

Energimyndighetens titel på projektet – svenska COVER- Bedömning av CO2 och energieffektivitet hos fordon i verklig användning	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska COVER – Real world CO2 assessment and Vehicle Energy efficiency	
Universitet/högskola/företag Volvo Technology AB	Avdelning/institution BF61000, Volvo Powertrain Strategic Development
Adress Prästvägen 8, 405 08 Göteborg	
Namn på projektledare Rickard Andersson	
Namn på ev övriga projektdeltagare Anders Eriksson (Volvo Group), Anders Jensen (Scania), Jan Andersson (Volvo Cars), Fredrik Bruzelius (VTI), Arne Nåbo (VTI), Bengt Jacobson (Chalmers), Luigi Romano (Chalmers), Pär Pettersson (Chalmers), Pär Johannesson (RISE), Fabio Santandrea (RISE)	
Nyckelord: 5-7 st Operating cycle, stochastic operating cycle, mission classification, road transport mission, stochastic modelling	

Förord

Projektet kom till som ett svar på samhällets allt större behov att minska CO2 och energiförbrukningen för vägtransporter. Ett tidigare projekt inom området, OCEAN (FFI projekt), visade på vilka stora möjligheter det finns att minska verklig bränsleförbrukning för transporter om man lyckas matcha rätt fordon till rätt uppdrag med hjälp av ett generellt format (OC) som beskriver användning. COVER tog vid för att vidareutveckla formatet och forska fram en kedja av användbara metoder. Under de 4.5 år som projektet pågått har mycket av tillhörande forskningen visat sig vara mer och mer efterfrågat av industrin för att i allt snabbare takt möjliggöra minskning av CO2. Trots externa svårigheter så som Covid-19 nedstängningar och begränsade möjligheter till fysisk kontakt har projektet fortskridit och resultat har producerats.

Projektdeltagarna vill passa på att framföra ett stort tack till några framträdande aktörer som bidragit till ett lyckosamt och lärorikt projekt:

- Energimyndigheten. Fordonsstrategisk forskning och innovation (FFI), delprogrammet Energi & Miljö, har delfinansierat projektet.
- Referensgruppen som bestått av kompetenta, engagerade och hjälpsamma medarbetare från alla partners.
- Technische University of Graz (TUG) för utvecklande diskussioner kring forskningen i allmänhet och som opponent för en av våra doktorander.

- Examensjobbarna som på kort tid lyckats sätta sig in i komplexa frågeställningar och genomföra nyttiga studier som tagit projektet framåt. Dessutom har de kunnat applicera och visa nyttan med framtagna metoder.

Innehållsförteckning

Förord.....	1
Innehållsförteckning	2
Sammanfattning	2
Summary	3
Inledning/Bakgrund	4
Genomförande	6
WP1: Projektledning	7
WP2: Metoder	7
WP3: Stokastiska Modeller	7
WP4: Modell-integration and Metod-provning	8
WP5: Datainsamling	8
WP6: Use Cases	9
Resultat	9
Diskussion.....	15
Publikationslista.....	16
OC formatet	16
Däckmodeller	20
Studentarbeten	24
Referenser, källor.....	28
Bilagor	28

Sammanfattning

Många länder och regioner har tagit klimatutmaningen genom att sätta mål för att minska koldioxid från transporter. Att kvantifiera och minska koldioxidutsläppen är inte enbart ett krav från lagstiftning utan även från kunder. CO2 deklarerings- och energiklassningssystem utvecklas kontinuerligt. Den verkliga energiförbrukningen av fordon beror emellertid på användningen av fordonet och följer således inte alltid deklarerade värdena. Fordonsindustrin har därför under lång tid sökt efter lämpliga metoder och lämplig matematik för att beskriva transportuppdrag och verklig fordonsanvändning.

Med hjälp av sådana metoder kan man se till att utveckla och sälja fordon som matchar med kundens verkliga användning. Kunden får ett fordon som inte är överdimensionerat samt innehåller funktionalitet som passar vägförhållanden, transportuppdrag, trafik etc. Detta anses leda till CO2 utsläppen reduceras samt energi-effektivisering.

OCEAN-projektet (FFI projekt) gjorde en första ansats till att finna en matematisk bra beskrivning och kom fram till ett generellt användbart format som kallas OC (Operation Cycle). COVER-projektet har fokuserat på att vidareutveckla OC-formatet samt bygga avancerade metoder och processer runt detta för uppskattning av koldioxidutsläpp, energiförbrukning och bränsleförbrukning i verkliga förhållanden.

För att stödja utvecklingen av OC-formatet och metoderna som används för att skapa OC-filerna, har loggade fälttestdata använts. Som resultat av COVER inkluderar OC idag de validerade parametrarna höjd över havet, hastighetsprofil (från lagliga hastighetsgränser på väg), fordonets totala massa, vägens kurvatur, stopp-platser, stopp-tiden, lufttemperatur, vindhastighet och trafikflöde. Ett stokastiskt tillvägagångssätt (att använda vid behov) har tagits fram. Metoder har utvecklats som gör det möjligt att gå från kund-specifikation till stokastisk beskrivning och vidare till deterministisk simulerings-fil, och omvänt.

Nyttan av OC formatet och tillhörande metoder har testats i en rad olika tillämpningar. Bland annat har en studie visat att man för ett specifikt åkeri, kan matcha ett dieseldrivet-fordon som skulle minska CO₂ med 10%. Denna siffra kan bli långt över 30% om man även tänker sig att göra fordonet helt eller delvis elektriskt. OC-formatet har även visat på användbarhet för tillämpningar inom kontroll-strategi utveckling. Dessutom har det påvisats potential att använda det i range-prediktion sammanhang.

I nästa steg måste OC formatet utvecklas för att få med alla viktiga parametrar för att med stor precision kunna prediktera energiförbrukning för hel-elektriska drivlinor och vara ett hjälpmedel för dimensionering av ladd-infrastruktur. För att ytterligare stärka och befästa angreppssättet med OC formatet behövs ytterligare validering och fallstudier, där stor mängd data från väg-data-leverantörer är en viktig komponent för att lyckas.

Summary

Many countries and regions have taken on the climate challenge by setting goals to reduce carbon dioxide from transport. Quantifying and reducing carbon dioxide emissions is not only a requirement from legislation but also from customers. CO₂ declaration and energy classification systems are continuously developed. However, the actual energy consumption of vehicles depends on the use of the vehicle and thus does not always follow the declared values. The automotive industry has therefore for a long time searched for suitable methods and suitable mathematics to describe transport assignments and actual vehicle use.

With the help of such methods, you can ensure that you develop and sell vehicles that match the customer's actual use. The customer receives a vehicle that is not oversized and contains functionality that suits road conditions, transport assignments, traffic, etc. This is considered to lead to CO₂ emissions being reduced and energy efficiency.

The OCEAN project made a first attempt to find a mathematically good description and came up with a generally useful format called OC (Operation Cycle). The COVER project has focused on further developing the OC format and building advanced methods and processes around this for estimating carbon dioxide emissions, energy consumption and fuel consumption in real conditions.

