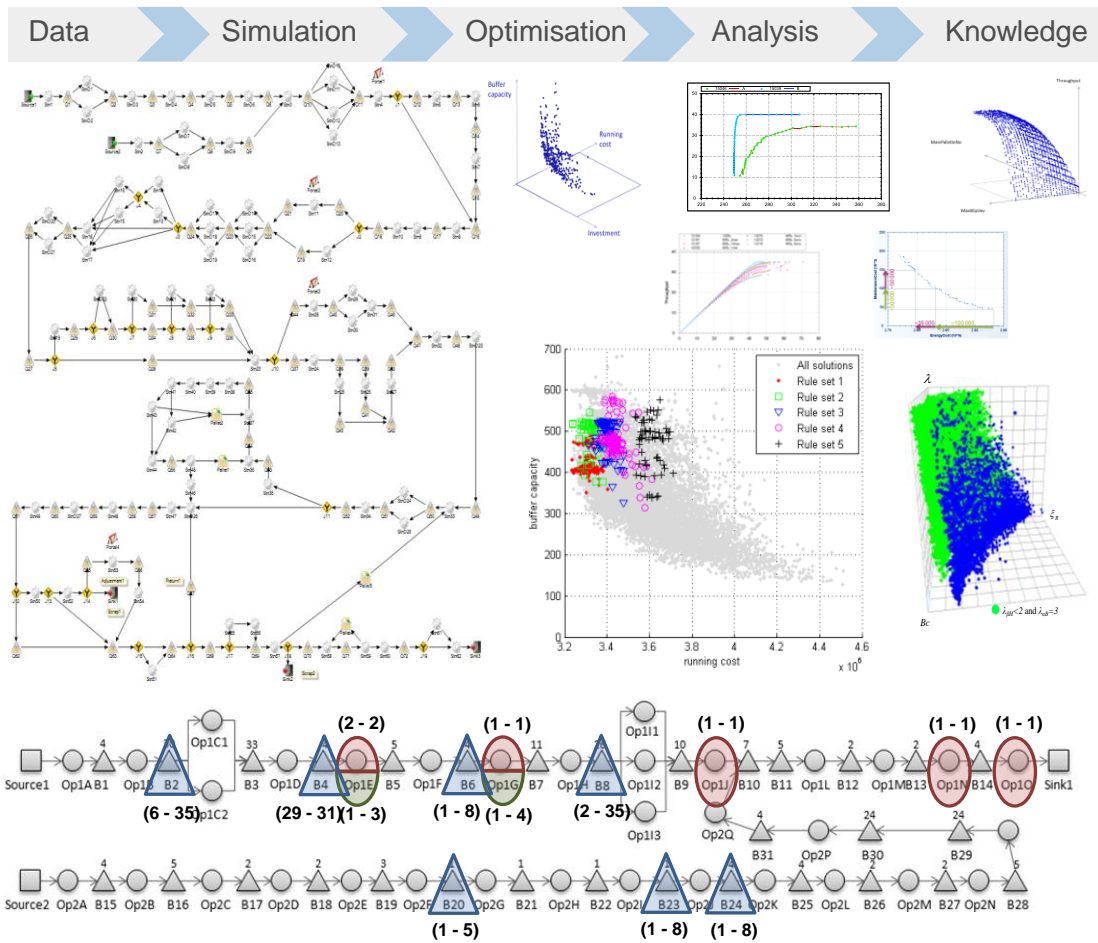


Holistisk Simulering-Optimering för hållbar och lönsam produktion (HSO)



Projekt inom Hållbar Produktionsteknik

Författare: Amos H.C. Ng (Högskolan i Skövde) och Leif Pehrsson (VCC)

Datum: 31 januari 2013

Innehåll

1. Sammanfattning.....	3
2. Bakgrund	4
3. Mål.....	6
4. Projektgenomförande	7
5. Resultat och leveranser.....	9
5.1 Leveranser kopplat till FFI-mål.....	11
6. Spridning av resultat och publikationer	12
6.1 Spridning av kunskap och resultat	12
6.2 Publikationer	13
7. Slutsatser och fortsatt forskning.....	14
8. Deltagande parter och kontaktpersoner	15

FFI i korthet

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings-, innovations- och utvecklingsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Säkerhet. Bakgrunden är att utvecklingen inom vägtransporter och svensk fordonsindustri har stor betydelse för tillväxt.

Satsningen innebär FoU verksamhet för cirka 1 miljard kronor per år varav de offentliga medlen utgör hälften. För närvarande finns fem samverkansprogram: **Energi & miljö, Fordons- & trafiksäkerhet, Fordonsutveckling, Hållbar produktionsteknik, Transporteffektivitet.**

For mer information: www.vinnova.se/ffi

1. Sammanfattning

Hållbarhet i fråga om ”energieffektivitet”, ”lean”, ledtidseffektivitet och andra former av hushållande med resurser har blivit en avgörande faktor att beakta, inte bara under pågående industriell produktion utan också när ett produktionssystem utformas och utvecklas. Samtidigt finns det ett brådskande behov hos den svenska industrin att utforska strategier och metoder som kan bidra till att accelerera effektivisering och stödja beslutsfattande för att återta och stärka lönsamheten. Med detta som grundläggande motivation startades FFI-HSO-projektet i september 2009. Målet var att undersöka, beforska och utveckla en ny metod, kallad HSO-metoden, för beslutsstöd kopplat till styrning, ledning och utveckling av produktion. HSO-metoden, som illustreras i bild 1, bygger på den främsta teknologin i forskningsfronten inom simuleringsbaserad flermålsoptimering. Mycket konkreta och framgångsrika resultat kan redovisas genom en fallstudie genomförd hos VCC under 2011.

