

# BRAVE

## Boost control of Advanced Valvetrain Engines



Författare: Erik Höckerdal  
Datum: 2019-01-08  
Projekt inom FFI - Elektronik, mjukvara och kommunikation

**FFI** Fordonsstrategisk  
Forskning och  
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FMG

STRETT

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>5</b>
<b>5 Mål .....</b>	<b>5</b>
5.1 Projektets bidrag till målen för delprogrammet .....	5
5.2 Utveckling av modulär funktionsarkitektur .....	5
5.3 Kombinerad styr- och systemutveckling .....	6
5.4 Utveckling av virtuella arenor för simulering och verifiering.....	6
5.5 Informationsarkitektur.....	6
<b>6 Resultat och måluppfyllelse .....</b>	<b>7</b>
<b>7 Spridning och publicering .....</b>	<b>8</b>
7.1 Kunskaps- och resultatspridning.....	8
7.2 Publikationer.....	8
<b>8 Slutsatser och fortsatt forskning .....</b>	<b>8</b>
<b>9 Deltagande parter och kontaktpersoner.....</b>	<b>8</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

Projektet har utvecklat och implementerat hur man optimalt utnyttjar och styr gasväxlingsystemet hos en effektiv tung förbränningsmotor med avancerat ventildrivtåg i en modulär fordonsframdrivningsarkitektur. Genom en väl genomarbetad/-tänkt arkitektur möjliggörs även återkoppling av förbränningsmotorns egenskaper och begränsningar till de övergripande fordonsframdrivningsfunktionerna, som t.ex. "Active prediction", Hybrid, eller platooning som i sin tur balanserar momentbehovet från fordonets tillgänglig momentgeneratorer, som t.ex. förbränningsmotor och elmaskiner i en hybrid. På så sätt kommer bl.a. begränsningar till följd av kall/lågpresterande avgasefterbehandling kunna hanteras på fordonsnivå, något som har stor potential i bränslesparingshänseende. Även under betydligt kortare scenarier än de som behandlas i "Active prediction", som typiskt är åtminstone från ett par kilometer upp till hela köruppdrag långa, är information om aktuella begränsningar och möjligheter intressanta/nödvändiga. Ett sådant scenario är ett växlingsförlopp. Huvudpart är Scania CV AB och samarbetspartner är Linköpings Universitet. Projektet pågick 2017-04-01 – 2018-12-31 till en total kostnad av 5869 tSEK och stöd från Vinnova på 2300 tSEK.

## 2 Executive summary in English

The BRAVE project has been aimed at developing an optimal control for the air handling of an effective heavy duty diesel engine with advanced valve train in a modular vehicle propulsion architecture. A well designed control architecture enables effective feedback and utilization of the properties and limitations of the combustion engine into the high level energy minimizing propulsion strategies, such as active prediction/look ahead, platooning and/or hybridization, with minimal dependencies. In this way limitations such as cold engine after treatment, i.e. thermal management, can be automatically handled on a vehicle level with a significant fuel saving potential. Information of current subsystem limitations are also of interest in shorter scenarios than those collected under the term "Active prediction", that typically ranges from a couple of kilometers up to entire transport missions. An example of such a scenario is a gear shifting sequence.

The core of the combustion engine is the cylinder, where the actual combustion occurs, and the effectiveness of the combustion, i.e. fuel consumption optimality and emission control/compliance, is directly dependent on the trapped gas mass and composition. Hence the focus on the measurement and estimation of the in cylinder trapped mass and composition, especially with the incorporation of advanced valvetrains the fundamentally changes the cylinder breathing.

In the project three conference papers have been produced, of which two are published, and two master theses. Beside these easily measurable deliveries the steering group of the project are very satisfied that the collaboration between Vehicular systems at Linköping university and Scania has worked very well and that the intention to continue with future collaborations has been secured and explicitly stated as the project leader, Erik Höckerdal, has been given a position as adjunct lecturer at vehicular systems and, as part of that, taken the role as area coordinator for the automotive part of the Vinnova and FFI funded competence center LINK-SIC.