To support the development of the OC format and the methods used to create the OC files, logged field test data has been used. As a result of COVER, OC today includes the validated parameters altitude, speed profile (from legal speed limits on the road), total vehicle mass, road curvature, stops, stop time, air temperature, wind speed and traffic flow. A stochastic approach (to use when needed) has been developed. Methods have been developed that make it possible to go from customer specification to stochastic description and further on to deterministic simulation file, and vice versa.

The usefulness of the OC format and associated methods have been tested in several different applications. Among other things, a study has shown that for a specific haulage company, you can match a diesel-powered vehicle that would reduce CO₂ by 10%. This figure can be well over 30% if you also intend to make the vehicle fully or partially electric. The OC format has also demonstrated usability for applications in control strategy development. In addition, the potential to use it in range prediction contexts has been demonstrated.

In the next step, the OC format must be developed to include all important parameters to be able to predict energy consumption for full electric powertrains with great precision and be a support for infrastructure development. To further strengthen and consolidate the approach with the OC format, further validation and case studies are needed, where a large amount of data from road data providers is an important component for success.

Inledning/Bakgrund

Koldioxidutsläpp är en stor utmaning för samhället och fordonsindustrin. År 2014 stod godstransporter inom EU på väg för nära 3/4 av den totala landtransporten i ton·km räknat [1]. Behovet av personlig rörlighet ökar stadigt också och då främst med personbilar. Inom EU har personlig rörlighet ökat från 17 km per dag 1970 till 35 km 1998 och ca 80 % av det gjordes av bilar [2].

Samtidigt har många länder och regioner tagit klimatutmaningen genom att sätta mål för att minska koldioxid från transporter. Ett EU-mål är att utsläppen av koldioxid från nya tunga fordon inom unionen ska vara 30 procent lägre år 2030 jämfört med 2019. Framtida fordon måste därför bestå av allt större del elektrisk framdrivning och/eller använda icke-fossila bränslen. Värt att nämna är att elektrisk framdrivning även hjälper de lokala föroreningsproblemen.

Sverige har även mål inom energieffektivisering [1]. Dessa säger minst 55 % energieffektivisering (kWh/fordonskilometer) till år 2030 genom konkurrenskraftiga personbilar (referensår 2008) samt 50 % energieffektivisering (kWh/tonkilometer) från kommersiella fordon (lastbilar, bussar och

arbetsmaskiner) till år 2030. Dessa 50 % delas ungefär lika mellan fordonsutveckling och ökad transporteffektivitet (referensår 2008).

CO₂ deklarerings- och energiklassningssystem för tunga lastbilar utvecklas kontinuerligt, t.ex. VECTO i EU [4]. Att kvantifiera och minska koldioxidutsläppen är inte enbart ett krav från lagstiftning utan även från kunder. Den verkliga bränsleförbrukningen av fordon beror emellertid på användningen av fordonet och följer således inte alltid deklarerade värdena [5]. Dessutom skiljer sig koldioxidutsläppscertifieringen också från de verkliga värdenas utsläpp på grund av icke-flexibla regler och skillnaderna mellan körning i verkligheten och standardiserade körcykler. Den nuvarande certifieringsmetoden erkänner inte alltid koldioxidminskning från ny teknik, vilket sannolikt kommer att minska drivkraften för fordonsutveckling och innovation.

Fordonsindustrin har därför under lång tid sökt efter lämpliga metoder och lämplig matematik för att beskriva transportuppdrag och verklig fordonsanvändning. Viktiga egenskaper att beskriva är CO₂ utsläpp, bränsleförbrukning, energiförbrukning, körbarhet, prestanda, livslängd och emissioner. Tyvärr har det inte varit möjligt att hitta någon matematisk beskrivning som kan beskriva fordonets användning 24 timmar om dygnet, 7 dagar i veckan som möter kraven. Bland kraven märks detaljrikedom, pålitlighet, beräkningsprestanda och lagringseffektivitet.

OCEAN-projektet gjorde en första ansats till att finna en väl fungerande matematisk beskrivning. Resultatet var ett generellt användbart format som kallas OC (Operation Cycle). För att kunna studera fordons användning och hur de interagerar med omgivningen så innehåller OC formatet en uppsättning modeller och komplexitetsgraden är väsentligt högre än den mer konventionella metoden baserad på körcykler (hastighetsprofiler).

Metoden att använda OC formatet ger en mer fullständig beskrivning av användningen, eller transportbehovet som finns. Detta möjliggör att metoden kan appliceras på problemet att finna en korrekt konfiguration av fordon till ett behov. Metoden har dock en vidare användning, där den kan appliceras på utvecklingen av fordon för att matcha behovet, och även för att förstå framtida användning i befintliga fordon (text range estimation).

För att utveckla formatet och inkludera mer parametrar så har även fordonsegenskaper studerats. En av dessa är däckens beskaffenhet så som förluster vid så kallat slipp samt rullmotstånd. Formatet har utökats med avseende på trafik och väder.

OC formatet har utvecklats efter några enkla principer. Den första är ett komplett oberoende av fordonets prestanda och beskaffenhet. Detta gör att formatet och metoderna är applicerbara på alla vägtransportslag (personbilar, lastbilar, bussar mm.). För konventionella körcykler så ingår implicit fordonets prestanda i hastighetsprofilen. För OC formatet betyder detta att de parametrar som inte direkt kan översättas (i en simulering) till laster på energiförbrukningen behöver tolkas av en förarmodell. Ett exempel på detta är vägens kurvor som i verkligheten

påverkar hur fort man kör. Problematiken med förarmodeller och dess validitet i denna kontext har studerats i projektet.

En annan princip som OC formatet har utvecklats efter är enkelhet. Eftersom formatet är ett tydligt steg mot något mer komplext jämfört med det konventionella så är kravet på enkelhet en naturlig princip att använda. Konkret ger det en utmaning i att förstå hur mycket komplexitet som behövs för att uttrycka fordonsanvändningen på ett så bra sätt som möjligt. Tack vare den komplexitet som formatet har, finns nu en flexibilitet och en struktur som inte kommer att begränsa för framtida revisioner och modifieringar.

Eftersom komplexitetsgraden i formatet är större än den konventionella körcykeln har vikt också lagts vid att få formatet så generellt, och applicerbart som möjligt. För att åstadkomma detta består formatet av 3 nivåer av komplexitet i sin beskrivning. Den översta nivån knyter an till befintliga system för att beskriva användning hos våra fordonstillverkare, medan nästa nivå kan beskriva variation på ett effektivt sätt. Den tredje nivån ger en detaljerad beskrivning som möjliggör simulering och konkret utvärdering av fordon. Projektet har ägnat kraft åt att få dessa 3 beskrivningar i formatet så konsistenta som möjligt och även på ett konsekvent vis gå mellan beskrivningarna.

