

## Goda råd för integrerad design inom processindustri



*Anders Björk, Håkan Fridén, Erika Tönnerfors, Sofia Andersson*

**Författare:** Anders Björk, Håkan Fridén, Sofia Andersson, IVL Svenska Miljöinstitutet  
Erika Tönnerfors, SP Process development

**Medel från:** Strategiska innovationsprogrammet Processindustriell IT och Automation, en gemensam satsning av VINNOVA, Formas och Energimyndigheten.

**Fotograf:** Anders Björk (Övre bilden); KTH/IVL (Nedre bilden)

**Rapportnummer:** C 195

**Upplaga:** Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© IVL Svenska Miljöinstitutet 2016

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm

Tel: 08-598 563 00 Fax: 08-598 563 90

[www.ivl.se](http://www.ivl.se)

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem

# Förord

Detta dokument om goda råd är resultatet av arbetet som utförs i projektet INPROASIT som genomförs inom det Strategiska innovationsprogrammet Process-industriell IT och Automation (PiiA), en gemensam satsning av Vinnova, Formas och Energimyndigheten. Projektet tillkom i diskussionerna mellan PiiA och arbetsgruppen som tog fram den strategiska innovationsagendan PI-Nordic<sup>1</sup>.

Svensk industri måste kunna ställa om produktionen snabbare i framtiden, kunna köra korta serier och många olika produkter. Detta innebär krav på kortare och effektivare utvecklingscykler.

I den här skriften samlar vi gruppens råd för effektivare processutvecklingsprocedurer.

”Integrerad design inom processindustrin” är ett heltäckande begrepp för produktionsprocesser, vari det ingår:

- Själva processen med sin fysik och kemi
- Utrustning
- Instrumentering
- Övervakning och styrning med PLC och SCADA
- Överordnad och samordnande avancerad processtyrning, APC
- Produktionsplanering och produktionslogistik.

För att få en bredare bakgrund till den europeiska och svenska processindustrins utmaningar, se exempelvis: ”SusChem Strategic Innovation and Research Agenda”<sup>2</sup>, ”SPIRE Roadmap”<sup>3</sup>, ”European Roadmap for process automation”<sup>4</sup>, ”Nationell Kraftsamling för Processindustriell Automation”<sup>5</sup> samt ”PI-Nordic – A strategic research and innovation agenda for process intensification and innovation in process industries”<sup>6</sup>.

Arbetet har startat med en litteraturstudie och sedan har diskussioner förts i workshopar där representanter från industrin, universitet och forskningsinstitut har medverkat. Huvudarbetet från detta projekt ligger på denna rapport *Goda råd för integrerad design inom processindustri*. Men vi har även gjort den mindre rapporten *Kompetens-, utbildnings- och forskningsbehov för framtida god design inom processindustrin*. Vi har valt att lägga dessa två delar i separata publikationer eftersom syftena är olika och även målgrupperna delvis.

I denna skrift vi fokusera oss på goda råd för integrerad design inom processindustri.

## **Målgrupp för denna rapport är:**

Ingenjörer, tekniker och chefer som arbetar med process-, reglerteknik, automation och process IT som ett direkt stöd i eget arbete och som stöd för att utveckla verksamheten i sin eller den organisation man arbetar för.

---

<sup>1</sup> <http://pi-nordic.org/>

<sup>2</sup> <http://www.suschem.org/cust/documentrequest.aspx?DocID=928>

<sup>3</sup> [http://www.spire2030.eu/uploads/Modules/Publications/spire-roadmap\\_december\\_2013\\_pbp.pdf](http://www.spire2030.eu/uploads/Modules/Publications/spire-roadmap_december_2013_pbp.pdf)

<sup>4</sup> [http://www.processit.eu/Content/Files/Roadmap%20for%20IPA\\_130613.pdf](http://www.processit.eu/Content/Files/Roadmap%20for%20IPA_130613.pdf)

<sup>5</sup> [http://media.sip-pii.se/2014/06/svensk\\_agenda.pdf](http://media.sip-pii.se/2014/06/svensk_agenda.pdf)

<sup>6</sup> [http://pi-nordic.org/wp-content/uploads/2015/03/Agenda\\_PI\\_Nordic\\_2015-03-26.pdf](http://pi-nordic.org/wp-content/uploads/2015/03/Agenda_PI_Nordic_2015-03-26.pdf)

## Innehållsförteckning

Förord.....	3
Sammanfattning .....	5
Summary .....	6
1 Introduktion till Goda råden .....	7
2 Övergripande och praktiska råd .....	8
2.1 Tidigt i arbetet.....	8
2.2 Under arbetets gång.....	9
2.3 Vid avslutning av arbetet .....	10
3 Design baserad på historiska data ("Big Data") .....	11
4 Modellering och simulering som verktyg.....	12
5 Optimering av delar eller hela anläggningar.....	14
6 Processintensifiering, reglerteknik och automation.....	16
7 Aspekter vid design av produktionssystem för läkemedel eller andra hårt reglerade branscher .....	19
8 Design strategier för hantering av åldrande automationssystem .....	21
9 Organisationer och personer som bidragit till arbetet .....	22
9.1 Huvudförfattare .....	22
9.2 Personer har bidragit med text eller granskat skriften .....	22
9.3 Företag och organisationer i projektgruppen .....	22

# Sammanfattning

Projektet INPROASIT tillkom i diskussionerna mellan det strategiska innovationsprogrammet PiiA och arbetsgruppen som tog fram den strategiska innovationsagendan PI-Nordic. Vi har i projektet haft som huvudmål att ta fram skriften Goda råd för integrerad design inom processindustri.

Projektgruppen har bestått av 13 partners: IVL Svenska Miljöinstitutet, Optimization, IKEM, FS Dynamics, ÅF konsult, Midroc, Cactus Utilities, Västsvenska kemiklustret, SP Process Development, Perstorp, Chalmers, Open Systems Engineering samt Lunds tekniska högskola. Projektet leddes av IVL Svenska miljöinstitutet.

Arbetet har startat med en litteraturstudie och sedan har diskussioner förts i arbetsmöten där representanter från industrin, universitet och forskningsinstitut har medverkat. Slutresultatet från dessa diskussioner är denna rapport.

Rapportens första tre avsnitten utgörs av övergripande och praktiska goda råd:

- Tidigt i arbetet
- Under arbetets gång
- Vid avslutning av arbetet.

