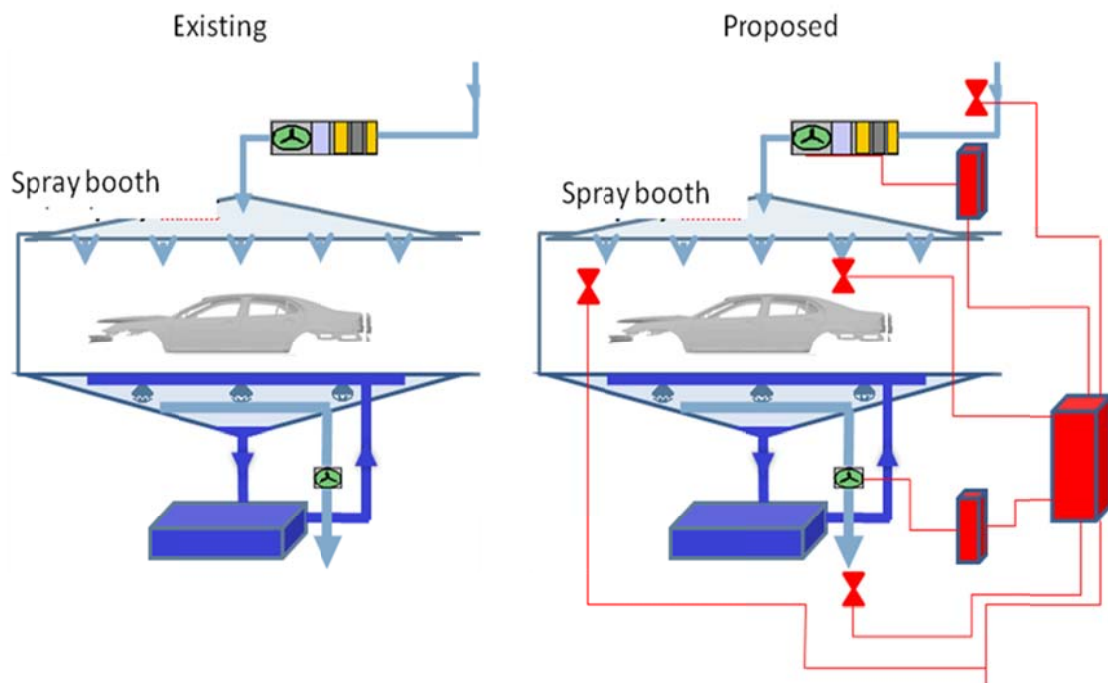


## Energieffektivt måleri - EEM

---



Författare: Anna-Karin Christiansson, Högskolan Väst, 46186 TROLLHÄTTAN

Datum: Januari 2013

Delprogram: Hållbar Produktionsteknik

## Innehåll

<b>1. Sammanfattning.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Bakgrund.....</b>	<b>4</b>
2.1. Kompletterande information 1 .....	4
2.2. Kompletterande information 2 .....	4
2.3. Korta projektfakta – från ansökan.....	5
2.4. Partners .....	5
<b>3. Syfte.....</b>	<b>5</b>
3.1. Vetenskapliga syften .....	5
3.2. Industriella syften.....	5
<b>4. Genomförande.....</b>	<b>6</b>
<b>5. Resultat .....</b>	<b>6</b>
5.1. Kompletterande hårdvara.....	6
5.2. Kompletterande mät- och styrsystem.....	7
5.3. Analys av mätdata.....	8
5.4. CFD-modellering av anläggningen .....	9
5.5. Bidrag till FFI-mål .....	10
<b>6. Spridning och publicering.....</b>	<b>10</b>
6.1. Kunskaps- och resultatspridning .....	10
6.2. Publikationer .....	11
<b>7. Slutsatser och fortsatt forskning .....</b>	<b>11</b>
<b>8. Deltagande parter och kontaktpersoner .....</b>	<b>12</b>

### Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings-, innovations- och utvecklingsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Säkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör hälften. För närvarande finns fem delprogram Energi & miljö, Fordons- och trafiksäkerhet, Fordonsutveckling, Hållbar produktionsteknik och Transporteffektivitet. Läs mer på [www.vinnova.se/ffi](http://www.vinnova.se/ffi)