Tack vare projektets arbete kan en OC-fil skapas från information från kunduppdrag-specifikation (beskrivning på en hög nivå), loggade fordonsdata från fordonskund, GPS-spår från fordonskund, antagna rutter baserat på erfarenhet från fordonsindustrin samt input från publika vägdata-baser (topografi, vind, vägkvalité, legal hastighet etc.). Allt detta möjliggör en palett av verktyg som tillämpas för olika ändamål

Med hjälp av formatet kan man t.ex. se till att utveckla och sälja fordon som matchar med kundens verkliga användning. Kunden får ett fordon som inte är överdimensionerat samt innehåller funktionalitet som passar vägförhållanden, transportuppdrag, trafik etc. Detta anses leda till CO2 reduktion samt energi-effektivisering, både i produktion och i användning.

Genomförande

Projektet delades upp i 6 arbetspaket, WP1 till WP6, se tabellerna nedan. Den gemensamma drivkraften för alla arbetspaket var att utveckla metoder, modeller och processer (för användning framförallt vid fordonsutveckling och försäljning) som möjliggör energieffektiva transporter. Både det stokastiska och det deterministiska OC formatet, som först presenterades i OCEAN projektet, har utvecklats kontinuerligt. En central input till utvecklingen är all data som loggas från fordon på väg. Förarsimulator och simuleringsverktyg har använts för utveckling och validering. Projektet har haft tätt samarbete mellan arbetspaketen, där regelbundna möten varit en del av verksamheten. En styrgrupp sattes ihop med 4 stormöten per år.

WP1: Projektledning

WP1	Projektledning
Ansvarig	Volvo Technology
Övriga deltagare	Alla andra deltar genom möten och rapportering till Volvo Technology. Chalmers, RISE och VTI gör merparten av resultatspridningen. Chalmers examinerar och sköter det akademiska.
Beskrivning av innehåll	Projektledning, budget och leverans-styrning.
Metod/angreppssätt	Styrgruppsmöten och rapporter till Energimyndigheten. Resultatspridningen via internationella publikationer och akademiska avhandlingar.
Leverans	Publikationer, 1 doktorsexamen och 1 licentiatexamen

WP2: Metoder

WP2	Metoder
Ansvarig	Chalmers
Övriga deltagare	RISE för stokastiska modeller. Volvo Technology, VCC, Scania för kravsättning.
Beskrivning av innehåll	Utveckling av metoder och processer runt OC (Operating Cycle) formatet inom produktutveckling och försäljning.
Metod/angreppssätt	Utveckling baserat på kravinsamling runt hur OC formatet förväntas kunna komma till insats, framförallt inom produktutveckling och försäljning. Arbetet bedrevs i korta utvecklingscykler med feedback från WP4 (industrin).
Leverans	Metoder /processer, scripts, modeller etc.

WP3: Stokastiska Modeller

WP3	Stokastiska Modeller
Ansvarig	RISE
Övriga deltagare	Chalmers
Beskrivning av innehåll	Utveckling och integration av stokastiska modeller i COVER metodologin och processerna.
Metod/angreppssätt	Byggde förståelse för de stokastiska processerna, liksom representationen i OC formatet och klassificering. Det genererade resultatet från de stokastiska modellerna

	verifierades genom jämförelse med log data från verklig körning.
Leverans	Stokastiska modeller (klassificerings script, genererings script).

WP4: Modell-integration and Metod-provning

WP4	Modell-integration and Metod-provning
Ansvarig	VTI
Övriga deltagare	Chalmers
Beskrivning av innehåll	Modellintegration och testning av metoder och processer: <ul style="list-style-type: none"> - Utveckla modeller i formatet för att stödja utvärderingsmetoder - Verifiera, utvärdera och utveckla förarmodellen - Studera och kvantifiera rullmotstånds-mekanismen
Metod/angreppssätt	Arbeta omväxlande i off-line simulering (tex. förarmodell) och on-line körsimulator-miljö samt mätningar (rullmotstånd) och logfiler
Leverans	Genomförda praktiska moment (simulatorstudie, rullmotsåndsmätningar, utvärdering av logdata) samt de rapporter och publikationer som dessa genererats

WP5: Datainsamling

WP5	Datainsamling
Ansvarig	Volvo Technology
Övriga deltagare	VCC, Scania, VTI (data från simulator-försök), Chalmers
Beskrivning av innehåll	Datainsamling från verklig körning, inklusive information om omgivande trafik och andra signaler. Ett visst åkeri med lastbilar användes som djupstudiefall. Datainsamling också från simulortester och speciella provfordon med videologgning av trafiksituation.
Metod/angreppssätt	Installera fordon med mätutrustning och bygga databas för att lagra och kommunicera all data
Leverans	En mycket stor mängd log-data, producerad under flera års körning under projektiden.

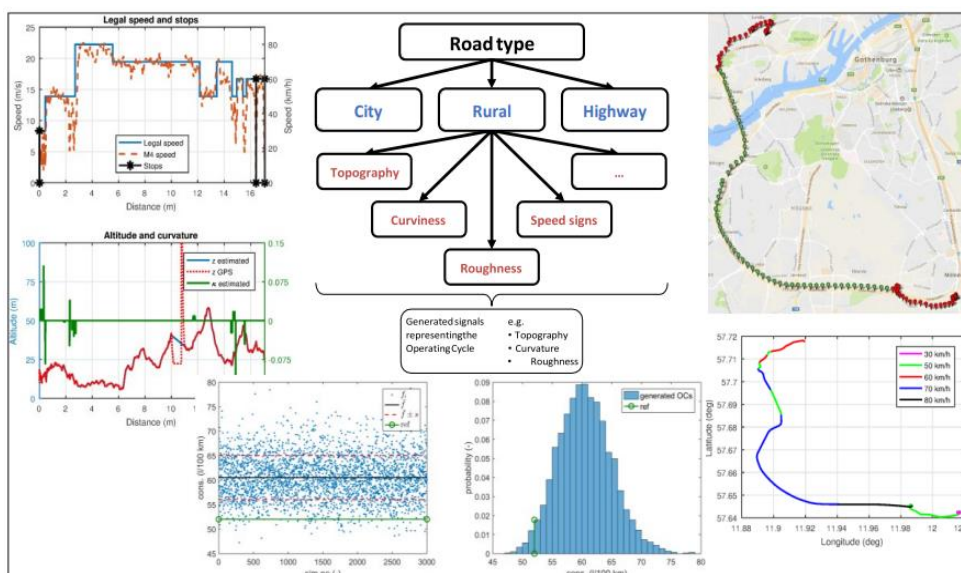
WP6: Use Cases

WP6	Use Cases / Demonstrationer
Ansvarig	Chalmers
Övriga deltagare	Volvo Technology, VCC, Scania
Beskrivning av innehåll	Användarfall som demonstrerar användandet av utvecklade metoder, processer och modeller när det kommer till att göra bedömning av CO2 för en lastbil i verklig miljö. Demonstration av hur mycket ett alternativt fordon skulle kunna minska CO2.
Metod/angreppssätt	Fordonstillverkarna föreslog användarfall och bidrog med fordonsspecifikationer. Chalmers applicerade metoderna från COVER.
Leverans	Analyser, publikationer och rapporter.

