

Slutrappport

Reducing maintenance-related waste



Marcus Bengtsson
(Illustration: Adrian Wirén)
2016-06-22
FFI Hållbar produktion

FFI Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation

VIRNOVA

Energisystemhuset

TRAFIKVERKET

FMG
of the

STRENGTH

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	3
2 Executive summary.....	3
3 Bakgrund.....	5
4 Syfte, frågeställningar och metod.....	7
5 Mål	8
6 Resultat och måluppfyllelse	8
7 Spridning och publicering	9
7.1 Kunskaps- och resultatspridning	10
7.2 Publikationer.....	10
8 Slutsatser och fortsatt forskning	11
9 Deltagande parter och kontaktpersoner.....	12
10 Referenser.....	12

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 drygt 400 Mkr.

För närvarande finns fem delprogram; Energi & miljö, Trafiksäkerhet och automatiserade fordon, Elektronik, mjukvara och kommunikation, Hållbar produktion och Effektiva och uppkopplade transportsystem. Läs mer på www.vinnova.se/ffi

1 Sammanfattning

Att arbeta med att minska eller helt ta bort slöserier har varit centralt inom industrin under många år. Mycket av arbetet med att minska slöserier har dock riktats mot värdeflödet, vilket har lett till krav på ett stort stöd från stödfunktionerna – såsom underhåll. Enkelt förklarar då kraven och målen för stödfunktionerna ofta generaliserats över en hel fabrik. Produktionsledare som önskar maximala tillgänglighetsutfall utan reflektion om det finns ett behov av det. Vidare så stöttar ofta befintliga underhållskoncept denna syn utan att ta hänsyn till vilka tillgänglighetsnivåer (eller andra mål) som är bra nog eller hur mycket extrakostnad som skapas genom att sikta på onödigt höga tillgänglighetsnivåer (eller andra mål). Det finns med andra ord en stor potential i fordonsindustrin att systematiskt arbeta med att minska underhållsrelaterade slöserier men samtidigt finns en avsaknad av arbetssätt för att åstadkomma detta. Problemformuleringen för projektet kan därav formuleras som: *det finns en avsaknad av systematiska arbetsmetoder (processer) som underlättar för underhållsorganisationer att verkligen stötta lean och hållbar produktion.*

Projektets vision formuleras som: *att möjliggöra för underhållsorganisationer att bidra till en högre konkurrenskraft för den svenska fordonsindustrin.* Målet med projektet formuleras som: *att skapa och testa en generisk arbetsmetod (process) som kan underlätta för företag inom fordonsindustrin att arbeta med att reducera och eliminera underhållsrelaterade slöserier.* En forskningsfråga ställdes upp för att svara upp mot visionen och målet (se nedan): *vilka hindrande och möjliggörande faktorer finns i processen att arbeta med att minska underhållsrelaterade slöserier?*

Huvudleveransen från projektet är att skapa en arbetsmetod (process) och att beskriva och visualisera denna arbetsmetod i en industriell handbok (på svenska). Arbetsprocessen skall svenska industriföretag kunna använda sig av för att systematiskt kunna arbeta med att reducera och/eller eliminera underhållsrelaterade slöserier.

För att strukturera projektet och arbetet skapades sex arbetspaket: (1) identifiering och klassificering av underhållsrelaterade slöserier, (2) kvantifiering av underhållsrelaterade slöserier, (3) reduktion av underhållsrelaterade slöserier (pilotfall), (4) utveckling av arbetsmetod (process), (5) test och utvärdering av arbetsmetoden (processen), (6) administration (kommunikation, publicering och spridning av resultat). Arbetspaket 1-3 har syftat till att ta fram nödvändiga data och erfarenheter för att skapa arbetsmetoden (processen) och har bedrivits med olika datainsamlingsverktyg. Analys av data har genomförts av minst två personer inom forskargruppen och resultatet av dessa har återkopplats till de deltagande företagen i respektive studie. Forskningsfrågan besvarades av resultaten utifrån arbetspaket 1 och 2 och dessa utprovades till viss del i arbetspaket 3 men även resultatet genom utvecklingen av arbetsmetoden (processen) i arbetspaket 4 gav svar på forskningsfrågan.

För målpåfyllnad kopplat till FFI:s mål på delprogramnivå (hållbar produktion) och på övergripande programnivå så kan projektets resultat och leveranser knytas till att underhållsavdelningar tillsammans med produktionsavdelningar samt övriga stödfunktioner kan använda resultaten för att stärka upp konkurrenskraften genom mer kostnadseffektiva arbetssätt. Den föreslagna arbetsmetoden (processen) täcker bland annat hur dessa avdelningar tillsammans ska kunna sätta realistiska och kostnadseffektiva mål vilket också leder till säkerställd önskad kvalitet i underhållsarbetet.