## 3 Bakgrund

I den ständiga strävan mot effektivare och miljövänligare transporter behöver varje delsystem i framdrivningskedjan prestera sitt yttersta. För fordonsindustrin och allt mer sofistikerade drivlinor innebär det, förutom introduktion av avancerad avgasefterbehandling, intelligenta farthållare, hybridisering, spillvärmeåtervinning, etc, även en övergripande samordning av samtliga komponenter i drivlinan för att inte riskera att de olika delarna i framdrivningen motverkar

varandra. För att möjliggöra denna samordning behöver varje delsystem väldefinierade kommunikationsinterface, förmågan att kommunicera sina förmågor och begränsningar av betydelse för övriga delar av fordonet, samt att leverera sina åtaganden med hög precision. Dvs optimal drift av varje delsystem var för sig ger nödvändigtvis inte optimal framdrivning av det totala fordonet.

En idag och framöver mycket viktig komponent i många drivlinskonfigurationer är förbränningsmotorn, kanske främst då energitätheten i flytande bränsle är helt i en egen klass i förhållande till t.ex. batterier, och det är därför viktigt att anpassa den till att kunna samverka med övriga komponenter i drivlinan på bästa sätt. Det innebär förutom introduktionen av nya delkomponenter, som avancerad ventildrivtåg, även optimal styrning av motorns alla delsystem, för att ytterligare lyfta dess förmåga att generera arbete med minimala emissioner och förbrukning, men även att nya krav på hur motorn ska köras i förhållande till övriga tillgängliga momentgeneratorer i det aktuella fordonet.

Många projekt idag syftar till ta fram metoder för optimal framdrivning av fordon, både med hybrid och konventionell drivlina, genom att använda omgivningsinformation, med eller utan hänsyn till omgivande trafik, t.ex. Prediktiv energiminimerande hastighetsstyrning i dynamisk omgivning (2015-02325). Det har dock visat sig att det finns en stor intern begränsning så fort en icke-stökiometrisk förbränningsmotor finns med. Nämligen att dessa motorers emissioner är starkt beroende av deras avgasefterbehandlingssystem som måste köras i ett specificerat temperaturintervall för att uppnå tillräcklig omvandlingsgrad/prestanda. Är avgasefterbehandlingen t.ex. för kall, och därmed inte förmår reducera NO<sub>x</sub>, tvingas man köra motorn ineffektivt både för att höja temperaturen, så att omvandlingsförmågan höjs, men även genom att köra motorn med lägre förbränningsemissioner, vilka båda är förknippade med höga bränslestraff.

Bortsett från kraven på optimala styrstrategier på lång sikt (hela transportuppdrag) för konventionella och hybrida drivlinor, finns det även krav på optimala styrstrategier med betydligt kortare tidshorisont som t.ex. ett växlingsförlopp. I växlingsfallet är inte bränsleförbrukning det centrala utan det blir snarare en fråga om snabbhet, komfort och begränsningar i gasväxlingskomponenter, som t.ex. turbo, som hamnar i fokus.

Styckena ovan behandlar precis de två problem BRAVE behandlar;

- Introduktion av avancerade/variabla ventildrivtåg, eller variable valve timing (VVT) för att förbättra förbränningsmotorns förmåga att kunna producera moment billigt med bivillkor på ett effektivt fungerande avgasefterbehandlingssystem (på lång horisont) och som samtidigt hanterar snabba transienter (som t.ex. ett växlingsförlopp).
- Framtagning av en mjukvaruarkitektur inklusive kommunikationsinterface som möjliggör kommunikation av egenskaper och begränsningar mellan förbränningsmotor och övergripande framdrivningsoptimering, som t.ex. balans mellan förbränningsmotor och elmaskin i en hybrid drivlina på längre sikt (från en horisont på ett par kilometer till hela transportuppdrag).

Båda punkterna stödjer en bred variantflora, från enkla ventildrivtåg utan frihetsgrader till mer avancerade med variabel timing och en uppsjö av drivlinekonfigurationer med allt från konventionella drivlinor med endast förbränningsmotor och växellåda till olika hybridvarianter. D.v.s. modularisering och flexibilitet är viktiga inslag och ger komplexitet på både låg (förbränningsmotorgasväxling) och hög nivå (fordonsframdrivning) samt i samspelet mellan de båda nivåerna.