Därefter följer sex mer temaartade områden med goda råd:

- Design baserad på historiska data ("Big Data")
- Modellering och simulering som verktyg
- Optimering av delar eller hela anläggningar
- Processintensifiering, reglerteknik och automation
- Aspekter vid design av produktionssystem för läkemedel eller andra hårt reglerade branscher.
- Designstrategier för hantering av åldrande automationssystem

Rapporten riktar sig till ingenjörer, tekniker och chefer som arbetar med process-, reglerteknik, automation och process IT. Den kan användas som ett direkt stöd i eget arbete och som stöd för att utveckla egna verksamheten eller den organisation man arbetar för.

# Summary

The project INPROASIT arose from discussions between the Strategic innovation program Pii and the working group that produced the Strategic Innovation Agenda PI Nordic. We have had as main objective to develop this report “Good advice for integrated design in the process” (Original Swedish title Goda råd för integrerad design inom processindustri).

The project group consisted of 13 partners: IVL Swedish Environmental Research Institute, Optimation, IKEM, FS Dynamics, ÅF konsult, Midroc, Cactus Utilities, West Swedish chemistry cluster, SP Process Development, Perstorp, Chalmers, Open Systems Engineering and Lund University. The project was coordinated by IVL Swedish Environmental Research Institute.

The work started with a literature study and continued with discussions in workshops where representatives from industry, universities and research institutes were involved. The end result of these discussions is this report.

In this report we provide in the first three sections more comprehensive and practical advice:

- Early phase
- During the work
- Upon completion of the work

Thereafter follows six theme areas with good advice:

- Design based on historical data ("Big Data")
- Modeling and simulation tools
- Optimization of parts or entire plants
- Process Intensification, control engineering and automation
- Aspects of the design of production systems for drugs or other highly regulated industries.
- Design strategies for management of aging automation equipment

The report is aimed at engineers, technicians and managers who are working in process control process engineering, process automation and IT process. It is aimed to serve as a direct support in own work and as support to develop the own business or the organization the reader belongs to.

# 1 Introduktion till Goda råden

De första tre avsnitten utgörs av mer övergripande och praktiska goda råd:

- Tidigt i arbetet
- Under arbetets gång
- Vid avslutning av arbetet.

Därefter följer sex mer temaartade områden med goda råd:

- Design baserad på historiska data ("Big Data")
- Modellering och simulering som verktyg
- Optimering av delar eller hela anläggningar
- Processintensifiering, reglerteknik och automation
- Aspekter vid design av produktionssystem för läkemedel eller andra hårt reglerade branscher.
- Design strategier för hantering av åldrande automationssystem



Figur 1 Exempel av ett processutvecklingsarbete: En destillationsprocess som först testats i labbskala, sedan i en pilotanläggning för att till slut bli en färdig fullskalig anläggning.

## 2 Övergripande och praktiska råd

Här presenterar vi övergripande och praktiska råd som går att tillämpa i alla typ av design i processindustrier. Vi har valt att dela upp dem enligt följande:  
Tidigt i arbetet, under arbetes gång samt vid avslutningen av arbetet.

### 2.1 Tidigt i arbetet

Att man kan spara stora resurser genom att planera projektarbete, är känt från forskning kring projektledning. Att kunna planera tidigt och med tillräcklig omfattning, men ändå med avvägd detaljering är viktigt.

Vi vill lyfta fram några punkter att ta med sig i det tidiga arbetet:

- Skapa struktur i projektprocessen (det finns fördelar med att arbeta efter en etablerad metodik)
- Skapa ett projektteam med kompetenser från inblandade discipliner.
  - Detta minskar risken för fel beslut.
  - Inkludera automation, beräknings- och styrnings-kompetenser redan dag ett.
- Se till att alla inblandade, även operatörerna, involveras så tidigt som möjligt, så att de förstår projektet, dess vokabulär och dess mål.
- Dokumentera vad som är känt, vad man vill åstadkomma och hur detta skall ske
  - Identifiera projektets grundfrågor och grundbehov.
  - Lyssna på de praktiska erfarenheterna från de som varit med länge.
  - Titta på hela processens bästa för att undvika suboptimering.
- Identifiera begränsande faktorer tidigt.
- Kolla upp referensprojekt, interna och externa, samt erfarenheter från dessa.
- Arbeta på ett systematiskt sätt med funktionskrav och bryt ner kraven allt eftersom. Det är viktigt att ha rätt målsättning med kraven, både för den aktuella arbetsgruppen och för problemet. Hitta en lämplig nivå där kraven hjälper snarare än blir ett administrativt hinder.
- Specificera alla steg i projektet, kvantifiera förväntade resultat, anpassa målen till givna resurser, så att kvaliteten bibehålls.
- Försök, där det går, att arbeta parallellt snarare än sekventiellt, för att inte behöva göra viktiga delar snabbare så att kvaliteten på arbetet försämras.
- Använd produkter och mjukvaror som har möjlighet att samarbeta med öppna moduler eller är kompatibla med etablerade standarder. Se, om möjligt, till att det finns alternativa leverantörer.
- Sätt av tillräckligt med tid för att verifiera koncept tidigt:
  - Då minskas risken för att behöva korrigera installationer i drift, något som kostar mycket. Genom att tidigt i designprocessen beakta instrumentering, automation och IT-design minimeras risken för detta.
  - Det kan av drifttekniska och kostnads skäl ta lång tid innan tillfälle kommer att i efterhand göra ändringar i instrumentering eller design, då nya processer redan tagits i drift.
  - Verifiering av koncept görs med fördel med tvärfunktionella grupper
  - Verifieringen kan även göras genom pilotanläggningar för tester, när andra tekniska underlag inte är tillräcklig säkra. Detta kommer att minska risken för feldesign.
  - Att använda pilotanläggningar för att testa normal drift innan en stor anläggning tas i drift kan ge värdefulla insikter, som kan effektivisera och säkra driftstagningen.
  - Avsätt även tillräckligt med tid för att planera hur det ska verifieras att konceptet fungerar när processavsnittet eller anläggningen är klar.



- Inkludera dynamisk processmodellering, för att identifiera styrbara parametrar så tidigt som möjligt, gärna som förstudie.
  - Tiden för detta och eventuella kostnader för mjukvaror kan bli en stor initial post och ge en framtyngd i budgeten, men är på goda grunder lönsamt i längden.
  - Samma dynamiska processmodeller följer sedan med genom de olika projektfaserna. Vidareutveckling av modeller sker efter behov.
- Satsa gärna på insatser för att överbrygga avståndet mellan process- och automations-folk, genom exempelvis workshops där man får arbeta tvärs discipliner. Här har erfarenheter visat att simuleringar på olika nivå fungera som den gemensamma samlingspunkten.