# 1. Sammanfattning

Det övergripande målet var att i en fullskaledemonstrator i Saab's måleri samla erfarenheter av betydelse för energibesparing i svenska fordonsfabrikers målerier. Målerierna är de största energiförbrukarna i dessa fabriker. Erfarenheterna skulle samlas in genom både praktiska försök i en del av Saabs måleri och dels genom att med hjälp av teoretiska modeller ta fram optimerade reglerstrategier för denna anläggningsdel. Övriga parter har varit samtliga i Sverige verkande stora fordonsmålerier hos Pininfarina, Scania, Volvo Cars och AB Volvo. För att kunna styra de stora energislukande fläktarna installerades frekvensomriktare, och för att mäta betydelsefulla parametrar behövdes några sensorer installeras. Midroc har stått för dokumentation och installation i samverkan med Saab. Därutöver har Högskolan Väst installerat ett mätadorsystem för insamling av data från produktionssystemet. Frekvensomriktarna har använts för att minska energiförbrukningen under drift och samtidigt har tryckförhållanden och temperaturer loggats och data analyserats, dock utan återkoppling. Dessa initiala försök hade två uppgifter – dels att göra en första bedömning av om förändrade driftförhållanden kunde accepteras ur kvalitetssynpunkt och dels för att validera de första teoretiska modellerna av ventilationsanläggningen. När nästa steg i arbetet skulle utföras, dvs att mer i detalj validera modellerna stoppades produktionen (april 2011) och den har därefter inte kommit igång. Under sommaren och hösten 2011 gick projektet i "väntans tider" berett att starta nya försök, men efter konkursen är det inte längre möjligt. Projektet har i stället under två workshops visat de besparingar som hann dokumenteras och framför allt diskuterat möjligheter till besparingar i de målerier som är i drift. Beroende på att dessa inte är exakt lika uppbyggda vad avser styrbarhet kommer lösningar att bli olika, men de vunna erfarenheterna har inspirerat övriga parter till mer eller mindre långtgående åtgärder i befintliga och naturligtvis mer långtgående förändringar vid kommande nya installationer.

## Sammanfattningsvis har

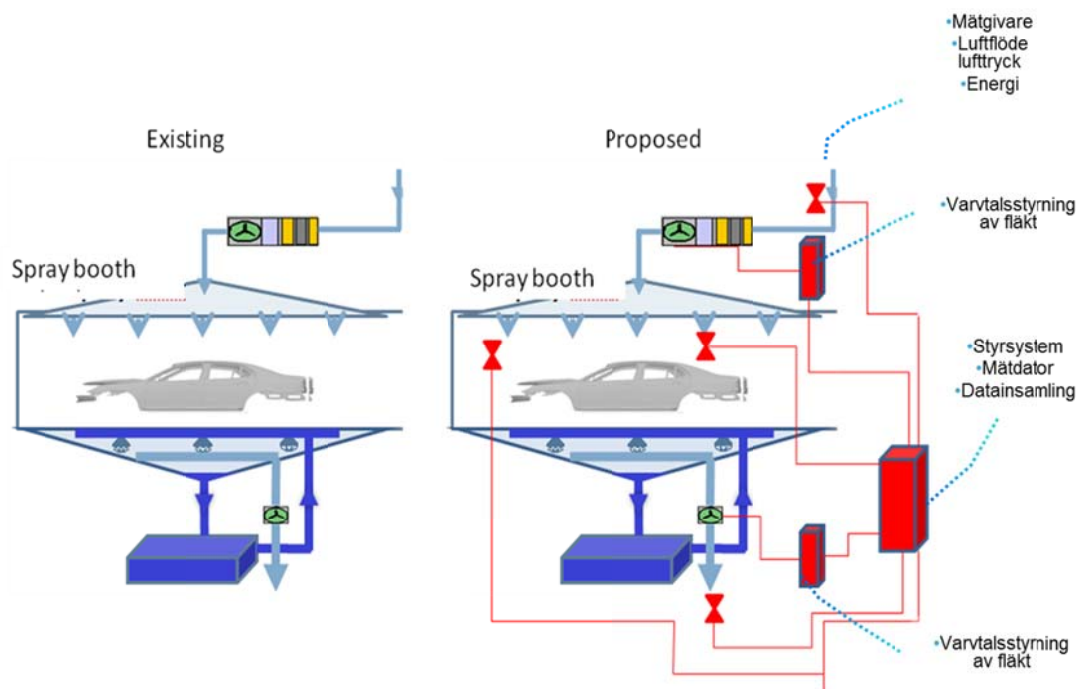
- "Målade parter" vunnit insikt i möjligheterna att minska energiförbrukningen och därmed miljöbelastningen
- Utrustningsleverantören fått erfarenhet av att installera energibesparande komponenter i befintlig anläggning
- Forskningsutförarna fått erfarenhet av modellering av en anläggning, som är i stort behov av energisparåtgärder. Dessa modeller skulle användas för att fintrimma styrutrustningar för energibesparing, men denna del kommer inte att kunna genomföras i Saab's fullskaledemonstrator. Därutöver har insamlade data under initiala skedet kunna verifiera den stora energibesparande potential som projektet förutspått.
- Ett vetenskapligt arbete presenterats vid en ventilationskonferens
- Ett erfarenhetsmaterial spritts bland deltagarna