Forskningen kommer delvis att fortsätta inom ramen för ett påbörjat forskningsprojekt. Under våren 2016 söktes och beviljades FFI-medel för projektet Data Analytics in Maintenance Planning (DAIMP) med Chalmers Teknisk Högskola som huvudman, i projektet kommer även Kungliga Tekniska Högskola samt Mälardalens Högskola att ingå som forskningspartner. I företagskonstellationen ingår bland annat Volvo Construction Equipment och Volvo Group Trucks Operations. Inom ramen för detta projekt kommer resultat av projektet Reducing maintenance-related waste att byggas vidare på inom bland annat hur man standardiserar men ändå differentierar förebyggande underhållsupplägg för olika maskintyper med olika kritikalitetsnivåer - allt för att minska underhållsrelaterade slöserier.

2 Executive summary

Industrial companies of today often direct their waste-reduction programs only to the value-adding functions without consideration to possible sub-optimizations. This is especially true when dealing with industrial maintenance. Production managers often demands maximized availability without reflection. Furthermore, it is common that most maintenance concepts of today are developed and focused on maximization of technical availability, while paying little notice to what is good enough from a production planning point of view, or without consideration to the maintenance cost or the associated waste. There is thus an untapped potential for automotive manufacturing industries in starting to work systematically in reducing maintenance-related waste. The industrial problem of the project can thus be formulated as: *there is a lack of systematic work methods that facilitates for maintenance organizations to truly support lean and sustainable manufacturing.*

The vision of the project has been to increase competitiveness in Swedish automotive manufacturing industry. The research objective of the project has been formulated as: *to develop and test a generic methodology that facilitates systematic maintenance-related waste reduction in Swedish automotive manufacturing industry.* One research question has been formulated: *what enabling and obstructing factors exists in the process when working to reduce maintenance-related waste in Swedish automotive manufacturing industry?*

The main deliverable from the project is to develop a generic methodology and to explain and visualize this methodology in an industrial handbook (written in Swedish) which can be used by Swedish automotive manufacturing companies to systematically work with the reduction of maintenance-related waste in order to increase their competitiveness.

The project has been centred around six work packages in order to meet the vision, objective and to answer the research question: (1) identification and classification of maintenance-related waste, (2) quantification of maintenance-related waste, (3) reduction of maintenance-related waste (pilot cases), (4) development of generic methodology to reduce maintenance-related waste, (5) testing the methodology, and (6) communication, publication and results dissemination. Work package 1-3 have contained data and experience gathering in order to create the methodology and has been conducted using various data collection tools, such as interviews, surveys, workshops, and in delimited (pilot) cases observation and document analysis. Analysis of the collected data has been performed by at least two participating researcher and the results of the analysis has been reported back to the participating companies. The research question has been answered by the results from work package 1, 2 and partly 4. To some extent these results has been tested in work package 3.

Industrial results:

- All participating companies took part of a workshop study were maintenance-related waste were identified through a brainwriting and brainstorming process. The analysis of this data gave 19 classes of maintenance-related waste.
- These maintenance-related wastes were also quantified and the result was presented to the participating companies with an opportunity to compare its results with the other companies (anonymized).
- A number of pilot cases and case studies have been performed in the participant company's organizations. For instance, cost effectiveness of condition based maintenance and life cycle cost model development. Also, workshops on topics related to maintenance-related waste have also been held with the participating companies.

Scientific results:

- A generic methodology for companies to use to reduce maintenance-related waste has been developed.
- One master thesis project with complimentary studies has led to a research publication on the topic of maintenance costing.
- Publications within the project can be found on page 10. In short:
 - 1 licentiate thesis

- 1 handbook
- 4 journal papers (2 accepted, 2 submitted)
- 11 (international) conference papers
- 6 master theses (with connection to the project)
- The project and its results have been presented in various university courses; also the project and its results have been presented at popular scientific conferences and seminars.

The results has contributed to the FFI program and its overall goal setting in that it gives a methodology for companies to work with in order to increase their competitiveness, this through reduction and preferably elimination of maintenance-related waste. On a delimited level of the FFI-program, namely Sustainable Manufacturing (Hållbar produktion) the results contribute in increasing the cost effectiveness of maintenance performance and quality levels of maintenance activities which increases competitiveness as a result.

Working with reduction of maintenance-related waste will never be finished. New wastes will always appears. There is a large potential in working with reduction of waste in order to increase effectiveness and efficiency and the methodology that has sprung from this research project will facilitate for industrial companies to do so. The research project will partly continue in the newly granted FFI-research project Data Analytics in Maintenance Planning (project leader Chalmers University of Technology). This research project aims to enable autonomous and highly automated production as described in Industry 4.0 by drastically increase the systems availability. Focus will be to direct critical equipment from a systems perspective in order to reach a relevant trade-off between maintenance costs and systems performance. It is simply not realistic or affordable to implement a zero-failure strategy for all equipment.