I dagsläget finns en tydlig trend bland intensiva utvecklings- och forskningsprojekt att använda sig av inspiration från agila utvecklingsmetoder där arbetet karakteriseras av kortare utvecklingsfaser (sprinter) och där tillvägagångssättet och delmålen kontinuerligt justeras. Typiskt anser man att dessa metoder ger mer utrymme för innovation och nytänkande, men kraven på utvecklingscykeln och arbetsmetoderna ökar markant, för att kunna effektivt hantera de frekventa iterationerna.

## 2.2 Under arbetets gång

Mycket kan hända under arbetets gång även om det har planerats noga. Det finns ofta kända osäkerheter eller potentiella problem i ett projekt. Men det kan ofta även finnas okända osäkerheter eller problemområden. Det kräver flexibilitet och ibland nytänkande för att klara av dessa svårigheter.

Några saker att hålla koll på och speciellt beakta under arbetets gång är:

- Engagera rätt kompetens i rätt skede
- Håll koll på budgeten
- Håll regelbundna projektuppdateringar med alla medlemmar
- Kommunikationen behöver vara tydlig
  - Verifiera att mottagarna hela tiden förstår
  - Tänk på att överbrygga kunskapsluckan mellan process och automation
- Kommunicera med slutanvändarna – gör det enkelt för operatörerna, för komplicerat blir oanvändbart, involvering ökar intresset
  - Sträva efter enkla användargränssnitt
  - Utnyttja simulatorer med operatörsgränssnitt.
- Visa varandra vad man menar och gör prototyper som testas
- Simulera tidigt och vartefter arbetet fortskrider
  - Validera gjorda antaganden så tidigt som möjligt före driftsättning
- Minska uppstartstiden genom operatörsträning med hjälp av processimulator.
- Sträva efter prestigelöshet i arbetet, låt de som har bäst idéer ta beslut
- Utvärdera eventuella alternativa metoder så tidigt som möjligt
  - Exempelvis genom "Att göra"-listor på för- och nackdelar

## 2.3 Vid avslutning av arbetet

Att skriva är att tänka lär Shakespeare ha skrivit. Att samla ihop tankar om hur ett projekt genomförts har flera positiva effekter som lärande eller ett bra avslut på ett projekt, som ger förutsättningar för nästa arbete.

Några goda råd vid projektavslutningen är att:

- Återkoppla erfarenheter efter färdigställandet till de som varit med arbetet och andra relevanta.
- Gå igenom och dokumentera:
  - Vad man ville och hur man tänkte,
  - Var problemen egentligen låg
  - Vad som gick snett och hur man hanterade detta
  - Hur det blev
  - Vad som inte blev som man tänkt sig.
- Om en simulering har tagits fram i projektet bör det övervägas att lämna över den till driften för att låta dem hålla den uppdaterad.
- En simulering som inte hålls uppdaterad blir snabbt inaktuell. Kostnaden för underhållet bör vägas mot fördelar såsom att kunna använda modellen till vidare processutveckling, utbildning av nya operatörer, samt att träna erfarna operatörer på ovanliga situationer.

### 3 Design baserad på historiska data ("Big Data")

I de flesta industrier idag finns det stora mängder historiska data, samtidigt som flödet av tillkommande data ständigt ökar. Insikten om att dessa data är en användbar tillgång har kommit starkt det senaste fem åren. Tillgången har fått ett namn, "Big Data", och exploderat som ett eget kunskapsområde med en mängd konferenser, seminarier, kurser och "lättanvända" verktyg. Området är en viktig del i det som kallas industriell digitalisering<sup>7</sup>

Möjligheterna med att använda "Big Data" i kombination med effektiva sorterings- och analys-funktioner är stor. Det går att identifiera användningar både för retrospektiva och prospektiva frågeställningar.

Det finns dock en fara i okritisk användning av databaser. Det finns en viss data-övertro. Många är de examensarbetare som har arbetat med Big Data och som har kommit fram till oanvändbara modeller! Man behöver veta vilken tillförlitlighet de data man arbetar med har, veta vad som är användbart och hur man skall processa dem.

#### De olika fällorna med illusionen att "sanningen" finns i data:

- Den första fällan är att man tror att data är korrekta. Det är de sällan - här lurar bl.a. givarfel, samplingsfel, provtagningsfel och bortfall.
- Den andra fällan är att korrelationssamband i data, t.ex. mellan processdata och kvalitetsdata, sällan kan etableras som orsakssamband. Oftast finns det dolda underliggande faktorer som man inte kommer åt och som orsakar stor del av de registrerade variationerna.
- Den tredje fällan är att man använder analysmetoder som bygger på statistiska förutsättningar som inte är uppfyllda i data, t.ex. att data skall vara normalfördelade, att de inte får vara korrelerade. Risker ökar ju mer lättanvända dessa verktyg är.
- Den fjärde fällan är att man använder data från perioder då processen har legat helt fel eller varit under omställning. Det kan bland vara motiverat att titta just på perioder då man kört processen i onormala lägen, men risken ligger i om man använder modellen för normala driftpunkter och bara byggt den på ett onormal läge så är den inte tillräckligt generell.
- Den femte fällan är att man inte beaktar interaktioner och olinjäriteter, som i någon mån alltid är närvarande.
- Den sjätte fällan är att data inte har tillräcklig spridning i processrymden.

Generellt kan man nog säga att arbetet med att modellera utifrån historiska data till 80 % utgörs av datatvätt, såsom validering och filtrering av data. Går inte den tiden åt för detta, skall man vara misstänksam!

#### I princip är det tre typer av data vi har att göra med:

- Tidseriedata, som typiskt är data från olika givare, insamlade med konstant tidsmellanrum, vanligen ett värde per minut eller snabbare
- Laboratedata, som är analysresultat av prover tagna vid olika punkter och tillfällen längs processen
- Händelsedata, som är listor med tidpunkter då olika händelser inträffat, t.ex. ankomsttider eller larmtider

<sup>7</sup> Larsson, Ö. Industriell digitalisering, PiiA Analysis, 2016, [http://media.sip-piia.se/2014/07/Industriell-Digitalisering\\_WEB.pdf](http://media.sip-piia.se/2014/07/Industriell-Digitalisering_WEB.pdf)

Tidseriedata och laboratoriedata är generellt multivariata, ofta fler än 50 variabler/taggar, och skall modelleras med multivariata metoder för sammanfattning, klassificering eller samband/regression<sup>8</sup>.