## 2. Bakgrund

Bakgrunden är att fordonsmålerier står för merparten av energiförbrukningen i svenska bilfabriker, varför det har väckts tankar kring möjligheten att reducera förbrukningen. Fordonsmålerier är av tradition konservativa och för säkerhets skull körs de normalt ”för fullt” även om det är långa uppehåll mellan inkommande karosser. Anledningen är att man inte vill äventyra luftbalansen mellan olika delar i måleriet. För att ta reda på hur mycket man kan variera luftflöden mellan karosserna med bibehållen kvalitet erbjöd sig Saab att upplåta en del av sitt måleri för fullskalexperiment. Övriga fordonsmålerier var klart positiva till detta erbjudande.

### 2.1. Kompletterande information 1

För att genomföra ett fullskaleprojekt som innebär styrning av energislukande apparater i en befintlig anläggning behöver omfattande kompletterande investeringar göras. Det gäller huvudsakligen så kallade frekvensomformare för att kunna styra effekter ner och upp på ett kontrollerat sätt. För att kunna analysera effekten av sådana styrningar behövs också ett mätsystem installeras. I ansökningsfasen var Vinnova avogt inställd till en så pass stor utrustningsinvestering som det handlar om och förhandlingar genomfördes framför allt med Saab, som i sin tur förhandlade med Midroc som installerade merparten av de dyra komponenterna. Se idé om komplettering i Figur 1.



Figur 1 Principiell komplettering av befintlig anläggning.

### 2.2. Kompletterande information 2

Under projektiden gick projektledaren Saab i konkurs, vilket föranledde omDispositionering av projektet: Projektet Dnr 2009-02832 sattes upp som en fullskaledemonstrator i Saab Automobiles måleri med projektdeltagande från alla svenska fordonsfabrikers målerier, en utrustningsleverantör och tre forskningsinstitutioner. Vid Saab's rekonstruktion fick projektet nya ramar och nytt

Dnr 2011-03667, eftersom övriga parter önskade fortsätta under de nya förutsättningarna. Denna rapport gäller för det samlade projektet.

### 2.3. Korta projektfakta – från ansökan

Total budget	13.912.200 SEK
Projektperiod	2010-01-01 (beslut 2010-03-18) till 2011-12-31 (ändrat till 2012-12-31)
Bidrag från Vinnova	5.459.700 SEK (39% av total budget)
Vinnova Dnr	2009-02832 samt 2011-03667
Projektledare	Magnus Johansson, Saab Automobile Ersatt av Anna-Karin Christiansson (HV) vid Saabs konkurs
Forskare	Linköpings universitet: Patrik Rohdin (industriventilation) och Johan Löfberg (reglering) Högskolan Väst: Mattias Ottosson , Anna-Karin Christiansson

### 2.4. Partners

Parterna representerar tre huvudintressen:

- Industriella slutanvändare: Pininfarina, Saab Automobile (projektledare), Scania CV, Volvo Cars, AB Volvo
- Utrustningsleverantör och implementatör: MIDROC Electro AB
- Akademi och kunskapsspridning: Linköpings Universitet, Högskolan Väst och Innovatum AB (den senaste deltagande i styrgrupp)