3 Bakgrund

Att arbeta med att minska eller helt ta bort slöserier har varit centralt inom industrin under många år. Detta är ett arbetsätt utav många som kommit ur Toyota-inspirerade produktionssystem. I västvärlden har detta kallats lean produktion. Mycket av arbetet med att minska slöserier har riktats mot värdeflödet, vilket har lett till krav på ett stort stöd från stödfunktionerna – såsom underhåll. Enkelt förklarar har då kraven och målen för stödfunktionerna ofta generaliserats över en hel fabrik.

Ett exempel är att en underhållsavdelning ska uppnå målen: 85 procent OEE, 100 procent teknisk tillgänglighet, 0 haverier och 80/20 procent av förebyggande och avhjälpande underhåll. Den här typen av generella mål kan naturligtvis hjälpa en verksamhet att upprätthålla en stabil produktion. Om målsättningen däremot inte är anpassad efter verksamhetens behov, finns det risk att en underhållsverksamhet kommer vara tvungen att använda mer resurser. Därmed kommer också budgeten öka för att nå mål som kanske inte är nödvändiga. En motsatt inställning är inte per automatik bättre. I iveren att effektivisera kan det ge motsatt effekt att sätta högt tryck och fokus på att en underhållsavdelning ska minska sina direkta underhållskostnader (till exempel kostnad för löner och reservdelar). Framför allt utan att ta hänsyn till eventuella försämringar av servicenivåer mot värdeflödet. Det kan leda till höga indirekta underhållskostnader (till exempel kostnad för övertid på grund av bland annat fler stopp och störningar). Detta kostar i slutändan en verksamhet mer än man sparar på den minskade direkta underhållskostnaden. Här uppstår helt enkelt slöseri.

Just underhållskostnad är ingenting en modern tillverkningsanläggning kan blunda för. Beroende på vilken industri det rör sig om kan underhållskostnaden variera mellan 15-70 procent av produktionskostnaden (Bevilacqua & Braglia, 2000). Denna siffra ligger i det lägre spannet och kanske även något lägre inom fordonsindustrin, speciellt för monteringsstunga fabriker. Det är fortfarande ingenting man kan nonchalera då tidigare forskning har visat att så mycket som upp till 30 procent av underhållskostnaden spenderas i onödan (Wireman, 1990). Orsaker till detta är bland annat: bristande planering, övertidskostnader, bristande användning av arbetsorder- och uppföljningssystem, bristande utfört förebyggande underhåll och så vidare. (Wireman, 1990 och Mohanty & Deshmukh, 1999). Det finns med andra ord stor potential att minska och ta

bort slöserier, inte bara mot värdeflödet, utan även inom stödfunktioner och mellan stödfunktioner och värdeflödet, till exempel mellan en underhållsverksamhet och produktion.

Slöserier kan definieras på många olika sätt. Ofta förknippas slöserier med aktiviteter som inte ger något värde för kunden och är därför någonting som en kund inte är villig att betala för. I litteratur beskrivs ofta slöserier relaterat i termer av ojämnhet (mura), överbelastning (muri) och just, slöseri (muda). Vanligt förekommande är att dela in slöserierna (muda) i så kallade 7+1 slöserier och antingen ange ojämnhet eller överbelastning av ett system eller människa som möjliga grundorsaker till att ett slöseri uppstår.

Inom underhållslitteratur har man gjort egna indelningar och anpassningar av 7+1 slöserier till underhåll. En anpassning till underhåll är (Davies & Greenough, 2010):

- för mycket förebyggande underhåll
- väntan på resurser
- centraliserat underhåll
- bristande standardiserat förebyggande underhåll
- överdimensionerat reservdelslager
- dubbelhantering
- bristfälligt eller dåligt utfört underhåll
- brist på kompetensutveckling av personal

Vad som är ett underhållsrelaterat slöseri är dock inte så enkelt att svara på. Underhållsrelaterade slöserier skapas både internt i en underhållsorganisation och externt från värdeflödet och från övriga stödfunktioner. Externt från värdeflödet skapas ofta dessa genom brist på eller helt avsaknad av behovs och kravanalys från kunden (produktion, det vill säga produktionsledare och operatörer/ montörer), eller mer korrekt, en avsaknad av överenskommelse mellan kunden och underhåll.

En ogenomtänkt och generaliserad kravställning över en hel fabrik utan förankring i ett verkligt behov, ger upphov till underhållsrelaterade slöserier. Högre ställda krav än det finns behov för kommer med största sannolikhet att kräva utökade resurser.