Byggandet av orsaksmodeller från historiska data, att t.ex. användas för styrning, är generellt inte tillrädligt, det är alltför lätt att finna ohållbara samband. Sådana modeller kan dock väl användas som idégeneratorer för att finna kandidater till viktiga förklaringsvariabler. Därefter måste man identifiera orsakssambanden mellan dessa förklaringsvariabler och givna resultatvariabler med experiment enligt en statistik försöksplan, där förklaringsvariablerna varieras så att effekterna på resultaten från var och en kan identifieras.

En utmaning i sig är matchningen av data från olika punkter längs processlinjen. I princip betyder detta att man tar hänsyn till produktionshastigheten och följer en materialplugg genom processen, data läggs till pluggen vartefter den processas mot slutprodukten. Data från processens början kommer att ha äldre tidstämpel än de som tillkommer på slutet. Svårigheten med pluggföljning är att ha koll på vad som händer i blandningskärl. När pluggföljningen är gjord kan man relatera resulterande produktkvalitetsgenskaper till olika händelser och tillstånd längs processlinjen.

Händelsedata kan användas för att modellera flödet i en process. Metodiken som används kallas "Process Mining"<sup>9</sup>, och kan användas för att visualisera flödet i ett nätverk av olika noder/stationer. Man får statistik över transporttider och uppehållstider, normala och onormala händelsekedjor. Process mining kan bl.a. användas till att hitta flaskhalsar i logistiken.

## 4 Modellering och simulering som verktyg

Termen modellering används här för arbetet med att uttrycka samband mellan olika processvariabler i ett processteg i matematiska termer. En modell kan vara teoretisk (white-box), empirisk (black-box) eller halvempirisk (grey-box) (empiri = genom erfarenhet). Allmänt kan man säga att rent teoretiska modeller bara fungerar i laboratoriesammanhang, i verkliga processer pågår alltför mycket samtidigt för att man skall kunna uttrycka allt teoretiskt. Ofta bör man ändå utgå från teoretiska samband som man bygger ut med empiriska data, därav uttrycket grey-box.

Empiriska data för modellering bör man helst skapa genom en serie kontrollerade försök, s.k. statistisk försöksplanering, där olika ingångsvariabler varieras så att deras effekt på utgångsvariablerna kan identifieras var för sig, även om ingångsvariablerna samspelar mot utgångsvariablerna.

Ett exempel på sådana modeller är multivariata sensorer som baseras på data från Nära InfraRöd (NIR) spektrometrar och som används för processtillämpningar. När man bygger modellerna bör man här se till att inte använda tidpunkter som ligger för nära varandra i tiden för inte att bygga in slumpkorrelationer i modellerna. Från en multivariat sensor får man en vektor av variabler, ex vis ett spektrum per tidpunkt. Prediktioner från dessa är ofta tillförlitligare än de baserade på vanliga processdata.

En modell har alltid ett giltighetsområde som begränsas av olika antaganden och intervallen för de variabler som ingår i dess etablering. Sammanfattningsvis har en modell alltid ett giltighetsområde. Att använda en modell utanför dess giltighetsområde är inte tillrädligt. Därtill är en empirisk processmodell baserad på vid ett visst tillfälle rådande omständigheter vilka inte förblir konstanta.

---

<sup>8</sup> Multi- and megavariate data analysis. Basic principles and applications, MKS AB, 2013

<sup>9</sup> van der Alst, WMP. Process mining, discovery, conformance and enhancement of business processes. Springer, 2011

Generellt kan man säga att empiriskt baserade processmodeller är färskvara, modellerna kan t.ex. sluta vara användbara efter ett större underhållsstopp.

Termen simulering används här för arbetet med att uttrycka samband mellan olika processvariabler i ett större processavsnitt som beskrivs av flera hopkopplade modeller. För den processtekniska industrin finns kraftfulla simuleringsverktyg, där enskilda processteg upp till hela processer kan simuleras. I simulatoren är processtegen beskrivna som modeller med karaktäristiska samband och parametrar.<sup>10</sup> Dessa samband kan vara teoretiska, empiriska eller semiempiriska. Syftet med *dynamisk simulering* är bl.a. att studera:

- Uppstarts-, omställnings- och nedsläckningsförlopp,
- Studera satsvisa operationer,
- Studera reglersystem och instrumentering,
- Studera hur processen uppträder då utrusning går sönder samt också vid
- Utbildning.

För processoperatörer är inte minst de två senare punkterna viktiga för att få process-kännedom och träning för ovanliga fel och händelser. Vid utbildning av ingenjörer används dynamisk simulering idag. Vid Chalmers genomför studenterna en laboration där en destillationskolonn simuleras dynamisk för att få en uppfattning om reglerstrategi samt öka förståelsen för ledtider eller tidskonstanter i processerna. Vid Luleå Tekniska Universitet har man likartade tankar, genom att låta studenterna "köra" ett simulerat mälder i (massaberedning) i ett pappersbruk. I den här tillämpningen provar man "gamification" (att använda spelelement som olika typer av poäng eller belöningar samt ledartavlor för att motivera användarna) på dynamiska molnbaserade utbildningssimulatorer<sup>11</sup>.

En bra simulator sammanfattar kunskapen om processen. Avvikelser mellan simulatorns och processens beteende visar var kunskap saknas.

Ofta förekommande fördelar med simulering är repeterbarhet, tydlig visualisering som möjliggör förklaring av fysikaliska fenomen samt möjlighet att analysera omständigheter som är svåra att skapa med fysisk provning.

Ett användbart sätt att modellera en process är att sätta upp energi- och flödesbalanser över processens flödesschema. Till detta fungerar programvaror av typen kalkylprogram, så som Excel, utmärkt.

Att sätta upp en simulering i ett investeringsprojekt kan ge initialt höga kostnader. Dessa kostnader kan dock tjänas in om simuleringen hjälper projektet att välja rätt lösning och att träna upp processoperatörer. Det bör utföras en behovsanalys kring vilka modeller som bör sättas upp och kring vilka driftspunkter, då stora modeller är tidskrävande att sätta upp.

Tillgång till goda exempel på modellbaserade (virtualiserade) projekt från olika branscher och utförare gör att fler ser nyttan med att använda simulering. Då förstår man att den ibland initialt höga kostnaden är något som man snart sparar in i projektet.