## 3. Syfte

Projektet har haft både vetenskapliga och industriella syften:

### 3.1. Vetenskapliga syften

De akademiska målen sattes vid projektstart till

- Att ta fram en CFD-modell av det valda avsnittet i måleriet
- Att validera modellen genom experiment i full skala i måleriet. Därefter dra slutsatser över var det lönar sig mest att reducera effekter
- Att implementera ett mätdatorsystem som kan fånga relevanta egenskaper i anläggningen
- Att ”översätta” CFD-modellen till en så kallad MPC-modell avsedd för att optimera styr signaler. Denna del kunde inte genomföras.
- Att vidaremeritera forskarna

### 3.2. Industriella syften

De industriella syftena sattes vid projektstart till

- Ökad kunskap om hur mycket man ”vågar” variera luftflöden i ett måleriavsnitt utan att menligt påverka kvaliteten
- Ökat erfarenhetsutbyte mellan svenska målerier med målet att minska energiförbrukning
- Ökad kunskap om hur modellering av en anläggning kan användas för att optimera driften

## 4. Genomförande

Arbetet delades upp i arbetspaket enligt nedanstående tabell. Där framgår vem som är huvudansvarig för respektive aktivitet och vad som förväntades som resultat av dessa:

Arbetspaket	Ansvar	Förväntat resultat
WP1: Förberedelser för forskningsaktiviteter Framtagning av generisk CFD-modell	LiU/Saab	CFD-modell
WP2: Beställning av mät- och styr-utrustningar, installation	Mid- roc/Saab/HV	Anläggningen kompletterad med det som behövs för styrning
WP3: Forskningsaktiviteter; validering av CFD- modell; simuleringsbaserat stöd för val av ner/upp-rampningsstrategier Framtagning av MPC-regulator (ej genomförd)	LiU/Midroc/Saab/HV	Erfarenheter av energireduktion MPC-reglerstrategi dokumenterad (ej genomförd) Konferenspapper
WP4: Projekthantering	Saab/alla	Protokoll, informationsspridning, uppföljning

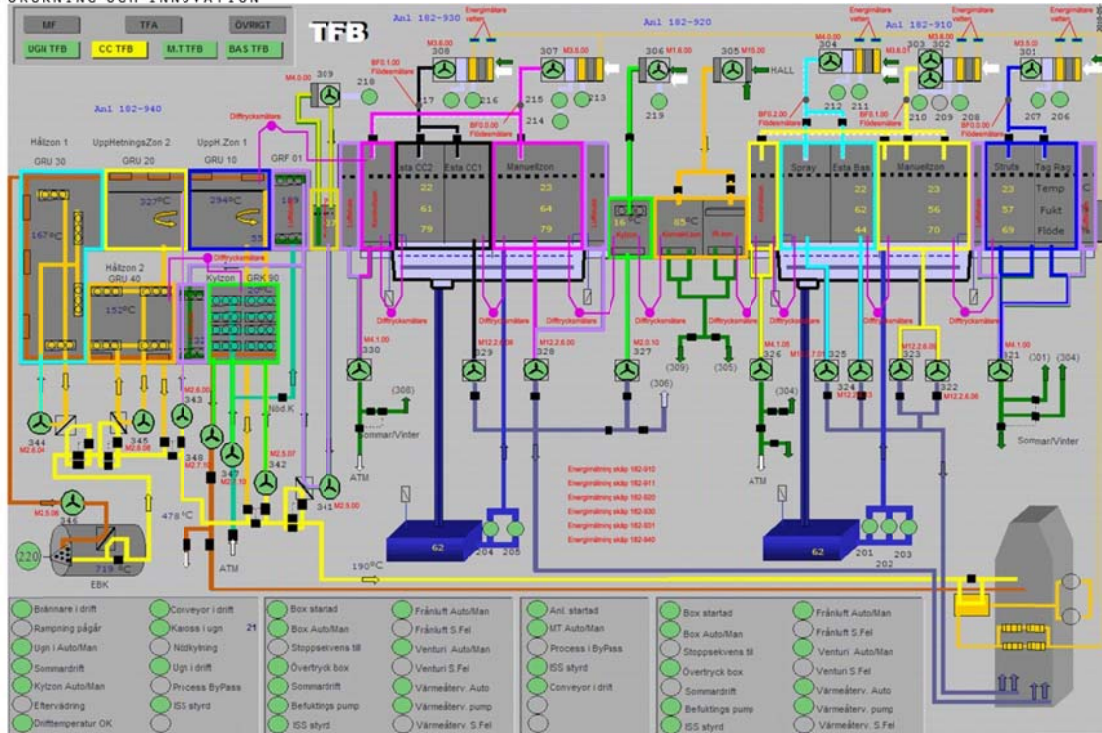
Projektledare var ursprungligen Saab Automobile's Magnus Johansson, som vid Saab's konkurs ersattes av Högskolan Västs Anna-Karin Christiansson. Innovatums Lars Anger var ordförande i styrgruppen och Innovatum har haft ansvaret för att följa upp ekonomin.