En grundhypotes i projektet är minimala beroenden, som t.ex. att modellera och mäta storheter av betydelse på ett genomtänkt sätt. På så sätt kan man undvika att bygga in långtgående beroenden i systemet som strider mot modulariseringskonceptet och gör testbarhet och underhållbarhet svårt. I fallet VVT som i mångt och mycket kokar ner till att beräkna hur mycket gas som fångats i cylindern, dess sammansättning, samt hur mycket som eventuellt strömmar rakt igenom. Här skulle man t.ex. kunna få bort beroenden till turbo och trottell mm genom att mäta trycket i insugsrör respektive avgassamlare när ventilerna är öppna. Medan det för interfacefrågan för motor gentemot det övriga fordonet handlar om att hitta de centrala storheterna som påverkar den övergripande strategin, som t.ex. avgasefterbehandlingssystemets värmebehov och hur man bäst uppfyller dessa.

## 4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Syftet med projektet är att ta fram en modulär styrsystemsstrategi för optimal gasväxlingsstyrning med hänsyn till de inneboende begränsningar och egenskaper som varje delsystem har.

Projektet genomförs med en senior forskare på heltid vid Linköpings Universitet och en industriell arbetsgrupp. Arbetsuppdelningen är sådan att universitetet utvecklar metoder och modeller för optimal gasväxlingsreglering och industrin arbetar med implementation, tänkbara applikationer samt övergripande systemering för integration i fordonsdrivlina.

Genom tät samverkan mellan de akademiska och industriella parterna säkras informations- och tekniköverföringen mellan de båda parterna.

## 5 Mål

Projektet bidrar med en funktionsarkitektur som ger bättre möjligheter till optimal framdrivning av fordon med konventionell eller hybrid drivlina med avseende på bränsleförbrukning och emissioner. Detta genom beaktande av både interna systemegenskaper (förbränningsmotor, avgasefterbehandling, elmaskin, batteri, etc.) och fordons-/omgivningsinformation (fordonsvikt, vägtopografi, etc.). Något som ligger väl i linje med de tuffa miljöutmaningarna som finns och den i fordonen allt bättre omvärldsinformation som finns bl.a. i och med den höga graden av uppkoppling.

Projektet stärker också samverkan mellan industri och akademi. Speciellt förstärks samarbetet mellan avdelningen för Fordonssystem vid LiU och avdelningarna för drivlinestyrning på Scania. Här finns redan idag ett väletablerat samarbete som båda parter gärna förstärker.

### 5.1 Projektets bidrag till målen för delprogrammet

Projektet bidrar väsentligen till flera av målen för delprogrammet inom Komplex reglering. Syftet med projektet är att möjliggöra vidare utveckling av övergripande regelsystem för fordonsframdrivning, t.ex. intelligenta farthållare, samt att utveckla och integrera VVT som ett led i att optimalt kunna utnyttja dessa frihetsgrader i förbränningsmotorn och dess samverkan med moderna icke-stökiomtriska avgasefterbehandlingssystem. Gemensamt för många produktionssatta system för hybrider och intelligenta farthållare (TRL 9) är att de idag inte har någon direkt koppling eller kännedom om avgasefterbehandlingens begränsningar, något som ofta gör att den predikterade besparingen inte infinner sig.

VVT i sig är känt och finns på många moderna personbilmotorer, både bensin och diesel, och har börjat infinna sig även i det tyngre segmentet (TRL 9). Introduktionen av VVT ger nya möjligheter för delsystemet förbränningsmotor/avgasefterbehandling att leverera moment och emissioner till framdrivning av konventionella och hybrida fordon. Dock finns ett behov av att kommunicera dess möjligheter och begränsningar så att den komplexa högnivåregleringen kan balansera de olika moment-/energikällorna mot varandra för att uppnå den bästa totalförbrukningen. Trots den höga TRL-nivå som gäller för de ingående delkomponenterna bedöms de frågor som kommer att studeras i projektet ligga på TRL 2 vid projektstart och arbetas upp till TRL 4 vid avslutat projekt.