Vid valet av simuleringsverktyg är det viktigt att beakta möjligheten till interoperabilitet med andra simulatorer, möjligheten att ta in aktuella processsignalvärden och att köra simulatoren i realtid. Detta för att kunna köra scenarios baserade på viktiga processvariablers nuvärden.

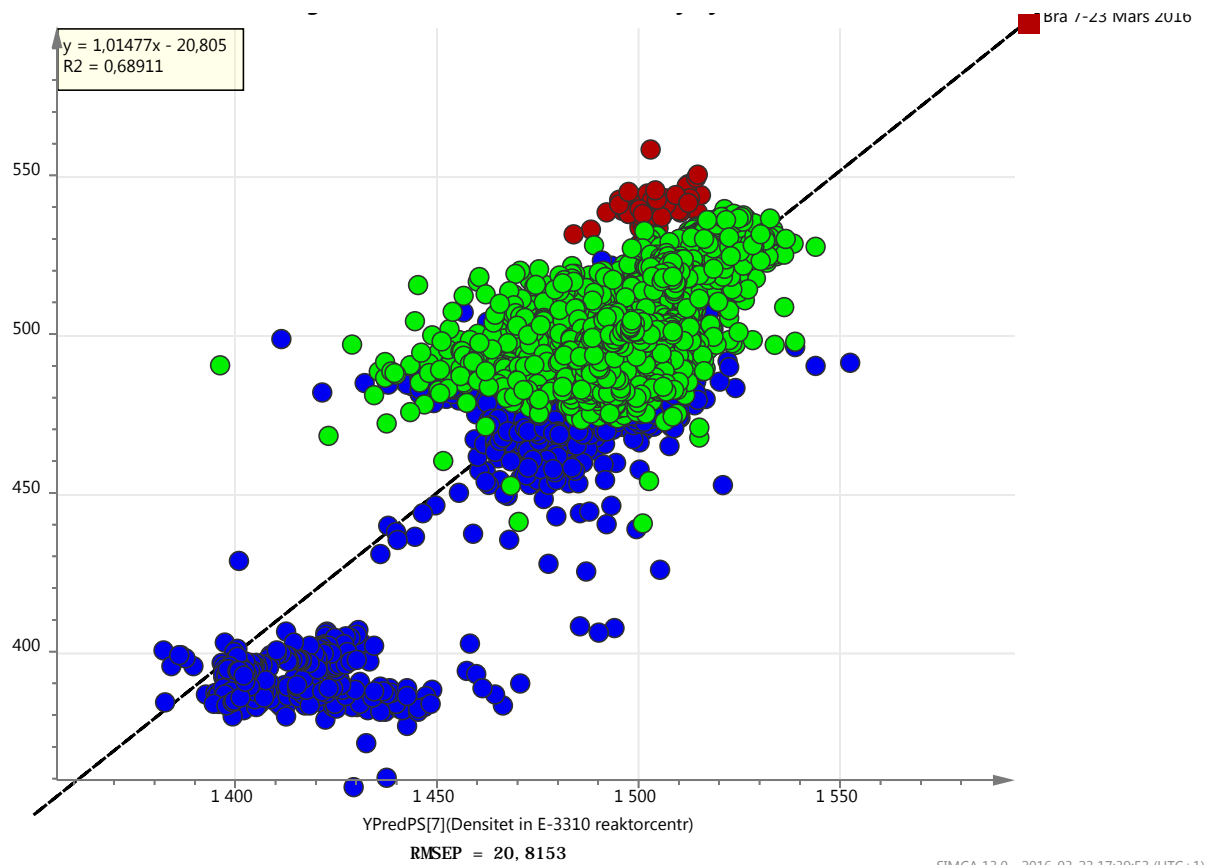
---

<sup>11</sup> "GameOn", <http://www.vinnova.se/sv/Resultat/Projekt/Effekta/2014-00599/Spelhantering-i-en-webbaserad-simuleringsplattform-for-dynamiska-processer/>

## 5 Optimering av delar eller hela anläggningar

En simulator, eller matematisk modell, kan också användas för optimering där matematiska beskrivningar av det man vill optimera, objektfunktionen, kan kombineras med svaret från simulatoren för att ge den parameteruppsättning som ger det bästa värdet på objektfunktionen. Objektfunktionen kan till exempel beskriva produktivitet, utbyte, kvalitet, energianvändning eller något annat som är relevant för processen som ska optimeras. Förutom objektfunktionen kan optimeringen utföras med bivillkor, som då gör att de objektfunktionsvärden, där bivillkoren ej är uppfyllda, blir ogiltiga.

Objektfunktionens värde kan vara brusigt, eller så kan den ha flera lokala minima, denna typ av objektfunktioner kallas multimodala, och är vanligt förekommande vid optimering med dynamiska modeller. För denna typ av objektfunktioner bör derivatabaserade eller indirekta optimeringsmetoder ej användas, då sannolikheten att fastna i ett lokalt minimum är hög.



Figur 2 Ett exempel på där mätningar har gjorts för att kunna genomföra en optimering.

Om optimering sker på mer än ett objekt åtgången kallas det multiobjektsoptimering, denna typ av optimering är lämplig om det finns flera objekt som konkurrerar med varandra, t.ex. produktivitet och renhet. Denna typ av optimeringsproblem ställer liksom multimodala optimeringsproblem höga krav på optimeringsalgoritmen.

Ett problem som kan uppstå är att objektfunktionen ej är kontinuerlig i hela beslutsvariabelrymden. Detta leder till luckor där objekten ej är definierade och ställer därmed höga krav på användaren i fråga om att tolka resultaten från optimeringen.

Indirekta gradientbaserade algoritmer bör ej användas för multimodala optimeringsproblem, utan rekommendationen är att använda direkta algoritmer, såsom Interior Point för optimering med bivillkor eller evolutionära algoritmer, t.ex. Genetic Algorithm eller Differential Evolution, som har god konvergens, men kostar dyrt i datorkraft. Simplexmetoder rekommenderas ej för multiobjekt eller multimodala optimeringsalgoritmer, då de saknar metoder för att komma ur lokala minima.