Externa underhållsrelaterade slöserier uppkommer naturligtvis också då underhåll av någon anledning inte kan upprätthålla en överkommen nivå. Internt i underhållsverksamheten skapas ofta underhållsrelaterade slöserier på grund av bristande standardiserade arbetssätt och koordinering av underhållsaktiviteter.

Vid införande av lean produktion och genom ständigt förbättringsarbete inom en underhållsverksamhet är det vanligt att man, till exempel, genomför eller utökar förebyggande underhåll, operatörsunderhåll och ibland även tillståndsbaserat underhåll och tillståndsovervakning. Om dessa aktiviteter inte samordnas löper verksamheten risk att olika utförare genomför samma eller liknande aktiviteter i allt för snäva intervall, med överunderhåll som resultat. Både resurser och maskintid används i detta exempel mer än nödvändigt vilket inte kan kategoriseras på annat sätt än slösaktigt.

Ett underhållsrelaterat slöseri är inte detsamma som ett slöseri inom underhåll eller en underhållsorganisation. Men ett slöseri inom underhåll eller en underhållsorganisation är ett underhållsrelaterat slöseri. Tänk dig att en reparatör förflyttar sig många gånger mellan en bearbetningsmaskin och underhållsverkstan för att ta del av dokumentation och för att hämta förnödenheter i reservdelsförrådet. Detta gör att reparatörens tid upptas onödigt länge, vilket till stor sannolikhet beror på bristande planering. Då planering av underhållsaktiviteter är en av underhållsorganisationens uppgifter blir det ett slöseri inom underhåll. Eftersom andra avdelningar och anställda måste vänta på reparatören blir detta även ett underhållsrelaterat slöseri hos produktion och eventuellt även andra stödfunktioner.

Ett annat exempel är när det sker en krock i en bearbetningsmaskin. Tänk dig att krocken leder till ett stort arbete för underhållsorganisationen att återställa maskinen i producerbart skick. Det kan innebära både många reparationstimmar samt uttag och/eller beställningar av reservdelar. Krocken kan bland annat bero på att ställinstruktioner är bristfälliga eller inte har följts. Detta slöseri är då inte en underhållsorganisations

verkan, varav det inte är ett slöseri inom underhåll utan ett underhållsrelaterat slöseri. Slöseriet ska ses som underhållsrelaterat då underhållsorganisationen måste ta hand om konsekvenserna av slöseriet. Underhåll kommer då att "belastas" med bland annat höjd direkt underhållskostnad för någonting som kunden egentligen inte är villig att betala för.

Om en underhållsverksamhet har bra ordning och reda i sina processer och arbetar med att vara så kostnadseffektiv som möjligt, kan den inre effektiviteten (eng. *efficiency*) sägas vara hög. Om underhållsverksamhetens arbete leder till att kundens krav och behov tillgodoses kan den yttre effektiviteten (eng. *effectiveness*) sägas vara hög. Den inre effektiviteten kopplas ofta till att aktiviteter genomförs på ett så resurssnålt vis som möjligt medan yttre effektivitet ofta kopplas till resultat, det vill säga, att de aktiviteter som genomförs också skapar kundnytta.

Ekonomiskt kan inre effektivitet kopplas till direkt underhållskostnad, till exempel kostnaden för löner, reservdelar, kompetensutveckling och verktyg. Yttre effektivitet kopplas istället till indirekt underhållskostnad, till exempel kostnaden för övertid på grund av underhållsbrister och kvalitetsbristkostnader på grund av underhållsbrister (Márquez et al., 2009).

Inre och yttre effektivitet och direkt och indirekt underhållskostnad är starkt sammankopplade. Underhållsrelaterade slöserier som skapas i en underhållsorganisation leder ofta till slöserier och ökade kostnader i värdeflödet och även i andra stödfunktioner. Samtidigt kan underhållsrelaterade slöserier som skapas i värdeflödet eller andra stödfunktioner leda till slöserier och ökade kostnader inom en underhållsorganisation.

Tidigare forskning visar att av den totala kostnadsmassan, orsakad av underhåll, är cirka: 55 procent direkt underhållskostnad, 24 procent indirekt underhållskostnad och 21 procent förlorade intäkter på grund av bristande underhåll (Ahlmann, 2002). Om vi lägger ihop indirekta kostnader med förlorade intäkter blir förhållandet mellan direkt och indirekt kostnad nästintill 50/50. Därför måste man arbeta med att minska underhållsrelaterade slöserier från båda håll.

