

# IRIS - Integrerat dynamiskt prognostiserande underhållsstöd

Publik rapport



Författare: Jonas Biteus  
Datum: 2018-02-05  
Projekt inom: Effektiva och uppkopplade transportsystem (Transporteffektivitet)

**FFI** Fordonsstrategisk  
Forskning och  
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

# Innehållsförteckning

|  |          |
|--|----------|
| <b>1 Sammanfattning .....</b>                                | <b>3</b> |
| <b>2 Executive summary in English.....</b>                   | <b>3</b> |
| <b>3 Bakgrund.....</b>                                       | <b>3</b> |
| <b>4 Syfte, forskningsfrågor och metod .....</b>             | <b>3</b> |
| <b>5 Mål .....</b>   | <b>3</b> |
| <b>6 Resultat och måluppfyllelse .....</b>                   | <b>4</b> |
| 6.1 Bidrag till FFIs övergripande mål .....                  | 4        |
| 6.2 Bidrag till FFI-programmets delprogrammål .....          | 4        |
| 6.3 Bidrag till FFI transporteffektivitets program mål ..... | 4        |
| <b>7 Spridning och publicering .....</b>                     | <b>5</b> |
| 7.1 Kunskaps- och resultatspridning .....                    | 5        |
| 7.2 Publikationer.....                                       | 5        |
| <b>8 Slutsatser och fortsatt forskning .....</b>             | <b>7</b> |
| <b>9 Deltagande parter och kontaktpersoner.....</b>          | <b>7</b> |

## Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings- och innovationsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Trafiksäkerhet. 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](http://www.vinnova.se/ffi).

# 1 Sammanfattning

IRIS, Integrerat dynamiskt prognostiserande underhållsstöd, har tagit fram metodik för att skatta kvarvarande livslängd för komponenter på tunga markbundna fordon. Resultaten har implementerats i en demonstrator inkluderande beslutsstöd och prognostikmodeller. Resultaten har delgivits samhället via publikationer i tidskrifter, vid konferenser, som patent samt som publika presentationer.

## 2 Executive summary in English

IRIS, Integrated dynamic predictive maintenance support, has developed a methodology to estimate the remaining useful life of components on heavy vehicles. The results have been implemented in a demonstrator, including decision support and prognostic algorithms. The results have been made available for the community using publications in journals, conferences, patents, and public presentations.

## 3 Bakgrund

För att effektivisera transport av gods och människor krävs att fordon kan utnyttjas enligt plan samt att de inte blir stillastående på väg, med risk för följdolyckor och köbildning. Gemensamt för dessa mål är att det är av vikt att veta om ett fordon kommer klara ett uppdrag utan haveri. Man måste veta både hur fordonet mår nu och hur det kommer att må i framtiden, vi kallar detta för fordonets hälsostatus. Genom att fordonet kan bedöma sin hälsostatus kan beslut tas både om huruvida ett fordon måste åka till verkstad för att inte få ett haveri vid väg, om ett uppdrag kan påbörjas och vilket underhåll som skall utföras nu och i framtiden för att undvika haverier.

## 4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Projektet syftade till att: Undersöka hur man kan förutsäga fordonets hälsostatus; Hur man kan använda hälsostatus för att planera underhåll så att oplanerade stillestånd minimeras; Skapa ett system som optimerar underhållsplaner utifrån bland annat hälsostatus och kundpreferenser; Skapa ett system som ger beslutsunderlag till förare och flottplanerare; Skapa ett system som på ett intuitivt sätt förmedlar information och åtgärder till aktörerna som är involverade i drift och underhåll.

Projektet var uppdelat i fyra arbetspaket. Här följer en kort beskrivning av de olika arbetspaketen.