## 5. Resultat

Nedan beskrivs i korthet de viktigaste resultaten.

### 5.1. Kompletterande hårdvara

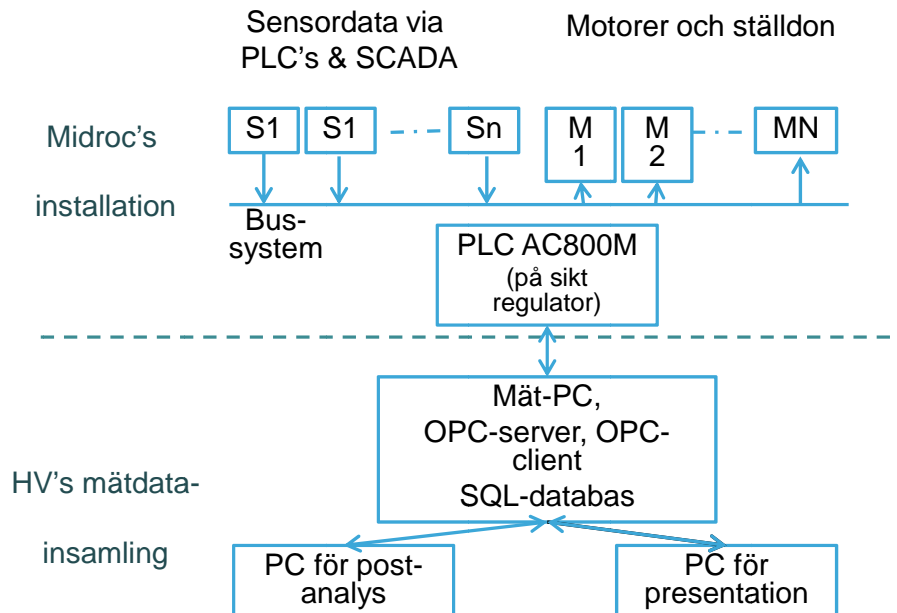
Installationen av kompletterande utrustning utfördes för Täckfärg B enligt Figur 2. Där visas omfattningen av kompletteringar som gjorts i röd/cyan färg. Installationen ombesörjdes av Midroc i samarbete med Saab's ingenjörer.



Figur 2 Täckfärg B-anläggningen. Projektets kompletterande utrustningar är röd- och cyanfärgade.

## 5.2. Kompletterande mät- och styrsystem

För att kunna styra fläktar och pumpar individuellt och i grupp installerades ett PLC-system med sensoringångar och frekvensomriktarutgångar i enlighet med Figur 3. Detta möjliggjorde att stora mängder data kunde sparas och analyseras i efterhand.