Att arbeta med att minska eller ta bort underhållsrelaterade slöserier blir med andra ord inte bara en uppgift för en underhållsorganisation utan för en hel verksamhet. Verksamheter måste lära sig att balansera inre och yttre effektivitet, det vill säga direkt och indirekt underhållskostnad, för att uppnå ett totaleffektivt underhåll. För att komma igång att arbeta med detta är det fördelaktigt att börja med den yttre effektiviteten: vad är kundens (produktionens) krav och behov (Modig & Åhlström, 2013).

Om man endast arbetar med den inre effektiviteten och förbättrar sina aktiviteter kan man aldrig vara säker på att man gör rätt aktiviteter. För att skapa en kravställning på underhåll är det viktigt att verksamheten arbetar med den yttre effektiviteten och både kundens och produktens behov och krav. Vilken kvalitetsnivå är nödvändig i produkten? Vilken produktionsvolym är man i behov av att producera och på vilken skiftgång? För att ta fram en realistisk behovsbild är dessa frågor, och även fler frågor, bra att diskutera tvärfunktionellt med deltagare från produktion och underhåll och gärna andra stödfunktioner. Sammantaget ger ovan diskussion det industriella problem som projektet sökt finna lösning till: *det finns en avsaknad av systematiska arbetsmetoder (processer) som underlättar för underhållsorganisationer att verkligen stötta lean och hållbar produktion.*

4 Syfte, frågeställningar och metod

Visionen för projektet formulerades som: *att möjliggöra för underhållsorganisationer att bidra till en högre konkurrenskraft för den svenska fordonsindustrin.* En forskningsfråga ställdes upp för att svara upp mot visionen och målet (se nedan): *vilka hindrande och möjliggörande faktorer finns i processen att arbeta med att minska underhållsrelaterade slöserier?*

För att strukturera projektet och arbetet skapades sex arbetspaket:

1. Identifiering och klassificering av underhållsrelaterade slöserier

2. Kvantifiering av underhållsrelaterade slöserier
3. Reducering av underhållsrelaterade slöserier (pilotfall)
4. Utveckling av arbetsmetod (process)
5. Test och utvärdering av arbetsmetoden (processen)
6. Administration (kommunikation, publicering och spridning av resultat)

Arbetspaket 1-3 har syftat till att ta fram nödvändiga data och erfarenheter för att skapa arbetsmetoden (processen) och har bedrivits med olika datainsamlingsverktyg. De tre utmärkande verktygen har varit intervjuer, enkätundersökningar och workshops med de deltagande företagen. Till viss del, speciellt inom arbetspaket tre så har även observation och dokumentanalys använts som datainsamlingsverktyg. Analys av data har genomförts av minst två personer inom forskargruppen och resultatet av dessa har återkopplats till de deltagande företagen i respektive studie. Forskningsfrågan besvarades av resultaten utifrån arbetspaket 1 och 2 och dessa utprovades till viss del i arbetspaket 3 men även resultatet genom utvecklingen av arbetsmetoden (processen) i arbetspaket 4 gav svar på forskningsfrågan.

5 Mål

Målen med projektet formulerades i ansökan som: *att skapa och testa en generisk arbetsmetod (process) som kan underlätta för företag inom fordonsindustrin att arbeta med att reducera och eliminera underhållsrelaterade slöserier.*

Målet i sig har inte ändrats ifrån ansökan. Däremot har vidare insikt utifrån lärdomar genom projektet gett en än tydligare bild av målsättningen. Projektet har aldrig försökt ta fram ett nytt underhållskoncept eller verktyg, inte heller vidareutveckla ett koncept eller befintliga underhållsverktyg. Projektets mål har istället varit att ta fram en arbetsmetod (process) som företag ska använda sig av för att se vilka brister (underhållsrelaterade slöserier) som finns i deras verksamhet för att sedan se vilka befintliga underhållskoncept och verktyg som de kan använda, var, hur och i vilken utsträckning, för att lösa bristerna så kostnadseffektivt som möjligt. Att inte göra för mycket men inte heller för lite.

6 Resultat och måluppfyllelse

De förväntade resultaten formulerades i ansökan enligt följande:

Industriella resultat:

- En klassificerad lista på underhållsrelaterade slöserier (även specifikt för de deltagande företagen)
- En kvantifiering av underhållsrelaterade slöserier (även specifikt för de deltagande företagen)
- De deltagande företagen kommer genom forskningsprojektet att få insikt och erfarenhet om underhållsrelaterade slöserier och kommer även att ha arbetat med minst ett slöseri

Vetenskapliga resultat:

- En utvecklad och testad generisk arbetsmetod (process) som kan underlätta för företag inom fordonsindustrin att arbeta med att reducera och eliminera underhållsrelaterade slöserier.
- Input till området underhållskostnad

Vetenskapliga publikationer:

- Publicering av minst fem vetenskapliga publikationer, en licentiatavhandling och minst fyra examensarbeten inom ramen för projektet. Resultaten av dessa kommer även att användas i utbildningssyfte i högre utbildning i kurser inom områdena produktions- och underhållsutveckling samt informationsdesign.