Nedan beskrivs hur projektet är relevant för delprogrammets forskningsområden.

### 5.2 Utveckling av modulär funktionsarkitektur

Inom projektet kommer funktionsarkitekturer för förbränningsmotorn som momentgenerator med bivillkor på emissioner, avgastemperaturer etc. studeras och utvecklas. T.ex. kommer nya funktioner för återrapportering av begränsningar att utvecklas, analyseras och utvärderas. Historiskt har man ofta, direkt eller indirekt, satt ett till ett mellan förbränningsmotor och fordon, något som numera inte är sant. Ett fordons framdrivning kan bestå av ren elemotordrift, ren förbränningsmotordrift eller kombinationer därav. På fordonsnivå finns alltså ett tydligt krav på modularisering och att förbränningsmotorns styrsystemsarkitektur behöver anpassa sig till detta. Tittar man vidare på förbränningsmotorn och den uppsjö av applikationer i vilka den används, framdrivning hybrid/konventionell drivlina, elkraftgenerering, grävmaskiner, stenkrossar och

båtar, så har varje segment sina krav på prestanda, livslängd, emissioner och kostnad. Viktar man samman alla dessa krav i respektive segment kommer man fram till olika behov av mer eller mindre avancerade ställdonskoncept. Även på en lägre nivå inom förbränningsmotorn finns det krav på modularisering, något som är speciellt tydligt i gasväxlingssystem med eller utan variabelt ventildrivtåg. Med variabla ventiltider kan man på ett fundamentalt sätt ändra det sätt på vilket motorn andas. Något som ger en direkt påverkan på samtliga delsystem i förbränningsmotorn och måste hanteras. Det finns även andra ställdon kring motorns andning som finns eller ej beroende på applikation och modularisering inom styrsystemsarkitektur är därmed mycket viktig. Projektet ämnar behandla båda dessa, dvs fordonsframdrivnings- och förbränningsmotornivå, ur ett modulärt funktionsarkitekturperspektiv.

### 5.3 Kombinerad styr- och systemutveckling

I och med de extra frihetsgrader som VVT innebär för förbränningsmotorn finns en stor vinst i modellbaserad, robust och feltolerant reglering, reglerutveckling och diagnos, både för att hålla nere dimensionsrymden i vilken optimum söks och reglering behöver kunna ske, men även i kalibrerhänseende för de resulterade funktionerna. Båda dessa ställer krav på tillämplad signalbehandling och systemidentifiering med tillståndsskattning och eventuellt sensorfusion. Med hjälp av virtuella simulerings- och testmiljöer som utvecklas under projektet kommer nya robusta regler- och diagnoskoncept kunna utvecklas mycket fortare.

### 5.4 Utveckling av virtuella arenor för simulering och verifiering

I projektet kommer en förbränningsmotorsimuleringsmodell vidareutvecklas för design, analys och utvärdering av reglerstrategier och gasskattningsalgoritmer. Fokus kommer i tidigt stadiet ligga på samoptimering av VVT-system och reglering för att säkerställa/verifiera bl.a. felkänslighet. Simuleringsmiljön kommer att bestå av en dynamisk förbränningsmotormodell för att beskriva gasväxling och förbränning, samt en kommunikationsmodell som beskriver den information som finns tillgänglig för reglering och skattning. Med hjälp av simuleringsmiljön kommer metoder för reglering, skattning och diagnos implementeras och utvärderas. Både modell och utvecklade styr- och skattningsalgoritmer kommer sedan verifieras genom mätning i motorprovcell.