Resultat

COVER-projektet har fokuserat på att vidareutveckla OC-formatet samt bygga avancerade metoder och processer runt detta för uppskattning av koldioxidutsläpp, energiförbrukning och bränsleförbrukning i verkliga förhållanden.

För att stödja utvecklingen av OC-formatet och metoderna som används för att skapa OC-filerna, har loggad fältprovdata använts. Den insamlade informationen är enorm, med en omfattning på mer än 15 000 loggfiler. Varje fil loggar ungefär 20 olika signaler. En schematisk bild över OC formatet och dess koppling till log data återfinns i [Figur 1].



Figur 1. Illustration av parameter-plottar och figurer som typiskt används för att skapa OC-fil för en viss bestämd cykel.

Projektet har bidragit till att det idag finns 22 stycken väg-, väder-, trafik- och uppdrags-relaterade parametrar definierade i OC-formatet [Figur 2]. Denna del av formatet lämpar sig väl att använda vid simulering och är i grunden tänkt att generera alla externa förutsättningar för ett fordon under en datorsimulering.

Model or parameter	Category	Type	Interpolation model	Dim	Quantity
Speed signs	Road	Function	Constant	1	Speed limit
Altitude	Road	Function	Linear	1	Vertical coordinate
Curvature	Road	Function	Linear	1	Curvature
Ground type	Road	Function	Constant	2	Surface type, cone index
Roughness	Road	Function	Constant	2	Waviness, roughness coeff.
Stop signs	Road	Event	Dirac delta	1	Standstill time
Traffic lights	Road	Event	Dirac delta	1	Standstill time
Give way signs	Road	Event	Dirac delta	1	Standstill time
Speed bumps	Road	Event	Dirac delta	3	Length, height angle of approach
Longitude	Road	Function	Linear	1	WGS84 longitude
Latitude	Road	Function	Linear	1	WGS84 latitude
Ambient temperature	Weather	Function	Linear	1	Temperature
Atmospheric pressure	Weather	Function	Linear	1	Pressure
Precipitation	Weather	Function	Constant	1	Precipitation amount
Wind velocity	Weather	Function	Constant	2	Velocity vector
Relative humidity	Weather	Function	Linear	1	Humidity
Traffic density	Traffic	Function	Constant	1	Density
Mission stops	Mission	Event	Dirac delta	1	Standstill time
Cargo weight	Mission	Function, event	Linear, constant	1	Payload
Power take-off	Mission	Function	Linear	1	Output power
Charging power	Mission	Function	Constant	1	Input power
Travel direction	Mission	Function	Constant	1	Driving direction

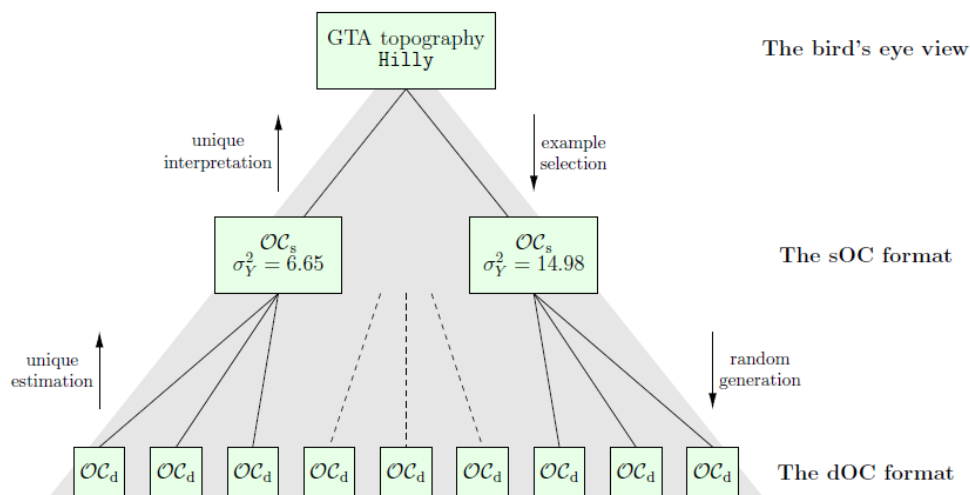
Figur 2. Lista på deterministiska OC parametrar och hur de definieras.

För att hantera variation och undvika så kallad ”cycle beating” (överanpassning av en specifik miljö/uppdrag) har stokastiska modeller utvecklats, som kopplar till parametrarna ovan. En komplett lista återfinns i [Figur 3]. De stokastiska modellerna över parametrarna är validerade mot stora datamängder och mot olika källor så som tex hydro- och metrologiska historiska data från SMHI (lufttemperatur, vind etc.), topografi (höjdprofil), skyltad hastighet och vägens kurvatur från logdata i projektet, och trafikdensiteten från nationella mätningar i svenska vägnätet från Trafikverket. Andra parametrar som beaktats i validering är vikt, stopp-platser, stopp-tiden samt farthinder.

Model	Category	Model type	Number of states	Number of parameters
Road type	Road	Markov process	n_r	n_r^2
Stop signs	Road	Marked Poisson	Continuous	3
Give way signs	Road	Marked Poisson	Continuous	5
Traffic lights	Road	Marked Poisson	Continuous	5
Speed bumps	Road	Marked Poisson	Continuous	3
Speed signs	Road	Markov process	n_r	n_r^2
Topography	Road	Gaussian AR(1)	Continuous	2
Curviness	Road	Marked Poisson	Continuous	6
Road roughness	Road	Laplace AR(1)	Continuous	2
Temperature	Weather	Deterministic	Continuous	5
		Gaussian AR(1)	Continuous	2
Relative humidity	Weather	Deterministic	Continuous	5
		Gaussian AR(1)	Continuous	2
Atmospheric pressure	Weather	Gaussian ARIMA(p, d, q)	Continuous	$2 + p + q$
Precipitation	Weather	Markov process	2	4
		Gamma distributed	-	2
Wind speed and direction	Weather	Gaussian VAR(p)	Continuous	$6 + 4p$
Traffic density	Traffic	Deterministic	Continuous	5
		Gaussian AR(1)	Continuous	2

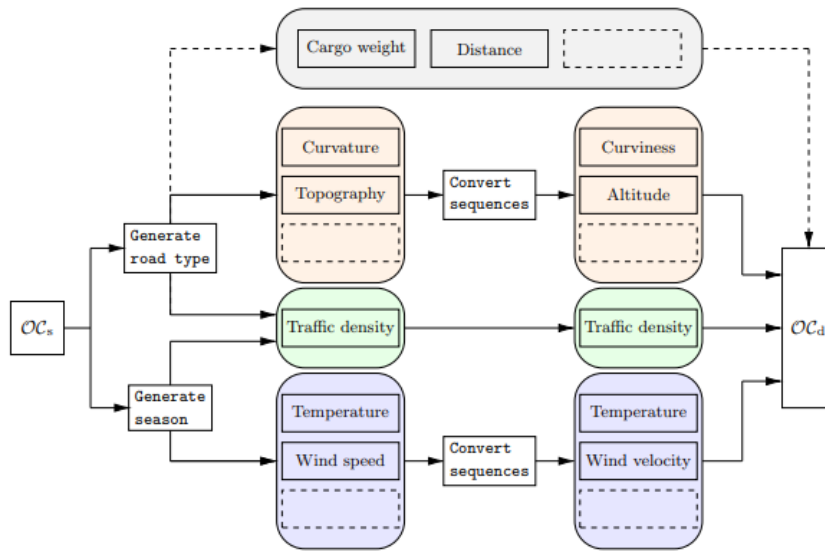
Figur 3. Lista på stokastiska OC parametrar och hur de modelleras.