Figur 3 Struktur för mätdatainsamling och styrning

### 5.3. Analys av mätdata

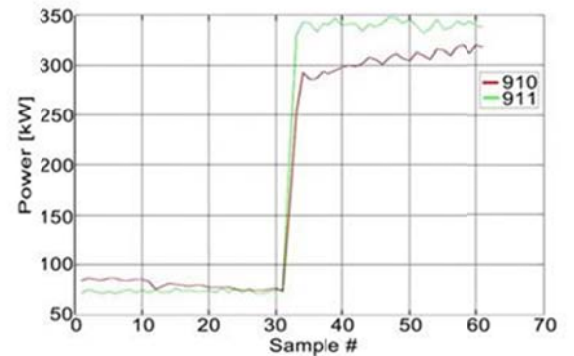
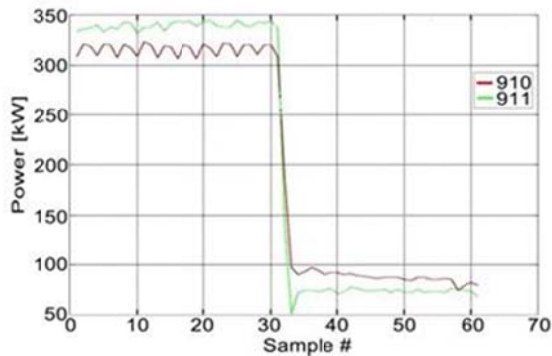
Några av fläktarna styrdes ner till lägre effekt med hjälp av frekvensomriktarna, se Tabell 1. Ett lägre varvtal innebär lägre drifteffekt, vilket framgår av tabellen. I exemplet som redovisas i tabellen har besparing beräknats då fläktarna har varit lika lång tid under sparläge och nominellt läge. Denna undersökning ger en fingervisning om vilka fläktar som det är mest lönsamt att styra ner. Kvaliteten blev inte försämrade under dessa körningar.

Tabell 1 Olika effektlägen för ett antal fläktar

Fläkt-nr.	Fläkt	Nom frekv Hz	E-spar frekv Hz	Nom. Effekt kW	Drift-effekt kW	E-spar effekt kW	Besparing %
302	Uf02M01, Tilluftsfläkt man/kontrollzon basfärg	50	27,5	110	84	20	76
303	Uf02M02, Tilluftsfläkt man/kontrollzon basfärg	50	27,5	110	71	16	77
326	Uf20M06, Frånluftsfläkt kontrollzon basfärg	50	20	30	22	1,6	92
304	Uf03M01, Tilluftsfläkt esta/spraymate basfärg	50	35	90	45	16	64
305	Uf01M01, Tilluftsfläkt IR-zon/konvektion mellantork	50	25	45	25	3,5	86
306	Uf02M01, Tilluftsfläkt kylzon mellantork	50	25	45	30	4,1	86
307	Uf01M01, Tilluftsfläkt man/kontrollzon klarlack	50	27,5	160	105	24	77
330	Uf20M03, Frånluftsfläkt kontrollzon klarlack	50	29	30	19	4	78
308	Uf02M01, Tilluftsfläkt estazon klarlack	50	27,5	75	32	8	75
309	Uf03M01, Tilluftsfläkt dunstzon	50	30	22	16	4	75

För två av fläktarna redovisas omkopplingen mellan nominellt och sparläge åt båda hållen i **Er-ror! Reference source not found.** Liknande undersökning behöver göras för samtliga objekt för att studera deras dynamik. Den kunskapen behövs när de skall regleras.

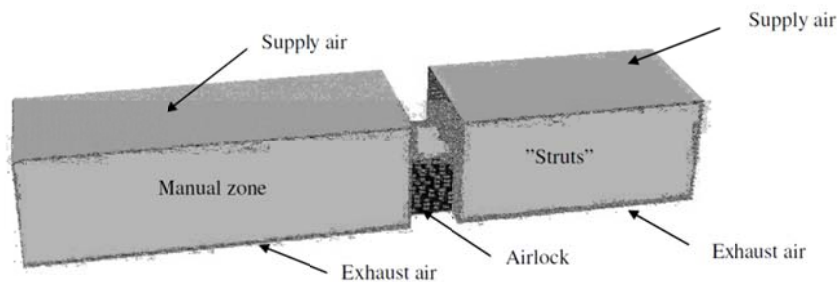




Figur 4 Omkoppling mellan nominellt och sparläge för fläktarna nr 910 och 911.

