när vi har material- och värmetransport i flöden, är det viktigt dynamiken beaktas (c.f Xiong et al., 2005; Halvarsson et al., 2011). Vi har i tidigare arbeten studerat hur man utifrån en dynamisk systembeskrivning bäst väljer vilka givarsignaler som skall kopplas till vilka styrsignaler, och också tagit fram en sådan metod som utgår från en minimering av effekterna av laststörningar (Halvarsson et al., 2009; 2011).

Genom att vi kommer studera flödessystem (värmeväxlarnätverk), som också kan interagera med t ex reaktorer och separationsutrustning, kommer de dynamiska modellerna ofrånkomligen vara behäftade med osäkerheter. Häri ligger också en hög vetenskaplig och tillämpningsmässig potential då det idag saknas etablerade mått på styrbarhet och bästa ihopparring för system med signifikanta modellosäkerheter.

Projektet bygger alltså på ett processindustriellt behov av att kombinera existerande metoder för design av energieffektiva system för värmeåtervinning med metoder att analysera och utforma styrningen och regleringen av dessa. Potentialen i resultaten ligger i utvecklingen av just denna kombination, den förbättring som uppnås för de studerade och för framtida tillämpningar.

Inom projektkonsortiet finns etablerade kontakter och omfattande erfarenhet av forskningssamarbeten med energiintensiv processindustri. Utöver pågående och här sökta projekt med Preem deltar vi i forskningsprojekt kring processintegration och bioraffinaderiutveckling med kemiindustriklustret i Stenungsund (bl.a. Borealis och Perstorp), i det Vinnova-finansierade Skogskemi-projektet, och vi har även lång erfarenhet av diverse samarbeten med pappers- och massaindustrin (Holmen, Södra).

Inom ett flertal av ovan nämnda industrisamarbetsprojekt tas det fram processutformningar för optimerad energieffektivitet med hjälp av olika verktyg för processintegration, så som pinchanalys (se t.ex. Kemp, 2007). Inget av dessa verktyg tar dock hänsyn till dynamiska aspekter. Om dessa verktyg på ett enkelt sätt skulle kunna presentera mått på styrbarhet för olika lösningar så skulle detta ge ett bättre

beslutsunderlag för att implementera olika energieffektiviseringsåtgärder och därmed öka företagets konkurrenskraft.

Preem går in i detta projekt med 50% kontant finansiering för att vi väljer att studera deras tillämpningar, trots att metoden som utvecklas skall bli generell och internationellt publicerad. Det visar tydligt betydelsen av att fylla luckan mellan reglerdesign för ett färdigt nät för värmeintegration och bestämningen av nätets design baserat på en statisk beskrivning.

Ämnesmässigt ligger det föreslagna projektet väl till i tiden, helt i linje med Chalmers kommande satsning på processteknik (som nytt profilområde) och nuvarande styrkeområde Energi.

#### 4 Projektets bidrag till utlysningens mål

Projektets mål är:

- En metodik och verktyg som kombinerat med existerande metoder och verktyg för processintegration kan användas för att energi- och ekonomioptimera nybyggnation och ombyggnation av värmeväxlarnät i processindustrin. Som ett resultat vid tillämpning förväntas innovativa processlösningar som skulle förkastas med traditionella metoder.
- Demonstration av ovan nämnda metodik och verktyg på två verkliga anläggningar (Preemraff Göteborg och Lysekil) för att på så sätt kunna uttala sig om lämpliga energibesparande förändringar.
- En kompetenshöjning hos avnämarna (CIT-IE och Preem) som kan ligga till grund för kommersiell användning av metoden på andra processer och en vidareutveckling av metod och verktyg.
- Akademisk höjd med ett generellt mått på styrbarhet och metoder för insignal-utsignal ihopparning för dynamiska modeller med givna modellosäkerheter.

Målen och resultaten bidrar till utlysningens målen genom

- Ökad konkurrenskraft för svensk industri genom effektivisering av energiintensiva industrieanläggningar i Sverige.
- Minskad miljöpåverkan genom ökad värmeåtervinning, minskad energiförbrukning och, genom förbättrad reglering, mindre produktpill orsakad av ojämn kvalitet och långsamma omställningar. En förbättrad integration av biobaserade processer till befinintliga anläggningar bidrar också till ökad hållbarhet.
- Genom framtagna processindustriella metoder/verktyg ge förutsättningar för innovativ processdesign. Detta genom att möjliggöra processlösningar som utan verktyget skulle förkastas då man erfarenhetsmässigt inte ser hur en reglering skall implementeras eller hur processen bör modifieras.
- Ökat fokus på forskningsområdet processreglering, som varit eftersatt i Sverige i förhållande till vikten för svensk industri och ekonomi.
- Höjd teknikkunskap i branchöverskridande bolag (CIT-IE) som kan ge en generell strategisk fördel för Sverige.