1. Prognostikmetodik. Paketet var applicerad forskning för att ta fram en metod för att utveckla prognostikmodeller med hjälp av tekniker från maskininlärning. I paketet arbetade två stycken doktorander samt forskare från akademi och industri.
2. Beslutsstöd. Paketet var applicerad forskning runt beslutsstöd och planering. I paketet arbetade forskare från industri och akademi.
3. Modell-utveckling. Paketet var utveckling av modeller för att skatta kvarvarande livslängd, för några komponenter i tunga fordon. I paketet arbetade ingenjörer från industrin.
4. Demonstrator. Paketet var implementation av en demonstrator som knyter samman de övriga arbetspaketen. I paketet arbetade forskare och ingenjörer från industrin.

## 5 Mål

Projektets mål var att ta fram metodik baserat på maskininlärning för hur kvarvarande livstid kan skattas för komponenter på tunga fordon, ta fram beslutsstöd för att kunna använda skattad kvarvarande livstid till att t.ex. planera underhåll, ta fram modeller för att skatta kvarvarande livstid för några komponenter på en tung lastbil, samt konstruera en demonstrator som inkluderar prognostik, beslutsstöd, och användarinteraktion både mot förare, mekaniker och flottplanerare.

## 6 Resultat och måluppfyllelse

Projektet har genomförts av de olika parterna med kvartalsvisa seminarium och ledningsgruppsmöten där kunskapsöverföring mellan parterna och personal har varit ett viktigt och framgångsrikt inslag.

Projektet har aktivt delgivit sina resultat via publiceringar på konferenser och i tidskrifter. Vidare har en tvådagars workshop inom data science och prognostik anordnats. Den första dagen inriktades på presentationer kring aktuell forskning och problem inom området. Den andra dagen ägnades åt diskussioner i mindre grupper. En mängd forskare från universitet, tekniska högskolor, forskningsinstitut samt näringsliv närvarade. Inklusive flertalet FFI-finansierade projekt inom prognostik och maskininlärning.

Resultat från arbetspaket prognostikmetodik: Paketet har tagit fram metodik för hur modeller för prediktion av kvarvarande livslängd kan tas fram baserat på tekniker från maskininlärning.

Resultat från arbetspaket beslutsstöd. En logik för beslutsstöd har tagits fram och integrerats i demonstratorn. Funktionaliteten visar optimering av underhållsprogram.

Resultat från arbetspaket modell-utveckling. Utveckling av ett antal prognostik-modeller har resulterat i två patentansökningar. Modellerna är utvecklade och utvärderas för vidare industrialisering.

Resultat från arbetspaket demonstrator. Demonstratorn är utvecklad och integrerar, prognostik-modeller, beslutslogik och användargränssnitt. Demonstratorn har inte verifierats på verkstad. Demonstratorn har förevisats för olika organisationer på Scania, för styrgruppen samt presenterats på vetenskapliga konferenser.

Generellt har projektet uppfyllt målet att stärka mognadsgraden för prognostik och hälsoövervakning inom tunga fordonsindustrin och specifikt vid de medverkande parterna. De akademiska parterna har positionerat sig i fronten av prognostik-utveckling. Vid LiU har detta resulterat i flera projekt inom prognostikområdet och ökad andel forskningsresurser. Genom de gemensamma seminarierna har LiU och SU stärkt sin samverkan och kunskapsöverföringen har varit markant.

Antalet publiceringar är i nivå med målet. Målet var att publicera två doktorsavhandlingar vilket dock inte nåtts pga. personalomsättning på doktorandsidan. Totalt har projektet publicerat 3 tidskriftsartiklar, 14 konferensartiklar, 2 patent, 2 licentiatavhandlingar samt 14 examensarbeten.

### 6.1 Bidrag till FFIs övergripande mål

Projektet har bidragit till programmets övergripande mål genom att höja den tekniska mognadsgraden inom området prognostik samt genom att påbörjat industrialiseringen av tjänster relaterade till prognostik och hälsostatus.

### 6.2 Bidrag till FFI-programmets delprogrammål

Förutom positiva effekter för klimatmålen genom att kunna minska antalet stillestånd i trafiken har projektet bidragit till att innovations och samverkansmiljöer har påverkats positivt.