Vidare är det viktigt att försöka optimera hela processen på en gång, och inte bryta ned optimeringsproblemet till små beståndsdelar som optimeras var för sig, då läses en stor del av beslutsvariablerna för innevarande steg av föregående eller efterföljande steg, med stor risk att den totala lösningen är suboptimal. Lämpliga systemgränser för optimeringen kan således vara en industripark, en fabrik, eller ett separationsavsnitt, men att optimera två eller tre efterföljande enhetsoperationer var för sig rekommenderas alltså inte. Detta råd är viktigare ju mer parametrarna i de enskilda enhetsoperationerna är beroende av varandra. För kontinuerliga processer i bulkkemikalierindustrin eller pappersindustrin är beroendet troligtvis större än för satsvisa processer i finkemikalieindustrin.

Termen industriell symbios har myntats för industriparksoptimering. I det perspektivet kan användningen av t.ex. energi, vatten, ånga, råvaror och transporter beaktas vid allokeringen av nya processer till alternativa industriområden, se t.ex. EU-projekt Locimap<sup>12</sup>. En annan aspekt är att optimeringen av en industripark kan begränsas av avloppsverkets kapacitet.

Sammanfattning råd kring optimering:

- Fundera väl igenom objektfunktionen – beskriver den det jag vill optimera?
- Är objektfunktionen multimodal eller brusig - välj en algoritm som kan hantera detta
- Vill du optimera flera objekt samtidigt - välj en algoritm som kan hantera detta, alternativt vikta objekten mot varandra och optimera sekventiellt
- Börja smått, med t.ex. ett processteg, för att säkerställa kommunikation mellan simulator och optimeringsalgoritm, och verifiera rimligheten i svaren.
- Optimera hela processen, eller så stora delar som möjligt - minimera risken för suboptimering

---

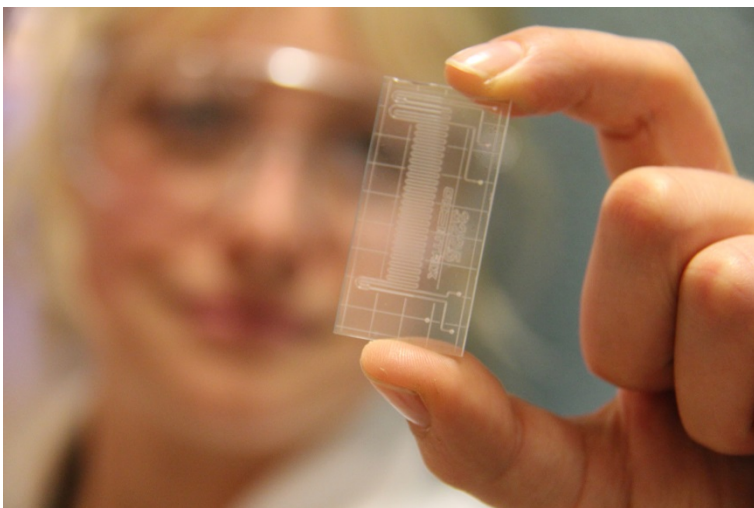
<sup>12</sup> LOCIMAP - The EU Low Carbon Industrial Manufacturing Parks project, [www.locimap.eu](http://www.locimap.eu)

## 6 Processintensifiering, reglerteknik och automation

En definition av processintensifiering är i översättning "Processintensifiering består av utveckling av nya apparater och tekniker som, jämfört med de som vanligtvis används i dag., förväntas ge dramatiska förbättringar i tillverkningsindustri och processindustri, som avsevärt minskar utrustningsstorleks-/produktionskapacitetskvoten, energiförbrukning eller avfallsproduktion och som slutligen resulterar i billigare, hållbar teknik.<sup>13</sup> För en större genomgång om processintensifiering i Sverige samt omvärlden, identifierade behov av satsningar och föreslagna satsningar inom området, se den strategiska innovationsagenda PI-Nordic<sup>14</sup>

Processintensifiering (PI) kan göras genom att intensifiera parametrar (så som hastighet, tryck, temperatur, pH och mängder att satsa) och genom snabbare och mer precis reglering. För att kunna intensifiera processens parametrar måste ofta utrustningen utformas annorlunda.

För att få en snabbare och mer precis reglering av t.ex. värme/kyla måste reaktorerna göras mindre, så att man får en snabbare värmeöverföring (större area/volymförhållande). Detta kan t.ex. leda till att reaktionen istället för att köras i en 1 m<sup>3</sup> tank, körs inne i kanalerna i en värmexväxlare som reaktionslösningen pumpas igenom (kontinuerliga flödesreaktor).



Figur 3 En mycket liten flödesreaktor för labbskala.

Även utblandning av två olika kemikalier kan göras snabbare och mer precist genom att låta två små flöden snabbt blandas ut i varandra istället för att tillsätta dem i två stora mängder i en stor tank där de långsamt blandas ut av en omrörare. Ett exempel är om en lösning ska justeras i pH genom att syra tillsätts. Om syran tillsätts i stor mängd i en punkt i en tank, så kan det bli för surt i denna punkt och produkten nära denna punkt kan skadas. Om istället utblandningen sker snabbt, så skulle pH inte bli för surt och produkten skulle klara sig.<sup>15</sup>

<sup>13</sup> Stankiewicz, A and Moulijn, JA, Process Intensification: Transforming Chemical Engineering, Chemical Engineering progress January 2000.

<sup>14</sup> Anders Björk, Björn Gregertsen, Oleg Pajalic, Anna Stenemyr, et. al, PI-Nordic – A strategic research and innovation agenda for process intensification and innovation in process industries., 2015, <http://goo.gl/eM0ep6>

<sup>15</sup> Fabrice G. J. Odille, Anna Stenemyr, Fritiof Pontén, "Development of a Grignard-Type Reaction for Manufacturing in a Continuous-Flow Reactor", Article in Organic Process Research & Development 18(11):1545-1549 · November 2014



Intensifiering i koncentrationer kan göras genom t.ex. membranfiltrering. Avfallströmmar kan koncentreras upp och återvinnas<sup>16</sup>. Ett annat exempel är användning av membranbioreaktorer inom vattenrening<sup>17</sup>

Effekten av PI är ofta att reaktionerna går ”renare” med mindre biprodukter och utsläpp. De innebär också mindre processrisker med tanke på att mindre mängder hanteras i respektive processteg, t.ex. kan tillverkning av explosiva material tillverkas i en flödesprocess för att minimera konsekvenser vid ett processfel.