Utfallet av dessa förväntade resultat kan formuleras som (i samma ordning):

Industriella resultat:

- Samtliga deltagande företag deltog individuellt i en workshopstudie där underhållsrelaterade slöserier togs fram genom brainwriting och brainstorming. Dessa analyserades av forskargruppen och grupperades och klassificerades till en lista på 19 stycken olika underhållsrelaterade slöserier. De

deltagande företagen fick ta del av resultatet och kunde därigenom även jämföra sitt eget resultat med de övriga företagen i studien (dock anonymiserat)

- De 19 klassificerade underhållsrelaterade slöserierna kvantifierades även i antal, hur stor del de nämndes på respektive företag. Även detta resultat kom de deltagande företagen till godo även här med möjlighet till jämförelse (dock anonymiserat).
- Diverse fallstudier och pilotstudier har under projektet genomförts på de deltagande företagen. Bland annat har diverse dataanalysverktyg för att upptäcka och mäta underhållsrelaterade slöserier testats på Volvo CE Eskilstuna och Volvo GTO Köping. Kostnadseffektivitet i tillståndsbaserat underhåll har utretts på Volvo GTO Köping. En livscykelkostnadsmodell har upprättats och testats på Volvo CE Eskilstuna och Volvo GTO Skövde. Inom ramen för projektet så har även diverse workshops med de deltagande företagen genomförts där specifika underhållsrelaterade slöserier har diskuterats och arbetats med. Bland annat så hölls en workshop med underhållscheferna rörande kompetensutveckling som ett sätt att minska underhållsrelaterade slöserier (bristande kunskap och kompetens angavs som den största bidragande orsak till underhållsrelaterade slöserier i ovan nämnda workshopstudie). En annan workshop hölls med underhållstekniker/ingenjörer inom ämnet grundorsaksanalyser. Ett ämne som täcker in lösningen på många underhållsrelaterade slöserier.

Vetenskapliga resultat:

- En generisk arbetsmetod (process) som kan underlätta för företag inom fordonsindustrin att arbeta med att reducera och eliminera underhållsrelaterade slöserier är framtagen och kommunicerad vid flera tillfällen. Arbetsmetoden är också nedtecknad i en populärvetenskaplig handbok som kommit de deltagande företagen till del. Arbetsmetoden syftar till att företagen själva skall utreda sina behov och genom dessa se på vad som kan vara den mest kostnadseffektiva lösningen.
- Ett examensarbete med vidare studie som lett till en konferenspublikation täcker in området underhållskostnad. I examensarbetet genomfördes en enkätstudie i svensk industri med 69 deltagande företag som visar på synen av stilleståndskostnad inom industrin, i detta ingår även underhållskostnad. Dessa resultat har även arbetats in i arbetsmetoden.

Vetenskapliga publikationer:

- Ingående resultat ifrån projektet har publicerats enligt följande (se nedan):
 - 1 licentiatavhandling
 - 1 handbok
 - 4 journalartiklar (2 accepterade, 2 submitted)
 - 11 (internationella) konferensartiklar
 - 6 stycken examensarbeten
- Projektets resultat har presenterats inom ramen för många kurser, både via gästföreläsningar samt via ordinarie föreläsningar av lektorer som också ingår i projektkonstellationen. Vidare så har projektet presenteras på flera populärvetenskapliga seminarier och konferenser (se nedan kapitel 7).

För måluppfyllnad kopplat till FFI:s mål på delprogramnivå (hållbar produktion) så kan projektets resultat och leveranser enligt ovan knytas till att underhållsavdelningar tillsammans med produktionsavdelningar samt övriga stödfunktioner kan använda resultaten för att stärka upp konkurrenskraften genom mer kostnadseffektiva arbetssätt. Den föreslagna arbetsmetoden (processen) täcker bland annat hur dessa avdelningar tillsammans ska kunna sätta realistiska och kostnadseffektiva mål vilket också leder till säkerställd önskad kvalitet i underhållsarbetet. På övergripande FFI-nivå så kommer resultaten och leveranserna ur projektet främst gynna målsättningen att stärka den internationella konkurrenskraften. Genom att reducera och/eller eliminera underhållsrelaterade slöserier kommer både den yttre och inre effektiviteten i industrin att kunna höjas vilket kommer att leda till att både den indirekta samt den direkta underhållskostnad att kunna minskas.