För ett typiskt säljtillfälle finns hos fordonstillverkarna ett sätt att uttrycka en kunds användande i termer av enkla klassificeringar (tex GTA hos AB Volvo och User Factors hos Scania), tex genom att klassificera hur backigt det är där fordonet kommer att framföras graderat i 3 grader (nästan platt, lite backigt 50% av tiden osv.). Denna högnivåbeskrivning tjänar ett tydligt syfte då den är enkel att förstå och kommunicera i dagligt tal. COVER projektet har inkluderat denna beskrivning i formatet och kopplat detta till de ovan nämnda delarna av formatet, det deterministiska i [Figur 2] och stokastiska i [Figur 3]. En överblicksbild av formatet, dess 3 delbeskrivningar och förhållandena mellan dessa återfinns i [Figur 4].



Figur 4. Illustration av möjligheten att översätta högnivå-beskrivning (t.ex. kundspecifikation likt Volvo's GTA eller Scantias User Factors) till stokastiska OC och vidare till deterministiska OC:s, samt omvänt.

Matematiskt solida verktyg har utvecklats för att gå i mellan dessa delar av formatet. Detta möjliggör tex en strukturerad väg mellan kundens högnivåbeskrivning av sitt behov till en detaljerad simulering av det samma. En annan konsekvens av formatet, och verktygen att gå i mellan delbeskrivningarna, är att en kunds loggade användning kan analyseras och kvantifieras genom det stokastiska lagret i formatet och t.o.m. beskrivas i en högnivåbeskrivning. Effekter av val av vägar, laster, uppdrag med mera kan analyseras i detalj. Ett exempel på hur den stokastiska beskrivningen kan generera en simulerbar deterministisk beskrivning återfinns i [Figur 5].



Figur 5. Illustration av några validerade deterministiska parametrar i OC, där alla även kan genereras från stokastisk OC, dvs en stokastisk representation kan generera så många deterministiska (och simulerbara) representationer som behövs.

För att praktiskt kunna göra exempelstudier så har ett simuleringsbibliotek utvecklats (VehProp). Biblioteket är av öppen källkod och administreras och distribueras av Chalmers (www.chalmers.se/vehprop). Biblioteket är kompatibelt med OC formatet. Tillhörande script och funktioner för att operera direkt på formatet är inkluderat. Ett exempel på hur formatet är implementerat i VehProp återfinns i [Figur 6]. Formatet är i sig neutralt inför simuleringsmiljö, men genom att projektet erbjuder en komplett testmiljö så ökar chanserna att få en större spridning samtidigt som det ger en neutral plattform för att studera formatet.

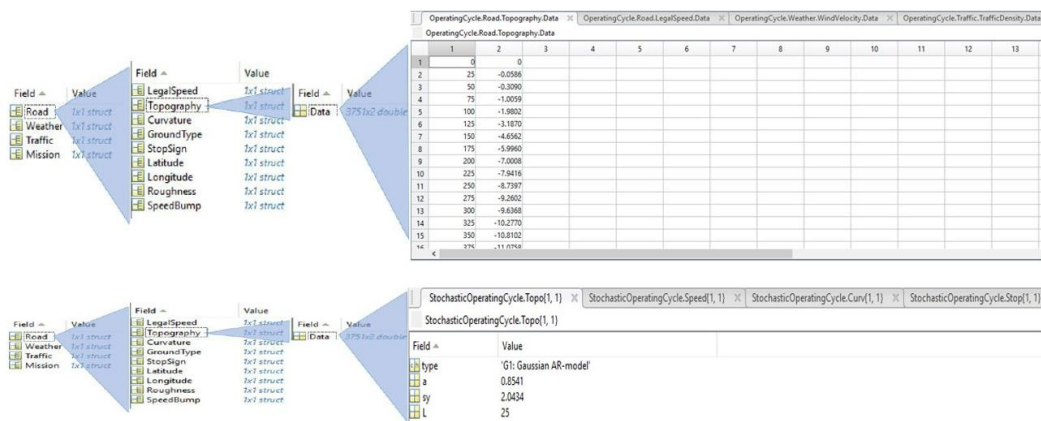


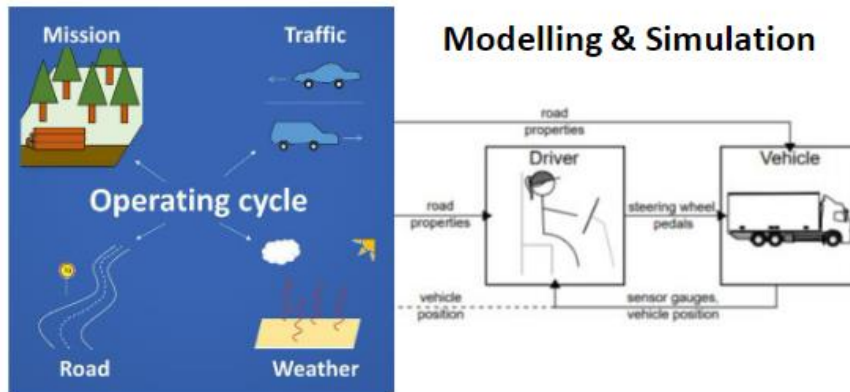
Figure 6. Exempel på implementering av deterministisk (överst) och stokastisk OC (nederst) i MATLAB.

VehProp-biblioteket är modellerad och implementerad i MATLAB/Simulink och innehåller några exempeldrivlinier samt en förarmodell. Rörelseekvationerna beskriver endast den longitudinella (längs vägen) delen och tar den laterala (tvärs vägen) som en parameter. Ett exempel på detta är hur förarmodellen reagerar på en vägkurvatur genom att anpassa hastigheten på fordonet (i längs-led).

Formatet har använts i en rad olika studentprojekt. Användbarheten av OC-formatet med tillhörande verktyg, har t.ex. påvisats i en stor fält-studie av en Volvolastbil som kör för ett specifikt åkeri. Ett byte av drivlinan visar att man kan reducera CO₂ med ca 10%, samtidigt som transportuppdragen kan lösas med bibehållen kapacitet. Stokastiskt angreppsätt användes, som inkluderade variationer i topografi, hastighet, kurvatur och väg-stopp.