### 6.3 Bidrag till FFI transporteffektivitets program mål

Några specifika övergripande effektmål och effektmål enligt FFI transporteffektivitet som projektet bidragit till redovisas nedan.

- Förbättrad samhälls- och näringslivsekonomi: Genom en minskning av oplanerat underhåll kan på sikt kostnaderna för fordonsåkerier och slutkunder minskas.
- Ökade transportvolym med minimala miljöeffekter: Genom en minskning av oplanerat underhåll så kan en högre transportvolym uppnås med bibehållen fordonsflotta.

- Andelen fordon i fordonsflottan som är "uppkopplade" ökas till 50% till 2020: Tjänsterna som demonstrerats i projektet är i stort behov av uppkopplade fordon vilket leder till att fler åkeriägare kommer välja att ha uppkopplade fordon.
- Minskade res- och transporttider genom färre störningar och ökad framkomlighet: En positiv påverkan inträffar genom att färre oplanerade stopp kommer att inträffa genom en optimering av underhållet.
- Ökad konkurrenskraft för svenska fordonsindustrin: Genom att demonstrera hur fokus kan ändras från komponenter och hårdvara till tjänster kopplade till underhåll ökar den svenska fordonsindustrins konkurrenskraft.
- Förbättrad service, underhåll samt förbättrade produkter och tjänster: Specifikt bidrag med att demonstrera hur förbättrat underhåll kan beräknas och presenteras.
- Ökad kompetens inom området: Genom samverkan och forskning har kompetensen ökat.

## 7 Spridning och publicering

### 7.1 Kunskaps- och resultatspridning

Kunskapen från projektet kommer användas eller har använts enligt följande tabell:

| Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?          | Markera med X |
|---|---------------|
| Öka kunskapen inom området  | X             |
| Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt        | X             |
| Föras vidare till produktutvecklingsprojekt                           | X             |
| Introduceras på marknaden   | X             |
| Användas i utredningar/regelverk/ tillståndsärenden/ politiska beslut |               |

### 7.2 Publikationer

| Titel på publikation  | Publikationsnummer  | Artikel i tidskrift | Mono grafi | Konfer ens-bidrag | An nat |
|---|---|---------------------|------------|-------------------|--------|
| Variable selection for heavy-duty vehicle battery failure prognostics using random survival forests | ISBN: 978-1-936263-21-9   |                     |            | x                 |        |
| Heavy-duty truck battery failure prognostics using random survival forests                          | <a href="https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.08.082">https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.08.082</a> |                     |            | x                 |        |
| Treatment of accumulative variables in data driven prognostics of lead-acid batteries               | <a href="https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.09.512">https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.09.512</a> |                     |            | x                 |        |
| Data-driven Lead-Acid Battery Prognostics Using Random Survival Forests                             | ISBN: 978-1-936263-17-2   |                     |            | x                 |        |
| Data-driven lead-acid battery lifetime prognostics  | ISBN: 978-91-7685-504-1   |                     | x          |                   |        |
| Data-driven battery lifetime prediction and confidence estimation for heavy-duty trucks             | Under review, IEEE Transactions on Reliability  | X                   |            |                   |        |
| Reliability Improving the Maintenance Planning of Heavy   | urn:nbn:se:su:diva-97733  |                     |            | x                 |        |