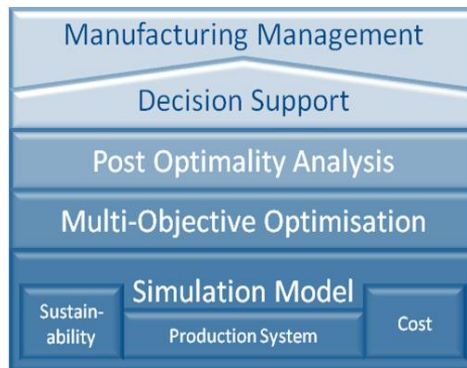


Bild 1. HSO, ramverk för ledning, styrning och utveckling av produktion med beslutsstöd.

Målet med denna fallstudie var att höja produktionskapaciteten med 20 % och samtidigt sänka driftkostnaderna med 20 % i samband med att en line för komponentproduktion skulle byggas om. Med andra ord handlade det om att hitta de optimala investeringsalternativ som kunde höja produktionsstakten samtidigt som driftkostnaden kunde sänkas så mycket som möjligt. Potentialen med att tillämpa simuleringsbaserad flermålsoptimering och analys efter optimering (se bild 1) har visat sig vara stor avseende tillämpning för beslutsstöd inom arbete med produktivitet och finansiella faktorer. Genom att använda flermålsoptimering för att utvärdera effekten av flera kombinerade små förbättringar kan lösningar med stor ekonomisk förbättring identifieras på ett sätt som inte är möjligt med andra industriella metoder. Till skillnad från många andra forskningsstudier fanns möjligheten att validera resultaten från denna fallstudie tack vare att ledningen för den berörda fabriken beslutade att genomföra lösningen som föreslogs i studien. Valideringen visade att med en förbättringsinsats som kostade 1,1 MSEK kunde takten i linjen höjas med 20,9% och driftkostnaden kunde sänkas med 26,5% samtidigt som energiförbrukningen kunde sänkas 12-15%. Om vi beaktar definitionen av

produktivitet som Output/Input och gör en beräkning baserat på den ökade årsproduktionen (output) och den minskade resursåtgången (input) motsvarar bidraget från fallstudien 36 % produktivitetsförbättring. Bakom detta lyckade resultat ligger ett innovativt sätt att bädda in många alternativa förbättringsförslag i en simuleringsmodell av produktionslinen så att de bästa kombinationerna av dessa förbättringar kan sökas genom att tillämpa de algoritmer som utforskats i projektet. Detta tillvägagångssätt är, utifrån vårt bästa vetande, även unikt från en vetenskaplig synvinkel då ingen tidigare föreslagit att använda simuleringsbaserad optimering för att identifiera optimala förbättringsalternativ i ett produktionssystem.

Forskarteamet kopplat till HSO har varit mycket aktiva vad gäller vetenskaplig publicering under hela projektperioden. Med målet att sprida resultaten, koncept och resultat från projektet har fler än 32 publikationer sammanställts under projektperioden. Vid sidan om publicering i kvalitetsgranskade internationella tidskrifter, kan kvaliteten på dessa publikationer styrkas genom att två artiklar har erhållit pris som bästa artikel på de konferenser där de presenterats. Mer information om vetenskaplig publicering finns att hitta under avsnitt 6.1. När det gäller ytterligare spridning av resultaten till industrin är vi övertygade om att industriella studiegrupper och kurser förnärvarande är det effektivaste sättet. Särskilt när kurserna inte handlar om ”Powerpoint-lärande”, utan om praktiskt handhavande och användande av verktyg utvecklade inom forskningen. Genom kursen Produktionssystemsutveckling (7.5 högskolepoäng) som utvecklats gemensamt med VCC har drygt 200 ingenjörer redan genomgått grundläggande utbildning i simuleringsbaserad optimering och en dags studiegrupp med användande av HSO-verktyg för att utforska koncept inom produktionssystemsutveckling. Denna form av resultatspridning planeras att fortgå under minst en till kurs som startar 2012, vilket ytterligare beskrivet i avsnitt 6.2.

2. Bakgrund

I samband med anpassningen mot med CO₂-effektiva drivlinor krävs det att fordonsindustrin ställer om sin produktion till nya bränslesnåla produkter, inklusive införande av andra varianter och produkter jämfört med dagens produktion¹. Som ett resultat av detta innebär återuppbyggnad av lönsamhet inte bara att driva den befintliga produktionen på ett effektivare sätt. Industrin har många viktiga beslut framför sig som handlar om att hantera denna omställning. De konceptuella besluten är särskilt viktiga med tanke på att de ofta låser 80 % av kommande investerings- och drift-kostnader. Med andra ord, om inte optimala alternativ utforskas och beaktas så att icke-optimala beslut fattas i tidiga faser, kommer höga investeringar och driftkostnader påverka produktionssystemet under hela dess livscykel.

¹ En dramatisk ökning i antalet varianter förväntas när komponenter till konventionella drivlinor ska samproduceras med nya miljövänliga drivlinor (hybrid/plug-in/bränsleceller) i gemensamma produktionssystem.

Vanlig praxis inom industrin idag är att fatta viktiga beslut baserat på erfarenhet från befintliga processer i kombination med statistiska estimeringsverktyg. Med det överflöd av data som samlas in och sparas inom industrin idag är det möjligt att genomföra detaljerade analyser av befintliga processer. Ändå är det ofta så att beslutsfattare hamnar i problemet att sålla fram relevant och korrekt data ur en ocean av data, det så kallade höstack-fenomenet.