Formatet, som primärt under projektet har varit tänkt att användas för att beskriva fordonsanvändning med hjälp av redan loggad data, kan också beskriva eller uppskatta en framtida användning. Detta är centralt och en förutsättning för att kunna prediktera en framtida energiåtgång som i sin tur skulle kunna ge en uppskattning på återstående körsträcka (range) baserat på de energi-lager man har i fordonet. Detta har visat sig vara en mycket viktig storhet för batterielektriska fordon som har en begränsad räckvidd och en tidsödande process för att återföra energi till energi-lagret (ladda batterier). Därför har COVER påbörjat studier med målet att finna en tillförlitlig energi-prediktering, tillgänglig i fordonen även under körning. Resultaten visar att det är möjligt att uppskatta energiförbrukningen som en funktion av de stokastiska egenskaper som projektet använt i OC formatet. Även om denna användning av OC formatet har visat sig ha stor potential återstår omfattande forskning för att befästa detta ytterligare och för att använda formatet på bästa sätt.

Studie har även gjorts för att jämföra metoderna i COVER med värden som kommer ut från VECTO (som används för CO₂ deklarerat inom EU). COVER använder sig av en framåt-simulering, som innehåller en förarmodell [Figur 7], medan VECTO är bakåt-simulering. Fördelen med framåt-simulering är att det går att göra fullständiga analyser av inverkan på OC formatets alla parametrar. Dessutom ger det en realistisk miljö för simulering av prediktiv reglering av fordonet i längsled (tex Volvos I-See funktion) vilket har signifikant påverkan på energiförbrukningen och CO₂. Bakåt-simulering kan å andra sidan reproducera ett loggat beteende exakt, vilket kan vara användbart för enkel jämförelse.



Figur 7. OC formatet används i simulerings-miljö. Vid stokastisk analys så omvandlas den stokastiska OC till flera deterministiska cykler.

I [Figur 7] så återfinns en modell av föraren som en central komponent. De parametrar av formatet som inte direkt påverkar fordonet måste tolkas av en förarmodell. I projektet har en enkel förarmodell tagits fram som på ett rättfram sätt använder OC formatets parametrar för att bestämma en hastighet (taktisk) och sedan verkställa denna hastigt (operativ). Projektet har även gjort en valideringsstudie baserad på log-data och en körsimulatorstudie med lastbilschaufförer. Studien föreslår vissa mindre förändringar för att förbättra möjligheten att fånga riktiga förarens beteenden.

En källa till energikonsumtionen har studerats specifikt inom COVER projektet, nämligen däcken. Däcken ger upphov till förluster vid framdrivning, bromsning och kurvtagning i form av slidförluster. Modeller som påvisar effekten av dessa förluster under statiska (konstanta) och transienta (föränderliga) förhållanden har tagits fram och studerats. Villkor och förhållanden för när det är motiverat att introducera denna extra komplexitetsgrad (för energi och CO₂ uppskattning) har identifierats.

En annan aspekt av däck är det så kallade rullmotståndet som ett däck har när det rullar fritt. Mätningar i däckprovmaskin har utförts i COVER projektet och en enkel modell som skulle kunna vara lämplig för energisimuleringsstudier har parametersatts och validerats för en begränsad uppsättning förhållanden. Däcks rullmotstånd är dock en så pass central komponent i denna kontext att ytterligare omfattande studier behövs för att kartlägga inverkan av externa faktorer (tex vägytans textur och eftergivlighet) och modelleras på ett korrekt sätt.

Slutligen, kontrollstrategi-projekt har också genomförts som syftar till att finna algoritmer som kan minimera energikonsumtionen och öka livslängd hos batterier. I analyserna har OC formatet och VehProp varit centralt. Dessa projekt visar på användbarheten av COVER när det gäller att virtuellt utveckla nya strategier i fordon.

Diskussion

Fram till idag beaktas oftast specifika körcykler i designfasen och vid försäljning. Detta innebär att det finns en betydande risk att kunder kör runt med överdimensionerade fordon som innebär högre energiåtgång och miljöpåverkan än nödvändigt. Även CO2 deklARATIONEN antar specifika förhållanden vilket kan innebära att kunden får helt andra värden vid ev. mätning.

Tack vare resultaten från COVER så kan man nu ta fram en mer generisk beskrivning av hur ett fordon används eller planeras att användas, som tar hänsyn till variansen i topografin, hastighet, kurvatur, stopp, väder och trafik. Denna beskrivning används till fördel i simulering för att prediktera verklig energikonsumtion hos fordon, vilket möjliggör en energi-effektiv lösning optimerat efter transportbehovet för varje kund. Den nya grundläggande principen för att beskriva hur fordonen används är att endast använda fysikaliskt/praktiskt motiverande fenomen, som t.ex. hastighetsskyltar istället för uppmätt hastighet. Detta är viktigt eftersom det gör formatet utvecklingsbart för framtida teknologier.

Fallstudien visar på möjligheten att finna förbättringar hos ett fordon som opererar idag. Bränslebesparingen på 10% baseras på att välja en mindre motor, vilket är en förhållandevis enkel åtgärd i ett diesel-drivet fordon. Denna siffra kan bli långt över 30% om man även tänker sig att göra fordonet helt eller delvis elektriskt.

Under projektets gång så har elektriska fordon blivit de-facto på marknaden. Eftersom dessa fordon har en mer begränsad räckvidd så är behovet än större att lyckas med en energiprediktering som uppvisar en hög noggrannhet jämfört med verkligheten. COVER har lagt grunderna för att lyckas med detta men eftersom kraven ökar så måste OC formatet i nästa steg utvecklas för att få med alla viktiga parametrar. Även metoderna inom design-fasen kräver en utveckling så att man kan översätta kundkrav till OC-beskrivning med fokus på energi-optimerade elektriska drivlinor. För att hushålla med energin i elektriska fordon så kan metoderna och OC formatet även ligga till grund för kund-verktyg som range-prediktion och route-planning. Metoderna är även lämpliga som input till en analys som på ett strukturerat sätt specificera kraven för ladd-infrastrukturen.

Många av parametrarna kräver stor mängd data, speciellt om de hanteras stokastiskt. För kommande projekt vore det önskvärt att använda sig av stor mängd data för att validera den stokastiska fördelningen. Dess påverkan på CO2 och energikonsumtion kan då påvisas med större precision.

Ytterligare fallstudie vore bra för att validera precisionen i energipredikteringen, även när det finns variation i vissa parametrar.

En observation som gjorts under projektets gång är svårigheten i att finna tidskrifter för att publicera våra resultat. Projektets karaktär är sådan att det inte passar typiska akademiska forum som behandlar fordonsteknik eller fordonsdynamik, då fokus ligger på vad som påverkar och dikterar fordonsrörelsen snarare än rörelsen i sig. Innehållsmässigt stämmer projektet ej heller inom de forum som behandlar transport och planering, då projektets fokus typiskt är individer av fordon eller transportuppdrag. Detta indikerar det unika i

projektinriktningen, men implicerar dock inte att innehållet är relevant eller användbart. Relevans och användbarhet av resultaten är främst påvisad av projektets deltagare, och då framför allt de industriella parterna.