### 5.5 Informationsarkitektur

Flera externa projekt som syftar till optimal fordonsframdrivning i olika miljöer, t.ex. Prediktiv energiminimerande hastighetsstyrning i dynamisk omgivning (2015-02325), är beroende av information om fordonets interna signaler och tillstånd. T.ex. är information om aktuell och framtida bränsleförbrukning för förbränningsmotorn (som följd av bland annat behov av värmning av avgas efterbehandlingssystem eller låga råemissioner från motorn på grund av låg omvandlingsgrad i katalysatorn) och tillgängligt max- och minmoment samt hur snabbt man kan få det viktigt. Projekt som Prediktiv energiminimerande hastighetsstyrning i dynamisk omgivning (2015-02325) ställer krav på den här typen av information och det här projektet utreder hur förbränningsmotorn levererar denna information med bästa möjliga kvalitet och noggrannhet. Motsvarande information om förbränningsmotorns möjligheter och begränsningar är intressanta i kortare perspektiv än motsvarande "Active prediction", t.ex. under ett växlingsförlopp. Förbränningsmotorn måste där kunna följa önskad moment- och varvtalsbegäran från växellåda för att växlingarna ska gå fort och vara komfortabla, samt meddela sina egna begränsningar.

Projektet har följande konkreta och mätbara mål:

Utveckling av metoder och funktionsarkitektur för skattning av i cylindern fångad gasmassa/-sammansättning för att kunna förmedla förbränningsmotorns möjligheter och begränsningar att leverera moment och till vilken kostnad/bränsleförbrukning. Utvärdering av de utvecklade metoderna och funktionsarkitekturen kommer testas för "Active prediction" och växlingsförlopp, antingen i simuleringsmiljö eller i motorprovcell/fordon.

Förutom bränsleförbrukningsvinst på 1-2% i verklig drift kommer 3 st vetenskapliga artiklar och konferensbidrag publiceras.

## 6 Resultat och måluppfyllelse

Förutom att starkt bidra till förståelsen för delsystems beroende och begränsningar, i det här fallet applicerat på förbränningsmotor med avancerat ventildrivtåg i en hybridiserad drivlinearkitektur, med leveranser i form av två examensarbeten och tre artiklar, så har projektet bidragit till ett ökat samarbete och integration mellan Linköpings universitet och Scania CV AB. Detta markeras tydligt genom att 1) Projektets projektledare Erik Höckerdal, sedan februari 2018 har en 10-% tjänst som adjungerad universitetslektor vid institutionen för systemteknik. Vidare har Erik även tagit över ämneskoordineringsrollen inom det Vinnova finansierade kompetenscentret LINK-SIC efter att tidigare ämneskoordinatören Andreas Thomasson bytt tjänst.

## 7 Spridning och publicering

### 7.1 Kunskaps- och resultatspridning

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

### 7.2 Publikationer

- Cylinder state estimation from measured cylinder pressure traces - A Survey, presenterad på SAE WC 2017.
- Cylinder Pressure Based Cylinder Charge Estimation in Diesel Engines with Dual Independent Variable Valve Timing, presenterad på SAE WC 2018.
- Cylinder Charge Estimation in Diesel Engines with Dual Independent Variable Valve Timing, inskickad till IFAC AAC 2019.
- Estimation of In-Cylinder Trapped Mass using Cylinder Pressure Measurements, examensarbete 2017.
- Estimation of Air Mass Flow in Engines with Variable Valve Timing, examensarbete 2018.

## 8 Slutsatser och fortsatt forskning

Projektets styrgrupp anser att projektet fortlöpt väl och levererat enligt plan med 3 artiklar och 3 examensarbeten. Vidare har samarbetet mellan Scania och Linköpings universitet stärkts i och med att projektets projektledare erhållit en anställning som adjungerad lektor vid universitetet och tagit över en koordinerande roll i det större Vinnovafinansierade kompetenscentret LINK-SIC. Vidare forskningssamarbeten kommer att identifieras i den befintliga forskningsmiljön som LINK-SIC erbjuder.

## 9 Deltagande parter och kontaktpersoner

Deltagande parter var Scania CV AB med Erik Höckerdal ([erik.hockerdal@scania.com](mailto:erik.hockerdal@scania.com)) och Linköpings universitet med Andreas Thomasson och Professor Lars Eriksson ([lars.eriksson@liu.se](mailto:lars.eriksson@liu.se)).