Å andra sidan sägs det ofta att simulering är det mest lovande verktyget för att stödja beslutsfattande inom utveckling av produktionssystem. Simuleringsteknik har sedan länge ansetts vara en möjliggörare för beslutsstöd i ett livscykelperspektiv. Det är vida accepterat att simulering är det enda generellt applicerbara verktyget för att analysera verkligt komplicerade system. Det är i synnerhet ett mycket värdefullt verktyg för att tackla problem som inte kan modelleras med klassiska optimeringsmetoder. Kvantitativ utvärdering av prestanda inom industrin genomförs nästan uteslutande med hjälp av simulering. Trots att simulering medför en enorm potential och har en stark väl etablerad bakgrund har tillverkningsindustrin inte varit särskilt framgångsrik att använda det som ett verktyg för beslutsstöd. Med andra ord, även om simulering används med frekvent idag inom industrin är det ofta i ett skede när viktiga beslut om produktionens utformning redan är fattade och kostnader redan är låsta. Besluten fattas därmed utan att utforska möjligheter till bättre alternativa lösningar och parametersättningar i industrialiseringsprocessen. Det finns huvudsakligen två anledningar till detta:

1. Även om simuleringsmjukvaror har ökat i popularitet, är kunskapströskeln hög och det är fortfarande inte trivialt att bygga simuleringsmodeller. Chefer och personer i beslutsfattande positioner har sällan färdigheter och tid att utveckla de simuleringsmodeller, utföra de experiment och dra de slutsatser som skulle vara till nytta i samband med att viktiga beslut ska fattas. Det gängse tillvägagångssättet är att använda interna simuleringsexperter eller hyra in konsultfirmor för att utföra experiment och formellt rapportera resultaten. Eftersom detta sällan görs i ett svep utan iterativa loopar blir följden utöver höga kostnader, långa ledtider som riskerar att motverka intresset för att använda simulering som beslutsstöd.
2. Att enbart använda simulering är inte tillräckligt för att hitta optimala lösningar. Simulering i sig själv är inte något riktigt optimeringsverktyg och ett ytterligare steg i form av integrerad simulering-optimering krävs. Traditionellt är Statistisk försöksplanering, Design of Experiments (DoE), den vanligaste metoden för att hitta optimala lösningar med hjälp av simulering. DoE kräver dessutom intrikat specialistkunskap och vidare är möjligheterna att erhålla kunskap från experimenten i avgörande grad beroende av personlig djupkunskap om både simuleringsteknik och systemet som studeras.

Baserat på diskussionen ovan kan problemen med nuvarande industriellt tillvägagångssätt för beslutsfattande kring utveckling och förändring av produktionssystem sammanfattas enligt bild 2 nedan.

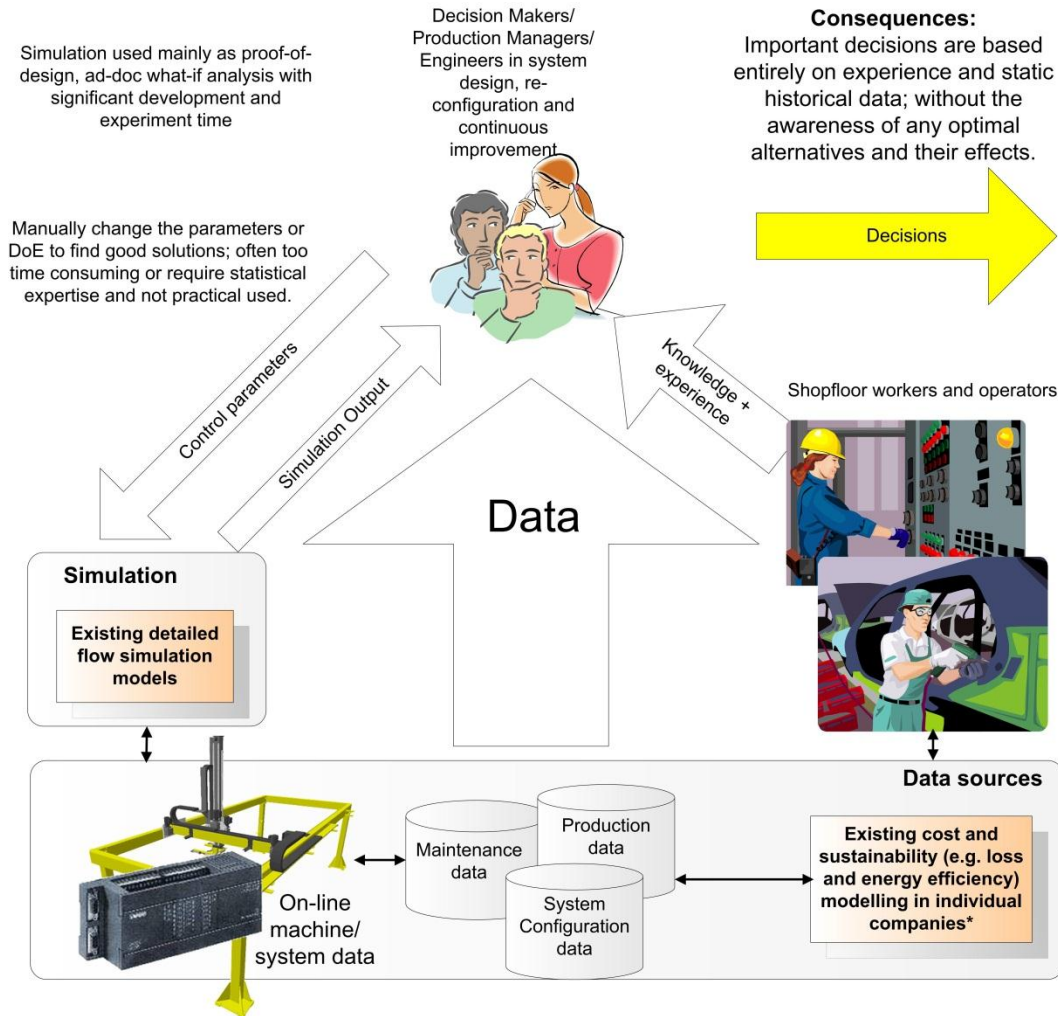


Bild 2. Nuvarande industriellt tillvägagångssätt för beslutsfattande kring utveckling och förändring av produktionssystem.