Publikationslista

Här redovisas publikationer från projektet under 3 underrubriker: OC formatet; Däckmodeller samt Studentarbeten. Projektet har genererat en doktorsavhandling, en licentiat uppsats, en kandidatuppsats (BSc) och fyra stycken magisteruppsatser (MSc). Totalt har nio stycken tidskriftsartiklar (manuskript under granskning och publicerade) genererats i projekt samt en forskningsmonografi över däckmodellering.

OC formatet

Titel	A statistical operating cycle description for prediction of road vehicle's energy consumption
Författare	P. Pettersson, P. Johannesson, B. Jacobson, F. Bruzelius, L. Fast, and S. Berglund
Publikation/ Konferens	Transportation Research Part D: Transport and Environment 73 (Aug. 2019), pp. 205-229. doi: 10.1016/j.trd.2019.07.006 Found here
Sammanfattning	En stokastisk OC-modell utvecklas, definieras och demonstreras med hjälp av en fall-studie och en sensitivitets-analys.
Lärdom	Bevis på att en stokastisk beskrivning kan användas i kombination med (fordons-) simuleringsmodeller för att beräkna energiåtgång och CO ₂ -utsläpp. Topografi och stopp visar sig vara de två vägfenomen som har störst påverkan på CO ₂ -utsläppen. Hierarkisk struktur införs i stokastiska modellen där vägtyp har en överordnad roll. Detta tillåter att väsentligt skilda omgivningar (t ex stadskörning i jämförelse med motorväg) kan inkluderas i samma modell.
Proof Of Concept	Demonstration av hur ett transportuppdrag kan beskrivas i praktiken med den nya modellen.

Titel	Intrinsic differences between backward and forward vehicle simulation models
Författare	P. Pettersson, B. Jacobson, F. Bruzelius, P. Johannesson and L. Fast.
Publikation/ Konferens	Presenterad vid the <i>21st IFAC world congress</i> . Oct. 2019 Found here

Sammanfattning	<p>En systematisk analys av skillnader och likheter mellan två olika simuleringskoncept, bakåt- respektive framåtmodellering, med avseende på energiförbrukning och CO₂-utsläpp hos tunga fordon. Fördelar och nackdelar diskuteras, vilket leder till rekommendationer angående när de olika koncepten bör användas. Två forskningsfrågor ställs och besvaras; 1) finns det skillnader i fordonsbeteende mellan bakåt- och framåtmodellering, samt 2) ger båda koncept samma väntevärde och variation på CO₂-utsläppen.</p> <p>VECTO, som inom EU används vid CO₂ certifiering, är bakåtmodellerings-verktyget i studien.</p>
Lärdom	<p>Det visar sig att det finns skillnader i fordonsbeteende mellan modelltyperna. Framåtmodellering är bättre på att fånga variation och ger ett simulerat fordon mer frihet, vilket tillåter konceptutveckling av kontrollsystem såsom prediktiv farthållare etc. Det är dock mer krävande att modellera eftersom en förarmodell behövs. Bakåtmodellering kan reproducera ett loggat beteende exakt, vilket kan vara användbart t ex för att återskapa specifika situationer eller körningar för att analysera hur hårdvara eller mjukvara fungerar just där.</p>
Proof Of Concept	<p>En jämförelse mellan VECTO och framåtmodellen i COVER-projektet görs. Metoden att generera simulerbara uppdrag från en stokastisk OC används för att kvantifiera både väntevärde och variation hos CO₂-utsläpp. En framåtvariant av VECTO's fordonsmodell har implementerats.</p>

Titel	Operating cycle representations for road vehicles
Författare	P. Pettersson
Publikation/ Konferens	<p>Doktorsavhandlingar vid Chalmers tekniska högskola. Ny serie: 4677, ISBN978-91-7905-210-2, 2019.</p> <p>Found here</p>
Sammanfattning	Doktor Pär Pettersson examinerad
Lärdom	<p>Fyra forskningsfrågor ställs och besvaras till viss del. 1) Hur ska en transportoperation beskrivas matematiskt för att möjliggöra realistisk fordonsanvändning; 2) hur kan olika transportapplikationer jämföras, med avseende på kännetecken i geografi och drift, på ett sätt som är både fordons- och föraroberoende; 3) hur kan variation i drift mätas för transportuppdrag, och hur kan de återskapas matematiskt; 4) hur ska en modell för dynamiska simuleringar konstrueras för att kunna utnyttja detaljerade matematiska beskrivningar av transportuppdrag, och finns det grundläggande principer som underbygger varje sådan modell.</p>

Proof Of Concept	Ett flertal exempel ges på hur CO2-utsläpp kan beräknas och jämföras, hur variation i drift kan uppskattas och jämföras, samt hur de olika metoderna som utvecklats kan appliceras.
Titel	An enhanced stochastic operating cycle description including weather and traffic models
Författare	L. Romano, F. Bruzelius, B. Jacobson
Publikation/ Konferens	Publicerad i <i>Transportation Research Part D: Transport and Environment</i> . 2021 Found here
Sammanfattning	Studien utökar formatet Operating Cycle (OC) till att omfatta stokastiska modeller för väder och trafik. Inverkan av dessa studeras genom att utföra en regressionsanalys mot kategoriska satta värden på väder och trafik relaterade variabler.
Lärdom	Väder och trafik spelar en viktig roll för att bestämma fordonets beteende, påverkar energiförbrukningen och (motsvarande) utsläpp. Prediktionen kan förbättras genom att angripa parametrarna med statistiska modeller.
Proof Of Concept	En utökad version av OC implementerad i VehProp. En regressionsanalys mot ekvivalenta utsläpp för standardvärden har visat att bidragen från trafiktäthet och vindhastighet måste beaktas vid bedömning av energiprestanda.

Titel	Mathematical modelling of operating cycles for road vehicles. Licentiatavhandling, 2021
Författare	Luigi Romano
Publikation/ Konferens	Licentiatavhandlingar vid Chalmers tekniska högskola Found here
Sammanfattning	Licentiatavhandling. Exempel från publikationer skriven av författaren.
Lärdom	Vidareutveckling av OC format har genomförts och dess användbarhet har påvisats. Slip-modeller har utvecklats som har påvisat bra resultat jämfört med alternativa befintliga modeller. Dessa uppskattar energiförlusten vid kombinerad slirning med känslighet för olika fordonshastigheter, camber-vinklar och svänghastigheter.
Proof Of Concept	Se övriga publikationer av författaren.