|   |   |   |  |   |   |
|---|---|---|--|---|---|
| Trucks using Constraint Programming   |   |   |  |   |   |
| Expert Guided Adaptive Maintenance  | ISBN: 978-1-936263-16-5   |   |  | x |   |
| Learning Decision Trees From Histogram Data   | ISBN: 978-1-6013-2267-8   |   |  | x |   |
| Model Based Sampling - Fitting an ensemble of models into a single model  | ISBN: 978-1-4673-9795-7   |   |  | x |   |
| Learning Decision Trees from Histogram Data Using Multiple Subsets of Bins  | ISBN: 978-1-5773-5756-8   |   |  | x |   |
| Indexing rules in rule sets for fast classification   | ISBN: 978-1-4503-4235-3   |   |  | x |   |
| Planning Flexible Maintenance for Heavy Trucks using Machine Learning Models, Constraint Programming, and Route Optimization    | DOI: 10.4271/2017-01-0237   |   |  | x |   |
| Randomized Separate and Conquer Rule induction  | ISBN: 978-1-4503-5241-3   |   |  | x |   |
| Evaluation of a variance-based nonconformity measure for regression forests   | ISBN: 978-3-319-33394-6   |   |  | x |   |
| Predicting NOx sensor failure in heavy duty trucks using histogram-based random forest  | URN: urn:nbn:se:kth:diva-221499   | x |  |   |   |
| Accelerating difficulty estimation for conformal regression forests   | ISSN: 1012-2443   | x |  |   |   |
| Solving complex maintenance planning optimization problems using stochastic simulation and multi-criteria fuzzy decision making | <a href="http://dx.doi.org/10.1063/1.4904649">http://dx.doi.org/10.1063/1.4904649</a> |   |  | x |   |
| Ekonomiska konsekvenser till följd av oplanerade stillestånd. En multipel fallstudie av företag i den svenska åkeribranschen    | Anton Gustafsson & Sebastian Wassberg, LiU, examensarbete 30p                         |   |  |   | x |
| Solving complex maintenance planning optimization problems using stochastic simulation and multi-criteria fuzzy decision making | Sahar Tahvili. urn:nbn:se:ri:diva-24416   |   |  |   | x |
| Optimization Support Tool for Optimal Maintenance Planning  | Jonas Österberg, MDH, examensarbete 15p   |   |  |   | x |
| Databases for handling large data sets: An evaluation of machine learning tools in  | Anton Tångring & Peter Ledberg, SU, examensarbete 15p                                 |   |  |   | x |
| Datadriven modell för prognostik av hälsostatus hos APS-komponent i tunga fordon  | Joakim Ljung, KTH, examensarbete 30p  |   |  |   | x |
| Ensure the electric power system's durability through battery monitoring  | Jonas Andersson. urn:nbn:se:uu:diva-244318  |   |  |   | x |

|   |   |  |   |  |   |
|---|---|--|---|--|---|
| Mining Big Data For Vehicle Maintenance   | Samia Khalid.<br>urn:nbn:se:kth:diva-206151                 |  |   |  | x |
| Utilization of deep neural networks based on operational data and workshop history for failure classification of APS components   | Alexander Gomez, KTH,<br>examensarbete 30p                  |  |   |  | x |
| Modelling of patterns between operational data, diagnostic trouble codes and workshop history using big data and machine learning | Johanna Haglund & Linda Virkkala. urn:nbn:se:uu:diva-279823 |  |   |  | x |
| Prediction of operational data based on assignments utilizing geographical information  | Holger Rosencrantz, SU,<br>examensarbete 30p                |  |   |  | x |
| Lifetime Analysis of Automotive Batteries using Random Forests and Cox Regression   | Johanna Roseninge.<br>urn:nbn:se:kth:diva-142368            |  |   |  | x |
| Learning Decision Trees and Random Forests from Histogram Data  | ISSN: 1101-8526. To be published.                           |  | x |  |   |

## 8 Slutsatser och fortsatt forskning

Generellt har projektet uppfyllt målet att stärka mognadsgraden för prognostik inom tunga fordonsindustrin och specifikt vid de medverkande parterna. Projektet har framgångsrikt tagit fram resultat och dels givit dessa till samhället.

Parterna har tillsammans ansökt om ett nytt projekt för fortsatt forskning inom området maskininlärning och prognostik. Specifikt ska projektet ta fram mer kunskap om datadrift och tolkningsbarhet av modeller.

## 9 Deltagande parter och kontaktpersoner

Deltagande parter i projektet var Scania CV, Vehicle Service solutions, Stockholms universitet, Department of Computer and Systems Sciences (DSV) och Linköpings universitet, Department of Electrical Engineering (ISY).