3. Mål

Projektets övergripande mål är att samtidigt förbättra lönsamheten (stärka kostnadseffektiviteten) och hållbarheten (ökad energieffektivitet, reduktion av förluster och kortare ledtider) inom svensk tillverkningsindustri genom forskning och utveckling av en innovativ och robust metod för optimering och kunskapsutvinning (HSO-metoden) för att stödja beslutsfattande inom ett produktionssystemets livscykel.

De industriella och vetenskapliga mål som kan härröras till projektet listas nedan.

1. Utökning av existerande hållbarhets- och kostnads-modeller samt integration av dessa i detaljerade simuleringsmodeller för att erbjuda en holistisk

- modelleringsmöjlighet för systemoptimering och förbättringsarbete som samtidigt tar hänsyn till produktivitet och kostnader.
2. Signifikant reduktion av ingenjörstid som spenderas för systemutveckling och analys genom snabb modellering och automatisk optimering.
 3. Automatisk identifiering av flaskhalsar för att indikera vad som bör prioriteras och var förbättringsarbete bör starta, genom att tillämpa integrerade simulering-optimeringsmodeller som tar hänsyn till produktivitet, kostnader och hållbarhet inom ett flermålsoptimeringsperspektiv.
 4. Tillämpning av nya vetenskapliga metoder för att identifiera och optimera de viktigaste parametrarna inom både utveckling, förändring och förbättring av produktionssystem.
 5. Erövra ny kunskap i fråga om de bästa principerna för systemutformning, beslutsvariabler och deras korrelation för att erhålla en generell förståelse för bra produktionssystemutformning i syfte att stärka företags övergripande konkurrenskraft.
 6. Studera konceptet ”innovization”, t.ex. kunskapsutvinning genom analys av data från flermålsoptimeringar och simuleringar med hjälp av ”data mining”-teknik.

4. Projektgenomförande

Förverkligandet av HSO-metoden sker genom utveckling av ett paket med mjukvaruverktyg som skapar synergier genom att integrera händelsestyrd simulering, hållbarhets- och kostnadsmodeller med det främsta inom simuleringsbaserad flermålsoptimering och data mining-teknik för att stödja kunskapsbaserat beslutsfattande inom utveckling, förändring och ständig förbättring av produktionssystem. Bild 2 visar strukturen för det föreslagna HSO-systemet. HSO-systemet innehåller fyra delsystem: 1) Data-källor, 2) simulering, 3) flermålsoptimering och 4) innovativ kunskapsutvinning. Denna systemutformning baseras på HSO-konceptets tanke om att kunskap ska extraheras från robusta Pareto-optimala lösningar som i sin tur är ett resultat av simuleringsbaserad flermålsoptimering. Vid en jämförelse av bild 2 med bild 1 kan man notera att HSO föreslår ett innovativt paradigm för hantering av produktionsdata, nämligen; data → simulering → optimering → kunskap. Jämfört med gängse praxis anses detta vara ett effektivt sätt att hantera, behandla, använda och återanvända företagets data på ett optimalt sätt. Enligt bild 2 kan de olika delsystemen inom HSO förse användaren (beslutsfattaren) med olika typer av information. Pilarnas storlek representerar hur viktig informationen är för beslutsfattande. Beslut fattas baserat på en högre nivå av kunskap (t.ex. i form av information från beslutsträd och extraherade regler), optimala, robusta flermåls-lösningar och simuleringsresultat snarare än lägre nivåer av data från den så kallade ”data-höstacken”.

I kontrast till dagens data-mining-teknik extraheras kunskap ur robusta, optimala, lösningar som erhållits med hjälp av simuleringsbaserad flermålsoptimering istället för att appliceras på data direkt från företagens data-källor. Detta nya, unika, koncept kallat ”innovization” ansågs vara en av forskningsutmaningarna i projektet.