7 Spridning och publicering

Projektet har genom hela genomförandet haft för avsikt att sprida delresultat och slutresultat på både en vetenskaplig och en populärvetenskaplig arena, så har också skett. Nedan publikationer (konferenspublikationer) har granskats och presenterats på vetenskapliga konferenser. Vid flera tillfällen

har projektresultat presenterats på populärvetenskapliga seminarier och konferenser. Nedan är exempel på tillfällen och sammanhang:

- Mälardalen Industrial Technology Center, 2013-10-17
- SSG Underhållskonferens, 2014-05-27
- Underhållsdagen (U&D och Underhållsmässan), 2014-20-11
- Waste Refinery, 2015-03-23
- Mötesplats för framtidens produktionssystem, 2015-05-20
- Avslutningskonferens Tre forskningsprojekt (Reducing maintenance-related waste, Lean Automation Development, User-Supplier integration in production equipment design), 2016-04-28

7.1 Kunskaps- och resultatsspridning

Hur har projektresultatet användas och spritts?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	Resultaten har spridits till de deltagande företagen via projektmöten och individuella företagsdragningar
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt		
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt		
Introduceras på marknaden	X	Resultaten har spridits till de deltagande företagen samt till övriga svenska industrin via vetenskapliga konferenser samt vid flera populärvetenskapliga seminarier och konferenser
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut		

7.2 Publikationer

1. Ahmadzadeh, F. & Bengtsson, M. (2015). Classification of maintenance-related waste based on human factors. The 22nd International Annual EurOMA Conference (EurOMA15), Neuchâtel, Switzerland.
2. Ahmadzadeh, F. & Bengtsson, M. (2016). Evidential reasoning prioritization of maintenance-related waste caused by human factors. Submitted to *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*.
3. Bengtsson, M., Söderlund C., Salonen, A., Chirumalla, K., Ahmadzadeh, F., & Rastagari A. *Handbok för att minska underhållsrelaterade slöserier*. ISBN: 978-91-7485-273-8, Arkitektkopia, Västerås.
4. Bengtsson, M. & Osterman, C. (2014). Improvements in waste – the 9th waste. The 6th International Swedish Production Symposium 2014, Göteborg, Sweden.
5. Bengtsson, M., & Salonen, A. (2016). Requirements and Needs—A Foundation for reducing maintenance-related waste. In *Proceedings of the 10th World Congress on Engineering Asset Management (WCEAM 2015)* (pp. 105-112). Springer International Publishing.
6. Bengtsson, M. (2016). Applying multi-factorial pareto analysis in prioritizing maintenance improvement initiatives. In *Current trends in reliability, availability, maintainability and safety* (pp. 317-330). Springer International Publishing.
7. Bengtsson, M. & Kurdve, M. (2016). Machining equipment life cycle costing model with dynamic maintenance cost. Published at 23rd CIRP Conference on life cycle engineering, Berlin, Germany.
8. Chirumalla, K., & Parida, A. (2016). Understanding knowledge reuse process: A case study in a production maintenance organization. *IUP Journal of Computer Sciences*, 10(1/2), 25.
9. Chirumalla, K., Bengtsson, M. & Söderlund, C. (2015). Experience reuse in production maintenance: current practices and challenges. The 22nd International Annual EurOMA Conference (EurOMA15), Neuchâtel, Switzerland.
10. Lundin, Söderlund, & Eriksson. (2016). Design challenges for technical communicators. Accepted in the *Proceedings of the SIGDOC Conference 2016*, ACM Press.

11. Rastegari, A. & Bengtsson, M. (2014). Implementation of Condition Based Maintenance in Manufacturing Industry – A Pilot Case Study. IEEE Conference on Prognostics and Health Management (PHM), 2014, Cheney, WA.
12. Rastegari, A., & Bengtsson, M. (2015). Cost effectiveness of condition based maintenance in manufacturing. In Reliability and Maintainability Symposium (RAMS), 2015 Annual (pp. 1-6). IEEE.
13. Rastegari, A., & Mobin, M. (2016). Maintenance decision making, supported by computerized maintenance management system. In 2016 Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS) (pp. 1-8). IEEE.
14. Rastegari, A. (2015). *Strategic maintenance development focusing on use of condition based maintenance in manufacturing industry*, Licentiatavhandling, Mälardalen University Press.
15. Salonen, A., & Tabikh, M. (2016). Downtime Costing—Attitudes in Swedish Manufacturing Industry. In Proceedings of the 10th World Congress on Engineering Asset Management (WCEAM 2015) (pp. 539-544). Springer International Publishing.
16. Söderlund & Lundin. (2016). What is an information source? Information Design Based on Information Source Selection Behaviour. *Communication Design Quarterly Review*.
17. Söderlund, C. (2016). Visual rhetoric and visual management in production maintenance and lean manufacturing. Submitted to *International journal of information management*.