#### 5.4. CFD-modellering av anläggningen

För att erhålla mer generell kunskap om möjligheter att styra anläggningen har en CFD-modell tagits fram av Linköpingsforskarna i projektet. Den är rapporterad i en ventilationskonferens i Paris hösten 2012 med titeln, *Energy efficient process ventilation in paint shops in the car industry – experiences and evaluation of a full scale implementation at Saab Automobile in Sweden*. I korthet innebär boxgeometrin att luftflödena modellerats i princip enligt Figur 5

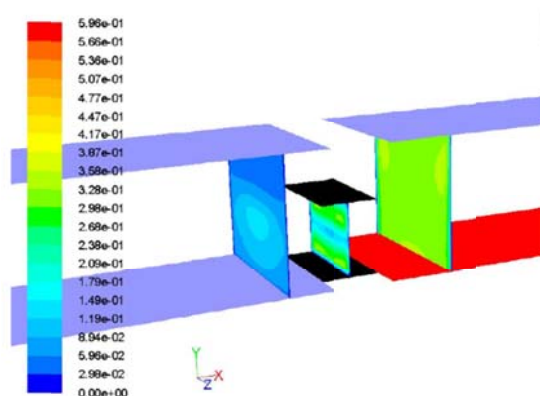


Figur 5 Boxgeometrin använd vid modellering av luftflöden.

Olika ekvationer används för flöden vid upp- resp nervarvning av fläktarna. Med antaganden om konservering av massa, rörelsemängd och energi kan temperatur- och luftflöden beräknas. Flödet antas vara transient, tre-dimensionellt, icke kompressibelt och turbulent. Några simuleringsresultat ger vid handen:

- hastighetsfördelning efter 15 s =>
- om tiden mellan upp- och ner- skift < 60 s blir det inte otillåtna flöden mellan zonerna

Figur 6 visar ett simuleringsresultat. För detaljer hänvisas till konferensartikeln.



Figur 6 Exempel på simuleringsresultat erhållt med hjälp av CFD-modellen.

### 5.5. Bidrag till FFI-mål

Projektets bidrag är huvudsakligen relaterade till

- möjlighet att avsevärt minska CO<sub>2</sub>-utsläpp genom lägre energiförbrukning
- minska kostnaderna genom lägre energiförbrukning och därigenom öka konkurrenskraften
- metoder för att mer effektivt driva energisparinitiativ i fordonsfabrikation
- stärkt samverkan mellan fordonsindustrierna sinsemellan och med akademien
- höjd FoU-kompetens i Sverige

## 6. Spridning och publicering

### 6.1. Kunskaps- och resultatspridning

Projektet har rönt stort intresse i omvärlden, några länkar har redovisats i tidigare lägesrapporter (ingen garanti för att dessa länkar uppdateras, men de ger en fingervisning om det visade intresset)

- Cogent DataHub SuccessStories – <http://www.cogentdatahub.com/SuccessStories.html>
- Innovatum reklamfilm måleriet - [http://www.innovatum.se/pages/default.asp?SectionID=2638&ArticleID=9532&ArticleGroup\\_projekt=](http://www.innovatum.se/pages/default.asp?SectionID=2638&ArticleID=9532&ArticleGroup_projekt=)
- Vinnova -<http://www.vinnova.se/sv/ffi/Nyheter/2010/Energieffektivt-maleri-i-framtidens-fordonsfabriker/>
- NyTeknik - <http://www.nyteknik.se/nyheter/automation/verkstadsautomation/article2504181.ece>
- Automotivesweden - <http://www.automotivesweden.com/aktiviteterochnyheter/artiklar/svenskakarosstillverkare-skaminskaenergiforbrukning.5.1baaf91291181a97f8000860.html>
- Midrocelekto - <http://midrocelectro.se/sv/Nyheter/Nyhetsarkiv/Energieffektivt-maleri-i-framtidens-fordonsfabriker.aspx>

- IndustriKanalen - <http://www.industrikanalen.se/fordonsindustri/midroc-bidrar-till-energieffektivt-maleri-i-framtidens-fordonsfabriker.aspx>
- Metal Supply - [http://www.metal-supply.se/article/view/49517/sveriges\\_karosstillverkare\\_i\\_gemensamt\\_projekt](http://www.metal-supply.se/article/view/49517/sveriges_karosstillverkare_i_gemensamt_projekt)
- Linköings Universitet IEI - <http://www.iei.liu.se/energi/about-us/personal/rohding-patrik/pagaende-projekt?l=sv>
- Webfinansier - <http://www.webfinansier.com/nyheter/751154/energieffektivt-maleri-i-framtidens-fordonsfabriker/>
- Automotive Sweden - <http://www.automotivesweden.com/aktiviteterochnyheter/artiklar/svenskakarosstillverkar-eskaminskaenergiforbrukning.5.1baaf91291181a97f8000860.html>