## 5 Projektets aktörskonstellation

**CIT Industriell Energi AB (CIT-IE)** är ett konsult- och utvecklingsföretag vid Chalmers Industriteknik med omfattande erfarenhet av industriell energieffektivisering och relaterade styrmedel, processintegration samt tekniska analyser och kunskapssyntes. CIT-IE ligger bakom de studier där data tagits fram för energieffektiviseringspotentialer på Preemraff Lysekil. De har därför en stor kunskap om strömdata och potentialer för raffinaderiet, men också en stor erfarenhet av de metoder som är aktuella att använda i projektet. Idag äger CIT-IE också flera verktyg för processintegration, varav flera tidigare utvecklats på VoM (bl.a. Pro-Pi för pinchanalys och Matrix.xla för ombyggnad av befintliga värmeväxlarnätverk). Karin Eriksson från CIT-IE kommer att delta i projektet med framförallt bihandledning och projektkoordinering. Hennes doktorsexamen inom reglerteknik är från 2009 på ämnet reglering av processen för produktion av termomekanisk pappersmassa (TMP). Hon är också från ovan nämnda studier väl förtrogen med Preems anläggning i Lysekil liksom andra processintegrationsprojekt.

**Reglerteknik (RT)** vid institutionen för Signaler och System på Chalmers har en lång erfarenhet av processindustri och var bland annat med och grundade Nordic Process Control, som startade med destillationsprocesser redan 1989. Torsten Wik är professor i gruppen, har en bakgrund inom processkemi och en gedigen erfarenhet av dynamisk modellering. Han bedriver idag forskning som behandlar energibesparande, miljöförbättrande och biologiska system. Inom ren processreglering har han bl a intresserat sig för insignal-utsignal ihopparning, optimal reglering och styrbarhetsaspekter för system med modellosäkerheter. Torsten Wik har god erfarenhet av innovationsarbete och ligger bakom ett flertal patent och pågående patentansökningar. Han har som disputerad även arbetat i industrin med utveckling av styrsystem och bidrar i projektet som huvudhandledare för den tilltänkta doktoranden i reglerteknik. Anders Karlström är adjungerad professor i samma forskargrupp. Han har, utöver en såväl akademisk som industriell processteknisk bakgrund, gedigen erfarenhet av utvecklande av forskningssamarbeten inom en lång rad applikationsområden, med tyngdpunkt på energibesparingar i papper- och massaproduktion.

**Värmeteknik och maskinlära (VoM)** är Sveriges ledande forskargrupp inom processintegration, speciellt integration av bioraffinaderikoncept i befintliga industrieanläggningar. Forskargruppen har bl.a. utvecklat en rad metoder för processintegration i befintliga anläggningar (s.k. retrofit). Forskargruppen har också lång erfarenhet av tvärvetenskaplig forskning genom deltagande i bl.a. Program Energisystem och f3 (Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel). Elin Svensson innehar en doktorstjänst på VoM. Hon fick sin doktorsexamen 2012 med en avhandling om processintegrations- och bioraffinaderiinvestingar under osäkerhet. Sedan dess har hon forskat kring drift- och implementeringsfrågor kopplat till processintegration och införande av ny teknik och nya processsystemlösningar. Elin Svensson kommer att bidra med bihandledning i det här projektet samt koordinering gentemot det doktorandprojekt som kommer att pågå parallellt vid VoM.

För projektets tillämpningar arbetar gruppen mot två av Preems anläggningar; Preemraff i Lysekil och Preemraff på Hisingen i Göteborg. På grund av sina stora omsättningar och produktionsvolymerna är de industrier med hög reglerteknisk nivå och kompetens. Arbetet kommer ske i nära samarbete med huvudsaklingen Peter Holmqvist (Lysekil) och Tomas Andersson (Gbg), som leder respektive regleravdelning på de två anläggningarna.