En annan effekt kan bli att man minimerar volyms- och tidsbuffertar i processen, genom att minska volymen på bufferttankar och ta bort brytpunkter eller genom att gå från satsvisa processer till flödesprocesser. Det gör att man måste förlita sig mycket mer på in-line mätningar för att snabbt kunna parera avvikelser, där det tidigare räckte med ett off-line prov som analyserades på labb medan processen väntade. Att buffertar i processerna tas bort, kan leda till instabila system och system med låg tillgänglighet. Att simulera kan vara ett viktigt verktyg för förstå helheten. Simuleringarna bör vara av både dynamisk detaljerad grad (reglerloopsnivå) men även simuleringar som stödjer operationsanalyser på årsbasis där t.ex. betydelse av storleken och placeringen av buffertar för tillgängligheten kan analyseras.

Flödesprocesser ställer krav på att ha en god reglering av flöden och tryck, t.ex. genom en väl kontrollerad pump- och ventilstyrning. Förhållandet mellan två satsade kemikalier kan bli fel om den ena pumpen plötsligt pumpar mindre. Upphållstiden i en varm zon kan bli för lång eller för kort om en pump ger fel flöde, vilket kan ge upphov till biprodukter eller dålig omsättning. Ett sådant system kräver kontinuerlig övervakning och reglering för att systemet självt ska kunna anpassa sig till mindre avvikelser. Vid avvikelser och larm måste det finnas tillgång till personal för att hantera processavvikelser. Möjlighet för fjärrövervakning och styrning via mobila enheter blir då intressant.

Det är också viktigt att beakta felsäkringen för utrustningen där förstas avbrottsfri kraft till automationssystemet är en viktig komponent.

Det är också viktigt att kartlägga alla parameter som styr kvaliteten, både direkt och indirekt. Detta kan man göra med statistisk försöksplanering och multivariat modellering

Ett processintensifierat system kan kräva ett kvalitetskontrollsystem in-line. Detta kan t.ex. ha möjlighet att tömma en lösning till avfall eller recirkulera lösningen under de perioder då lösningen inte uppfyller kraven. Detta är speciellt viktigt för processer där produkter utanför specifikation inte kan eller får blandas ut.

<sup>16</sup> Uwe Fortkamp, et al., Avskiljning av metallfluorider vid blandsyrabetning - ökad förståelse av kemiska processer och framtagande av separationsmetoder, 2002, IVL Rapport B1441, <http://www.ivl.se/sidor/publikationer/publikation.html?id=2473>

<sup>17</sup> Oscar Samuelsson, et al, Pilotförsök med membranbioreaktor för avloppsvattenrening, 2015, IVL Rapport B2215, <http://www.ivl.se/sidor/publikationer/publikation.html?id=3181>

För att i Sverige öka användningen av processintensifiering är en gemensam satsning mellan industri, akademi och institut förmodligen nödvändigt. Några andra viktiga faktorer som vi identifierat är att:

- Simulering av processteg är viktigare för nya intensifierade processer än för traditionella för dimensionering och för att hitta problem tidigt. Till exempel:
  - För att studera propagering av störningar i system.
  - Studier av gränssytor och masstransport.
  - Studier per apparat eller enhetsprocess
  - Hela processlinjer som består av modeller av enhetsprocesser.
- Vi ser att det saknas goda mekanistiska modeller för partikulära material, blandning, flerfasströmning som något kan fördröja användningen av PI.
- Man måste utbilda beslutsfattarna så att de ser fördelarna med PI och inte bara den teknologiska risken.
- Vi behöver konkretisera vad vi menar med PI och göra prototyper som testas och här är även användargränssnittet viktiga.
- Något många talar om är behovet av referensanläggningar som visar på goda exempel hur PI kan användas. Här kan instituten spela en viktig roll att i form av utveckling av piloter men byggandet av en fullskaleanläggning där PI används i en eller flera steg skulle accelerera användningen än mer.
- Man kan behöva lägga resurser på ta fram experimentella data frånlaboratorietester med från uppställningar som liknar de man vill använda. Detta då det saknas allmänt tillgängliga experimentdata.
- Det finns en hel del vetenskap och ingenjörskunskap om PI i Nederländerna och Tyskland som vi borde kunna ta till vara bättre. Exempelvis är många enkla kemiska processer redan testade där med PI.
- Många intensifierade processer har snabbare förlopp och kräver därför snabbare och mer noggrann mätning och styrning. Effekten av el- och utrustningsbortfall måste kunna hanteras av systemet.
- PI processerna kan behöva mer styrning men det behöver inte innebära mer avancerad. Kanske behövs mer fokus på utbildning av personal i kontinuerligt arbete med trimning.
- För att få god styrning behövs även anpassade givare och nya typer av givare, detta är motiverat av att formfaktorn i intensifierade utrustningar är rejält mindre samt av att man kan behöva mäta nya egenskaper direkt. Högre tryck och temperaturer kan innebära att högre krav ställs på givarna.

Som nämns ovan är demoanläggningar med PI-utrustning viktiga. Sådan finns bland annat hos SP Process Development<sup>18</sup> i Södertälje och IVL Svenska miljöinstitutet i Stockholm<sup>19</sup> respektive även på Hammarbysjöstadsverk<sup>20</sup> i Nacka. För en mer omfattande översikt om testbäddar och demoanläggningar se Vinnovas översikt<sup>21</sup>.

<sup>18</sup> <https://www.sp.se/spprocessdevelopment>

<sup>19</sup> <http://www.ivl.se/sidor/omraden/miljoteknik-och-hallbar-produktion/miljoinnovationer-och-testanlaggningar.html>

<sup>20</sup> <http://www.hammarbysjostadsverk.se/>

<sup>21</sup> [http://www.vinnova.se/upload/EPiStorePDF/va\\_15\\_08\\_t.pdf](http://www.vinnova.se/upload/EPiStorePDF/va_15_08_t.pdf)

## 7 Aspekter vid design av produktionssystem för läkemedel eller andra hårt reglerade branscher

Det som kännetecknar design av system för hårt reglerade branscher är främst arbetet i början på projektet där man är tvungen att identifiera krav och utarbeta strategier genomgående för att kunna genomföra projektet på ett strukturerat sätt.

Det innebär att förstudiefasen är mer omfattande än för mer normala projekt och möjligheten att ändra designen under projektets gång är betydligt mindre.

Dokumentation viktig genom alla faser, alla dokument måste vara tydliga, ha god struktur och vara spårbara. Ofta måste specifikationer godkännas av kvalitetsfunktioner vilket innebär att man också måste ha en bra process för ändringshantering, så att man alltid stämmer av ändringar mot de grundläggande specifikationerna. Vid avslut skall all dokumentation arkiveras, för att systemen skall kunna inspekteras av olika myndigheter. En översikt över aktiviteterna i de olika projektfaserna, sen nedan.