## 6.2. Publikationer

Rohdin, P., M. Johansson, et al. (2012). Energy efficient process ventilation in paint shops in the car industry : Experiences and an evaluation of a full scale implementation at Saab Automobile in Sweden. Ventilation 2012: 1-6.

## 7. Slutsatser och fortsatt forskning

Även om inte det hela fullskaleprojektet kunde genomföras kan det konstateras att det är fullt möjligt att reducera energiförbrukningen drastiskt i ett fordonsmåleri, om man gör det under kontrollerade former. Parterna har i diskuterat detta i sina organisationer och sammanfattar sina erfarenheter av projektet:

Volvo Cars	-Utrett eventuell implementering av liknande system i bättringsbox payback först efter 5 år=> införande inte aktuellt idag -Analys av hur anläggningen körs idag => besparingspotential på minst 500kSEK/år utan extra investeringar enbart genom att förändra driften -Tar med sig erfarenheterna från projektet i kommande projekt (byte av automatiskt boxbalanseringssystem)
Scania CV	-Erhållit kunskap att det är relativt enkelt och praktiskt möjligt att öka och reducera luftflöden i målningsboxar med bibehållen luftbalans även i zoner utan mellanväggar utan lång insvängningstid -"Lågfartsmode" installeras i nya måleriet i Oskarshamn nervarvning av luftflöden då ingen kaross i zonen Momentan vinst: -700kW el, -560kW olja, -110kW kyla (dock minskad värmeåtervinning) -600SEK/h i lågfartsmode, ca 300-600kSEK/år - Tar med sig erfarenheterna om behovsstyrd processventilation vid alla ventilationsmässiga processer – såväl befintliga som nya
AB Volvo	-Erhållit kunskap att det är relativt enkelt och praktiskt möjligt att öka och reducera luftflöden i målningsboxar med bibehållen luftbalans även i zoner utan mellanväggar utan lång insvängningstid

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- AB Volvo driver ett flertal målerier i hela världen, vilka uppgraderas eller byggs om efterhand. Även nya målningsboxar projekteras. Erfarenheten från detta projekt sprids inom företaget och medvetenheten om besparingspotentialerna kommer att innebära att resultaten implementeras efterhand.</li> <li>- Tar med sig erfarenheterna om behovsstyrd processventilation vid alla ventilationsmässiga processer – såväl befintliga som nya</li> </ul>
Pininfarina	Avstår att kommentera, då detta måleri kommer att läggas ner
MIDROC	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tidig projektmedverkan från produktionspersonal ytterst viktigt</li> <li>- Starta alltid upp anläggningen till full effekt så att boxarna är uppvärmda innan energisparläge</li> <li>- 50 sek för övergång mellan produktionsläge ⇔ energisparläge</li> <li>=&gt; även små tidsluckor mellan karosser kan utnyttjas</li> <li>- Mät-PLC frikopplad från produktionssystemet</li> <li>=&gt; kunde enkelt kopplas bort, om man befarade problem</li> <li>- Energisparläget kunde användas under rengöring av boxarna utan att arbetsmiljön försämrades</li> </ul>

Vad gäller fortsatt forskning kommer såväl Linköpings universitet som Högskolan Väst att ta med sig erfarenheterna av detta projekt till kommande verksamheter.

## 8. Deltagande parter och kontaktpersoner

Företag	personer
Saab	Magnus Johansson – före konkursen
LiU	Patrik Rohdin och Johan Löfberg
AB Volvo	Henrik Kloo
Volvo Cars	Jörg Wohner
Scania CV	Christer Bodén
Midroc	Joakim Ingemansson
HV	Mattias Ottosson och Anna-Karin Christiansson
Innovatum	Lars Anger
Pininfarina	Sven Kärrskog