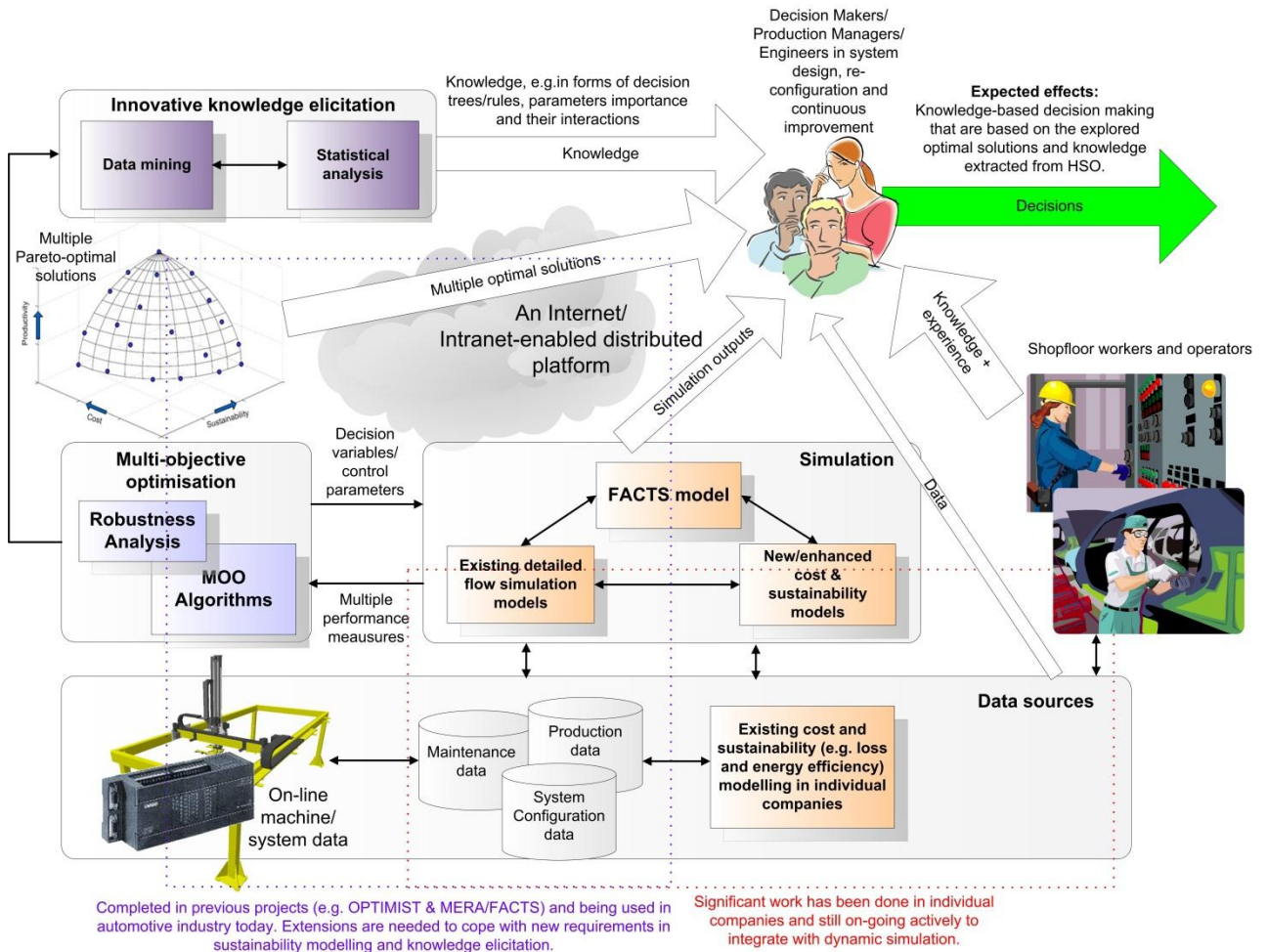


Bild 3. System-strukturen för HSO.

Projektet genomfördes i tre faser som framgår av bild 4: (1) Affärsidéer, (2) Systemutveckling och (3) anpassning till företagsbehov. I första fasen testades koncepten för HSO i flera fallstudier hos partnerföretagen genom att använda prototypverktyg eller befintliga mjukvarumoduler som en förberedelse för systemutvecklingen fas 2. I samband med utrollningen och spridningen av HSO till industrin i fas 3 har HSO-metoden anpassats och skräddarsytt för att möta specifika krav hos de individuella företagen.

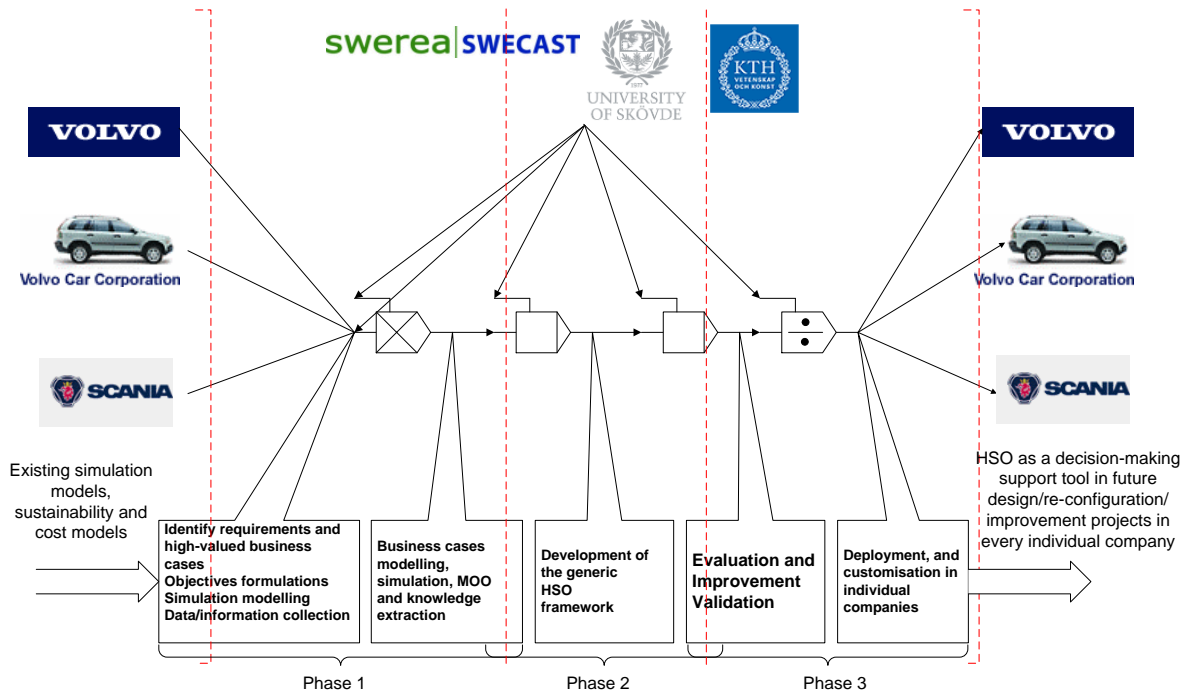


Bild 4. Projektets faser.