Figur 4 En av de produkter som tillverkas av läkemedelsindustrin

Tidigare kännetecknades detta område av konservativa tankemönster med motstånd mot förändringar, detta för att garantera kvaliteten på slutprodukten. För läkemedelsindustrin styrdes detta i stor utsträckning av amerikanska myndigheten FDA. Med införandet av begreppet "Quality by Design" så har läget radikalt förändrats. Man trycker idag på för att förändringar skall ske som sänker kostnaderna med bibehållen kvalitet på produkterna. Man trycker i klartext på för att industrin skall modernisera sin tillverkning och använda kontinuerlig tillverkning i större utsträckning.

### **Förstudiefasen**

Gör en noggrann behovsanalys, som både visar på verksamhetens behov, men även hur de aktuella direktiven skall styra kravställningen. T.ex. inom läkemedelssidan finns omfattande krav på design av systemen för att garantera reproducerbarhet i funktioner och spårbarhet när det gäller mjukvaror och lagrad data. Förstudiefasen skall leda till en konceptuell design samt en kravställning, där man kan verifiera, att design och krav uppfyller både behov och direktiv.

Här skall även strategier för dokumentation, testning/validering, ändringshantering, lagring av data (processhistorik, laboratoriedata, händelser) och mjukvaror etc. arbetas fram.

Exempel på styrande direktiv: Eudralex, FDA CFR 21 -part 11, ATEX samt Maskindirektivet.

### **Projekteringsfas**

Som skiljer sig i den här fasen är att de detaljerade kravspecifikationer som tas fram måste valideras både mot användarens krav likväl som de aktuella direktiven. Dessa kontroller skall dokumenteras på ett strukturerat sätt.

### **Utförande fasen**

I utförandefasen är det testning och validering en stor del av arbetet. Avvikelsehanteringen är också en vital del i den här fasen.

### **Avslut**

När all testning/validering är slutförd och alla avvikelser är hanterade kan ett avslut göras. I det ligger också att en förvaltningsorganisation är i drift och att t.ex. backuprutiner mm är framtagna. Det krävs också framtagna arbetsrutiner, etablerad förvaltningsorganisation mm för att kunna avsluta projekten för dessa hårt kontrollerade system.

## 8 Design strategier för hantering av åldrande automationssystem

För system där man har åldrade automationssystem kan det ändå finnas möjlighet att välja att fortsätta ha systemen i drift istället för att uppgradera. T.ex. för system med enkla funktioner som inte behöver vara uppkopplade till överordnade system (t.ex. SCADA) så kan det vara en bra strategi att hålla systemen vid liv.

Ett exempel är ett projekt hos ett större läkemedelsföretag, där man istället för att byta ut sina system från en större automationsleverantör valde att fortsätta håll dem i drift genom att utöka den interna kompetensen om systemen, samt upprätta avtal med externa aktörer för att garantera både kunskap och tillgång till reservdelar.

I det aktuella fallet hade man inventerat sina gamla system och fann att man hade över 150 system som det fanns behov av att byta ut. Med tanke på att varje systembyte landade i genomsnitt på mellan 0,5 – 1,0 miljoner kronor, samt att ett byte skulle ta flera månader med de krav som finns inom läkemedelssektorn, så bedömdes det inte genomförbart att byta ut alla system.

I flera av fallen var livslängden för själva maskinen också begränsad och styrsystembytet planerades in i själva bytet av maskinen.

I många andra fall beräknades maskinens livslängd vara många år framöver och i de fallen så gjordes en noggrann analys av systemet där samtliga komponenter inventerades. All dokumentation och mjukvaror gick igenom för att säkerställa att allt var i gott skick. I vissa fall kunde man lägga in gamla mjukvaror i virtuella skal, så att de gick att använda i moderna datorer.

När det gällde själva hårdvaran, så identifierades alternativa leverantörer som kunde testa, repararera och lagerhålla komponenter som hade gått ut hos huvudleverantören. Detta ledde i sin tur att huvudleverantören också förlängde sitt åtagande att lagerhålla komponenter.

Att behålla kunskapen om åldrade automationssystem är en viktig aspekt. I förstudien inför projektet så inventerades kompetensen hos de interna automationsingenjörerna och det visade sig att det endast var några som hade basala kunskaper om de gamla systemen. Oftast är det så det är bara den äldre personalen som har kunskap om de äldre systemen. Det visade sig att det inte fanns tillgängliga heltäckande utbildningar för de gamla styrsystemen, utan en ny utbildning fick tas fram av en extern leverantör.

Projektet ledde till att man kunde fokusera sina resurser på de system där man verkligen var tvungen att uppgradera, istället för att uppgradera allt. Under förstudien visade det sig även att andra större tillverkningsföretag inom olika inriktningar hade identifierat samma problem och några hade påbörjat liknande projekt.

## 9 Organisationer och personer som bidragit till arbetet



Figur 5 Bilder från workshopen i Göteborg 4:e februari.

### 9.1 Huvudförfattare

Anders Björk, Håkan Fridén, Erika Tönnerfors, Sofia Andersson.

### 9.2 Personer har bidragit med text eller granskat skriften

Robert Zanton, Oleg Pajalic, Peter Lingman, Bernt Nilsson, Mark Max-Hansen, Bo Olsson, Marcus Christiansson, Martin Lundström, Marcus Hasselgren, Martin Skarstind, Lennart Öhlund, Lars Josefsson, Nina Rabe, Jesper Karlsson, Krister Ström, Karin Eriksson, Thomas Gillblad.

### 9.3 Företag och organisationer i projektgruppen

IVL Svenska Miljöinstitutet, Optimization, IKEM, FS Dynamics, ÅF konsult, Midroc, Cactus Utilities, Kemiklustret, SP Process Development, Perstorp, Chalmers, Open Systems Engineering och Lunds Tekniska högskola.



INNOVATION  
BY EXPERIENCE

**IKEM**

*Innovations- och kemiindustrierna i Sverige*



**OPEN  
SYSTEMS**  
Engineering



**Perstorp**

WINNING FORMULAS



Process  
Development

VÄSTSVENSKA  
**Kemi- och  
Materialklustret**

**Optimization**®

**CACTUS**

**FS DYNAMICS**



**ivl**  
SVENSKA  
MILJÖINSTITUTET

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm  
Tel: 08-598 563 00 Fax: 08-598 563 90  
[www.ivl.se](http://www.ivl.se)