Sex examensarbeten har utförts inom ramen för forskningsprojektet:

1. Al-Bawi, A. (2015). *Spare parts management potential in production sector*. Master Thesis, Mälardalen University.
2. Buinus, M. (2015). *Design for maintenance: An interview based survey*. Master Thesis, Mälardalen University.
3. Kalaiarasan, R. & Giliyana, S.A. (2015). *Underhållsstrategi enligt Professional Maintenance metodiken som en del av World Class Manufacturing*. Master Thesis, Mälardalen University.
4. Muluh Cheh, K. (2014). *Analysis of Overall Equipment Effectiveness (OEE) within different sectors in different Swedish industries*. Master Thesis, Mälardalen University.
5. Tabikh, M. (2014). *Downtime cost and Reduction analysis: Survey results*. Master Thesis, Mälardalen University.
6. Yang, Q. (2014). *Remanufacturing Versus New Acquisition of Production Equipment: Definitions and Decision-making Checklist*. Master Thesis, Mälardalen University.

8 Slutsatser och fortsatt forskning

Att arbeta med att minska eller helt ta bort underhållsrelaterade slöserier är ett kontinuerligt arbete. Det kommer aldrig att bli färdigt. Nya processer, nya maskiner, nya utrustningar, nya produkter, nya marknader, nya metoder, nya teknologier, nya medarbetare, ändrade förutsättningar och mycket mer gör att nya underhållsrelaterade slöserier alltid kommer att uppstå. Ny kunskap är också en stor del i detta. Det finns en stor potential för den svenska industrin att arbeta mer proaktivt med att reducera och/eller eliminera underhållsrelaterade slöserier och att göra så tillsammans med produktion och övriga stödfunktioner kommer att minska risken för att dubbelarbete uppstår. Den framtagna arbetsmetoden (processen) kommer att hjälpa företag att själva öka sin medvetenhet och utgå ifrån sina behov snarare än att ge sig i kast med att implementera det senaste underhållskonceptet eller verktyget.

Forskningen kommer delvis att fortsätta inom ramen för ett påbörjat forskningsprojekt. Under våren 2016 söktes och beviljades FFI-medel för projektet Data Analytics in Maintenance Planning (DAIMP) med Chalmers Tekniska Högskola som huvudman, i projektet kommer även Kungliga Tekniska Högskola samt Mälardalens Högskola att ingå som forskningspartner. I företagskonstellationen ingår bland annat Volvo Construction Equipment och Volvo Group Trucks Operations. Projektet syftar till att möjliggöra höga automatiserad produktion i linje med Industri 4.0 genom bland annat höjd systemtillgänglighet men uttryckligen ur ett kritikalitetsperspektiv då generell målsättning omöjliggör kostnadseffektivitet. Inom ramen för detta projekt kommer resultat av projektet Reducing maintenance-related waste att byggas vidare på inom bland annat hur man standardiserar men ändå differentierar förebyggande

underhållsupplägg för olika maskintyper med olika kritikalitetsnivåer - allt för att minska underhållsrelaterade slöserier.

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

Mälardalens Högskola:

Marcus Bengtsson, projektledare
Carina Söderlund
Antti Salonen
Kotesshwar Chirumalla
Farzaneh Ahmadzadeh
Ali Rastegari



Volvo Construction Equipment Operations Eskilstuna:

Robert Pettersson



LEAX Köping:

Per Hassel



Volvo GTO Powertrain Production Skövde/Köping:

Håkan Nordquist (Skövde)
Per Larsson (Köping, från 2015)



Volvo Cars Torslanda:

Anders Andersson



DynaMate Industrial Services:

Per-Erik Johansson



10 Referenser

Ahlmann, H. (2002). From traditional practice to the new understanding: the significance of the Life Cycle Profit concept in the management of industrial enterprises. In *Maintenance Management & Modelling conference*. International Foundation for Research in Maintenance.

Bevilacqua, M., & Braglia, M. (2000). The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection. *Reliability Engineering & System Safety*, 70(1), 71-83.

Davies, C. & Greenough, R.M. (2010). Measuring the effectiveness of lean thinking activities within maintenance. Available at: www.plant-maintenance.com/articles/Lean_Maintenance.pdf (2016-01-21).

Márquez, C. A., Moreu de León, P., Gómez Fernández, J. F., Parra Márquez, C., & López Campos, M. (2009). The maintenance management framework: A practical view to maintenance management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 15(2), 167-178.

Mohanty, R. P., & Deshmukh, S. G. (1999). Managing green productivity: a case study. *Work study*, 48(5), 165-169.

Modig N. & Åhlström, P. (2012). *Detta är lean: lösningen på effektivitetsparadoxen*. Stockholm School of Economics (SSE) Institute for Research distributör.

Wireman, T. (1990). *World class maintenance management*. Industrial Press, Inc, New York.