5. Resultat och leveranser

De konkreta resultaten av FFI-HSO kan summeras enligt nedan:

- En metodik för abstraktion av simuleringsmodellering och datamodellering som tar hänsyn till och inkluderar produktivitet, kostnader och hållbarhet och ger en förstärkt förmåga hos företagen att snabbt utveckla modeller i FACTS Analyser för att utföra optimering och kunskapsutvinning.
- HSO har framgångsrikt utvecklat och utforskat algoritmer för att extrahera kunskap ur data från simuleringsbaserad optimering. Dessa algoritmer kallade ”Simulation-based CONstraint REMoval (SCORE)” och Simulation-based Innovization (SBI), kan användas för att automatiskt identifiera flaskhalsar och förbättringspotentialer och på så vis stödja interaktivt och innovativt beslutsfattande.
- Flera lyckade fallstudier tillsammans med partnerföretagen har visat att stora kostnadsbesparingar och signifikant reduktion av energiförbrukning kan uppnås genom att använda SMO-teknologin på ett innovativt sätt.

- Den fortsatta utvecklingen av FACTS Analyser 2.0 som började inom MERA-projektet för att stödja utveckling, analys och optimering av fabriker i konceptfas har nu slutförts. Verktøget har utökats med funktionalitet för att förfina möjligheterna till snabb modellering av produktionssystem och vissa kund-leverantörs-scenarier.

Det verktygspaket som omnämns i det ursprungliga HSO-förslaget levereras i huvudsak genom två mjukarumoduler som nu används av industrin, nämligen *FACTS Analyser 2.0* och *Optimize Browser 2.0*. Bild 4 nedan visar hur optimerad data visualiseras i praktiken med hjälp av *Optimize Browser 2.0*. Genom forskningen kring SBI-algoritmen har vi utvecklat en referenspunktsbaserad teknik som driver innovization-processen mot regioner med preferens från beslutsfattaren. Denna nya teknik är ett resultat som inte hade förväntats men som visade sig vara en lovande idé genom att beslutsfattaren kan påverka och driva både optimerings- och innovization-processerna i syfte att extrahera kunskap och snabba upp optimeringsprocessen.

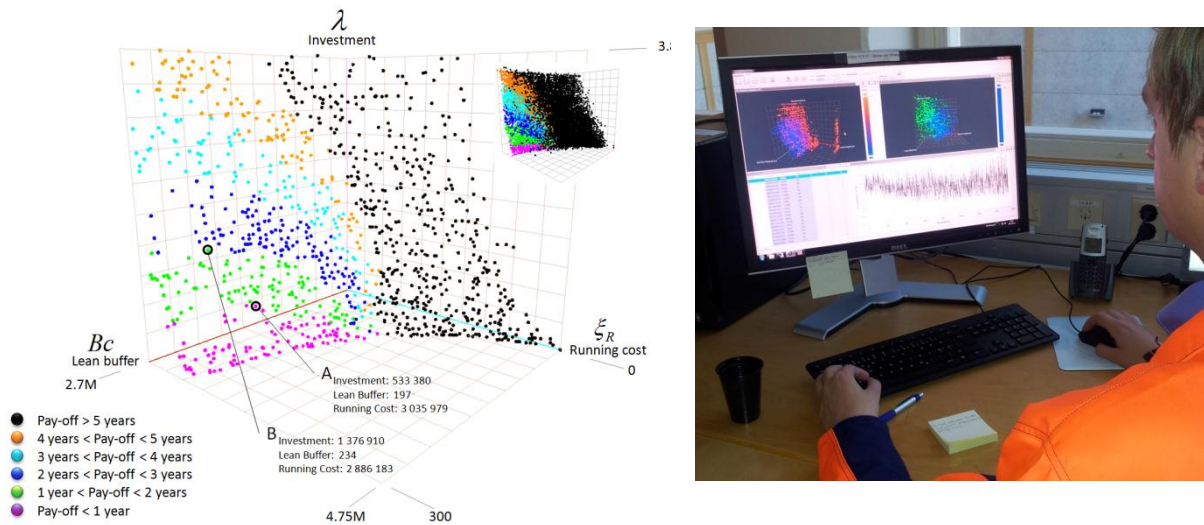


Bild 5. Resultat från VCCs kostnadsoptimering och OPTIMISE Brower 2.0.

Utforskandet av en helt ny algoritm (SCORE) för automatisk detektering av flaskhalsar och förbättringspotentialer är ett annat enastående resultat som inte hade förväntats när HSO-projektet startade. SCORE är en helt ny metod, baserad på innovization-konceptet, som kan identifiera inte bara var en begränsning finns och var en förbättring behövs utan även vilken typ av förbättring som krävs för att ta bort begränsningen. Denna kraftfulla algoritm har bland annat testats och verifierats med en modell av en bearbetningsline för cylinderblock från en av projektets andra fallstudier.

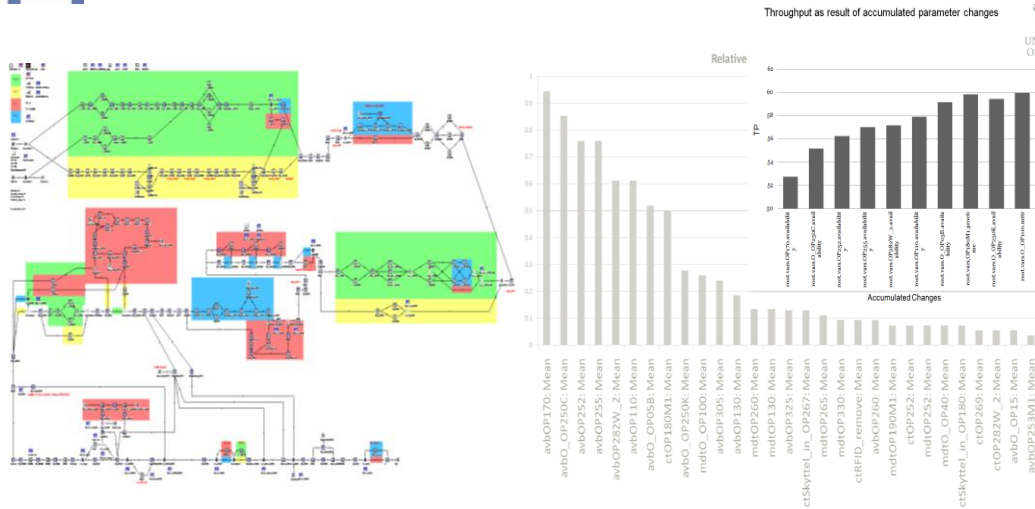


Bild 6. SCORE-metoden testas på en line för bearbetning av cylinderblock.

5.1 Leveranser kopplat till FFI-mål

Generellt sett delar HSO-projektet samma vision som FFI-projektets strategiska roadmap i att snabb utveckling av virtuella verktyg samt tillämpandet av virtuella produktionstekniska metoder i så tidiga faser som möjligt inom livscykeln för en produkt och ett produktionssystem är avgörande områden för att skapa innovativa och hållbara produkter. Nedan belyser vi hur de levererade resultaten bidrar till att uppfylla målen för FFI:

- Potential till över 30 % produktivetsförbättring som demonstrerats och verifierats via fallstudier hos VCC. Stark konkurrenskraft hjälper till att säkra produktion av komponenter och fordon i Sverige vilket i sin tur säkrar produktutveckling i Sverige på lång sikt.
- Generellt kan 10-15% procent förbättring av energieffektiviteten uppnås. Återigen har detta verifierats i fallstudier hos VCC och Scania genom att tillämpa simuleringsbaserad optimering för att hitta effektivare produktionslösningar som kräver mindre resurser samt optimala parameterinställningar som kan uppnå samma produktionskapacitet med en lägre energiförbrukning.
- De innovativa virtuella metoder som utforskats inom HSO har visats kunna ge 30 % högre effektivitet i produktionsutvecklingsarbetet. Med andra ord kan en signifikant reduktion av ledtiden för produktionssystemutveckling uppnås och därmed även reduktion av ”time to market”.
- HSO-metoden med de tillhörande verktyg som utvecklats kan användas för att söka efter de mest effektiva lösningarna för logistikupplägg och produktionsflöden, vilket kan möjliggöra hantering av en blandning av modeller och drivlinor, i samband med ett ökat antal varianter.

- Målet att ”analysera och optimera maskin-system för att identifiera gömd potential och minimera risker för problem” adresseras delvis genom utvecklingen av SCORE.
- FACTS Analyser och andra HSO-resultat används för utbildning inom industrin genom en kurs i produktionssystemsutveckling som erbjuds av Högskolan i Skövde. Detta innebär ett viktigt steg i att hantera kravet på högre utbildad personal med adekvat kunskap inom produktionsteknik, produktionsflöden och generella produktionssystemstrategier samt användandet av IT-lösningar, inklusive specifika virtuella system och metoder (simulering av processer och system).

6. Spridning av resultat och publikationer

6.1 Spridning av kunskap och resultat

Akademiska publikationer och industriell utbildning är de två huvudsakliga kanalerna för spridning av kunskap och resultat som genererats i HSO-projektet. Detta är inte något som skett endast under projektets fortskridande utan något som fortsätter med kontinuitet. När det gäller vetenskapliga bidrag har fler än 32 publikationer sammanställts, av vilka 10 är publicerade eller har lämnats in (5 är under granskning) till internationella tidskrifter. 18 konferensartiklar har publicerats i högt rankade konferenser kopplade till optimering (t.ex. CEC & LION). Vi kan också konstatera att både svenska och internationella forskare har visat sin uppskattning av konceptet med ”innovization”, då två av våra senaste publikationer har erhållit pris som bästa artikel (SPS’12 och LION7; se avsnitt 6.2). Arbetet med publikationer kommer att fortsätta även efter att projektet avslutats. I skrivande stund förbereds två artiklar till Industrial Simulation Conference (ISC) 2012 samt ett utkast tänkt för publikation i Journal of Advanced Engineering Informatics.

Slutligen är troligen det bästa sättet att sprida resultaten inom industrin att samlas i studiegrupper och att hålla kurser. Kursen Produktionssystemsutveckling (7,5 ECTS) startades under 2011 som en spin-off från HSO-projektet. Ursprungligen föreslogs kursen av Volvo Personvagnar i syfte att förse deras beredningsingenjörer och produktionstekniker med vetenskaplig kunskap och ”best practice” för utveckling och förbättring av produktionssystem. I den gällande kursplanen ingår en dags studiegrupp om simuleringsbaserad optimering samt en dags studiegrupp där HSO-metoden och dess verktyg används för att belysa viktiga aspekter vid utveckling av konceptuella lösningar för produktionssystem. Detta tillvägagångssätt för utbildning anses unikt och effektivt med över 200 ingenjörer från VCC som deltagare sedan 2011. Från och med 2013 öppnas kursen upp för deltagare från övriga industriföretag.

6.2 Publikationer

En komplett förteckning över publikationer finns i ett separat dokument tillsammans med en teknisk presentation. Följande lista visar några representativa artiklar som producerats inom projektet:

Ng, A.H.C., Deb, K. and Dudas C. (2009). Simulation-based Innovization for production systems improvement: an industrial case study. In *Proceedings of the 3'rd Swedish Production Symposium (SPS'09)*, Gothenburg, Sweden, 2-3 December 2009. **(Första publikationen som introducerar SBI-konceptet)**

Dudas, C., Frantzén, M., Ng, A.H.C. (2011). A synergy of multi-objective optimization and data mining for the analysis of a flexible flow shop. *Journal of Robotics and Computer Integrated Manufacturing*. Volume 27, Issue 4, pp. 687-695. **(Den första tidskriftspublikationen som introducerar kombinationen av simuleringsbaserad optimering och data mining)**

Ng, A.H.C., Svensson, J. and Syberfeldt, A. (2012). A comparative study of production control mechanisms using simulation-based multi-objective optimization. *International Journal of Production Research*, Vol. 50, Issue 2, pp. 359-377. **(Den första publikationen som introducerar användandet av simuleringsbaserad optimering för att jämföra olika produktionsstyrningsstrategier)**

Pehrsson, L., Ng, A.H.C. and Bernedixen, J. (2011). Multi-objective production system optimisation including investment and running costs. In *Evolutionary Multi-objective Optimization in Product Design and Manufacturing*, L. Wang, A. Ng, K. Deb (eds), Springer, 431-454. **(Dokumentation av kostnadsoptimeringsstudien hos VCC)**

Pehrsson, L., Ng, A.H.C. and Bernedixen, J. Automatic identification of bottleneck and potential improvements using multi-objective optimization and post-optimality analysis, submitted to *Omega: The International Journal of Management Science*. **(Första publikationen om SCORE)**

Siegmund, F., Ng, A.H.C., Bernedixen, J., Pehrsson, L. and Deb, K. (2012). Reference Point-based Evolutionary Multi-objective Optimization for Industrial Systems Simulation, Winter Simulation Conference 2012, Berlin, Germany. **(Dokumentation av studie för att hitta optimala förbättringsaktiviteter i en cylinderblockline hos VCC)**

Ng, A.H.C., Dudas, C., Pehrsson, L. and Deb, K. (2012). Knowledge Discovery in Production Simulation by Interleaving Multi-Objective Optimization and Data Mining. In *Proceedings of the 5'th Swedish Production Symposium (SPS'12)*, Linköping, Sweden, 6-8 November 2012, 461-471. **(Pris för bästa artikel inom industriell automation - Best paper award in Industrial Automation)**

Hossain, M., Harari, N., Semere, D., Mårtensson, P., Ng, A.H.C. and Andersson, M. (2012). Integrated Modeling and Application of Standardized Data Schema. In

Proceedings of the 5th Swedish Production Symposium (SPS'12), Linköping, Sweden, 6-8 November 2012. **(Dokumentation av modell utvecklad för en fallstudie hos Scania)**

Ng, A.H.C., Dudas, C., Boström, H. and Deb, K. (2013). Interleaving Innovization and Multi-Objective Decision-Making for Faster Convergence in Production Systems Optimization. The 7th International Conference on Learning in Intelligent OptimizatioN (LION7), 7-11 January, 2013, Catania, Italy. **(Pris för bästa långa artikel - Best long paper award)**







7. Slutsatser och fortsatt forskning

Redan i en tidig fas av HSO-projektet började viktiga resultat inom kostnads- och hållbarhetsoptimering produceras i samverkan med VCC. Senare testades HSO-koncepten och delutvecklade HSO-verktygen tillsammans med Volvo AB och Scania genom tillämpning på deras industriella frågeställningar. I alla dessa fallstudier har vår partner Sverea SWECAST bidragit på ett avgörande sätt med mätningar av energiförbrukning samt dataanalys. Förutom att hjälpa Scania i utvecklingen av simuleringsmodeller har vår deltagare från Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) också utvecklat ett unikt sätt att modellera energikonsumtion som effektivt kan inkluderas i modeller för händelsestyrd simulering. En slutsats är att projektkonsortiet inom FFI-HSO har uppnått signifikanta framsteg under hela projektperiodens framskridande tack vare tre avgörande faktorer:

1. Den tydliga, väldefinierade och enhetliga målbild som delades av samtliga inblandade parter i konsortiet.
2. Det nära samarbetet mellan akademiska/forsknings-institutionerna och industriella partners inom konsortiet.
3. FACTS Analyser och den internet-uppkopplade optimeringsplattformen, som utvecklats i tidigare forskningsprojekt på Högskolan i Skövde, har bidragit med ett samlad kunskapsbas och en generisk beräkningsplattform vid genomförandet av fallstudier så att resultat kunnat genereras snabbt i en tidig fas.

Samtidigt som det har åstadkommit vetenskapliga genombrott genom utvecklingen av algoritmer för simuleringsbaserad "innovization" och SCORE samt avgörande industriella värden i form av kostnads- och hållbarhetsoptimering inom projektet, ser vi mycket tydligt att det finns ett antal återstående vetenskapliga frågeställningar att adressera i framtiden. I syfte att "snabbare överföra vår forskning till praktiskt användbara applikationer" och för att resultaten från forskningen ska komma till användning bland ledare och ingenjörer i frontlinjen finns ett behov att fortsätta insatserna kring HSO så att en komplett och innovativ verktygslåda för dagligt tillämpande av optimal ständig förbättring och beslutsfattande kan färdigställas. Forsknings-teamet har som målsättning att fortsätta med denna forskningsinriktning både inom och utom FFI-programmet.

8. Deltagande parter och kontaktpersoner

 UNIVERSITY OF SKÖVDE	Amos H.C. Ng amos.ng@his.se
    	Daniel T. Semere dte@iip.kth.se Gary Linnéusson gary.linneusson@swerea.se Pär Mårtensson par.martensson@scania.com Thomas Lezama thomas.lezama@volvo.com Leif Pehrsson leif.pehrsson@volvocars.com