Titel	A classification method of road transport missions and applications using the operating cycle format
Författare	L. Romano, P. Johannesson, F. Bruzelius, B. Jacobson, E. Nordström, R. Andersson
Publikation/ Konferens	Inskickad för tidskriftspublicering, under granskningsförfarande.
Sammanfattning	En ny metod för klassificering av energianvändning för tunga fordon introduceras, som kombinerar fågelperspektiv med en mer detaljerad modellering av miljön för longitudinella simuleringar. Det teoretiska ramverket som presenteras i artikeln gör det möjligt att beskriva användningen på ett systematiskt sätt och etablera ett direkt samband mellan två representationssystem som tjänar olika syften.
Lärdom	Fordonsanvändning kan klassificeras genom att kombinera en högnivåbeskrivning (används t.ex. av OEM-tillverkare i kontakt med kunden) och en statistisk representation av miljön som ska användas för energieffektivitetsstudier.
Proof Of Concept	Utöver det teoretiska bidraget har en kod utvecklats för att klassificera användningen av fordonet beroende på väglaget (topografi, kurvighet, laglig hastighet etc.). Indata till koden är de statistiska driftscykelparametrarna; Utdatan är driftsklassen enligt GTA- eller UFD-beskrivningarna.

Titel	Validation of driver model for energy efficiency studies
Författare	L. Romano, F. Bruzelius, M. Godio, P. Johannesson, A. Käck
Publikation/ Konferens	Inskickat manuskript för tidskriftspublicering, under granskningsförfarande.
Sammanfattning	Validering av förarmodell för energieffektivitetsstudier. Modellen består av en taktisk del som tolkar de yttre stimulierna från omgivningen, och en operationsmodul som producerar pedalutgången. Inverkan av vägtopografi, krökning och hastighetsbegränsningar analyseras med hjälp av data som samlats in från både körsimulatorn och verkliga fordonsoperationer.
Lärdom	Förarens reaktion på kurvighet kan vara icke-symmetrisk, och tröskeln för lateral acceleration för komfort kan i sin tur bero på vägens lokala krökning. Icke-linjäriteter i förarens beteende kan i hög grad påverka energiförbrukningen. Den operativa delen av förarmodellen behöver utvecklas för att täcka den osymmetriska responsen av fordonet (gas och broms) samt att inkludera den periodicitet som uppstår p.g.a. förarens brist på hastighetskänsla

Proof Of Concept	Förslag på uppdatering av en förarmodell baserat på verklig data insamlad från körsimulator och log data från riktigt fordon och körning.
------------------	---

Däckmodeller

Titel	Parametrisation of a rolling resistance model for extending the brush tyre model
Författare	Lisa Ydrefors, Martin Åseniusa, Hugo Janssona, Sogol Kharrazia, Mattias Hjort, Jan Åslund
Publikation/ Konferens	Inskickad för tidsskriftspublicering, under granskningsförfarande.
Sammanfattning	Rullmotstånd från däck är en av de centrala komponenterna i energiförbrukning hos vägfordon.
Lärdom	En modell för rullmotstånd har skapats och parametriserats med syftet att modellera däckens rullmotstånd inom kompletta fordonsdynamiksimuleringar. Den parametriserade modellen kan återskapa förhållandet mellan rullmotståndet och däckets deformation väl och den har ett lågt krav på beräkningseffekt. Idag är modellen begränsad till simulering av frirullande däck på en plan yta, men den kan utökas till att även omfatta effekter av förändringar i driftförhållanden som hjulvinklar eller vägyta
Proof Of Concept	En validerad modell för rullmotstånd som passar för energiförbrukningssimulering

Titel	Unsteady-State Brush Theory
Författare	L. Romano, F. Bruzelius, B. Jacobson
Publikation/ Konferens	Publicerad i <i>Vehicle System Dynamics</i> . May 16, 2020. Found here
Sammanfattning	En teoretisk undersökning av transient däckdynamik har genomförts med hjälp av elementära resultat från den linjära teorin om partiella differentialekvationer (PDE). En ny ungefärlig transient däckmodell för fordonsdynamiksimuleringar har introducerats som överträffar de befintliga.

Lärdom	Transienta fenomen kan effektivt förklaras inom Brush-modellens teoretiska ram. Insikter om strukturen för de styrande PDE:erna för Brush-modellen motiverar antagandet av en beskrivning av två regimer som approximerar däckets beteende som det hos en fjäder vid låga rullhastigheter och som en dämpare vid höga hastigheter. Detta resultat var redan intuitivt känt från litteraturen, men endast delvis motiverat.
Proof Of Concept	Transient-modeller som ska användas i fordonsdynamiksimuleringar. Validering har behandlats genom kvalitativ jämförelse med mer förfinade (men icke-analytiska) teorier.

Titel	A Brush Tyre Model with Standstill Handler for Energy Efficiency Studies
Författare	L. Romano, F. Bruzelius, B. Jacobson
Publikation/ Konferens	Publicerad i <i>6th International Commercial Vehicle Technology Symposium Kaiserslautern</i> , 2021 Found here
Sammanfattning	Däcksmodell för att hantera start/stop utvecklad
Lärdom	Longitudinella modeller för energieffektivitetsstudier kan utökas för att ta hänsyn till däck (transient dynamik) med enkla tillståndsmaskiner som växlar mellan olika uppsättningar av differential-algebraiska ekvationer (DAE). På så sätt går det att redovisa halkförluster och samtidigt hantera körsituationer som stillastående.
Proof Of Concept	Modell implementerad i MATLAB/Simulink för energieffektivitetsstudier. Den simulerade fallstudien har visat att slirförluster i däcken bidrar väsentligt till det totala energi-förlusten.

Titel	Development and analysis of the two-regime transient tyre model for combined slip
Författare	L. Romano, F. Bruzelius, M. Hjort, B. Jacobson
Publikation/ Konferens	Publicerad i <i>Vehicle System Dynamics</i> , 2022 Found here
Sammanfattning	Teoretisk undersökning som syftade till att utöka klassen av transienta däckmodeller, utvecklat i publikationen Unsteady-State Brush Theory, för att ta hänsyn till kombinerade (både longitudinella och laterala krafter) slirsituationer . Uppsatsen analyserar däckmodellerna med två regim ur ett kontrollteoretiskt perspektiv. Det olinjära systemet studeras med avseende på input-to-state-stabilitet och dissipativitet.

Lärdom	I närvaro av kombinerad slirning kan däckets transienta dynamik studeras effektivt med hjälp av en formulering med två regimer. De kombinerade modellerna som presenteras i artikeln har visat sig vara asymptotiskt stabila, input-to-state stabila och dissipativa (liknande resultat är inte tillgängliga för andra existerande transienta modeller). Däckstommens anisotropi har visat sig spela en stor roll vid bestämning av parametersättningen för maximala tillåtna slirningen.
Proof Of Concept	Modeller för simuleringar implementerade i MATLAB/Simulink. Validering utförs genom att jämföra den utvecklade modellen med andra befintliga formuleringar. Den longitudinella dynamiken valideras också isolerat med hjälp av verkliga data som samlats in från VTI.

Titel	Brush tyre models for large camber angles and steering speeds
Författare	L. Romano, F. Bruzelius, B. Jacobson
Publikation/ Konferens	Publicerad i <i>Vehicle system dynamics</i> , 2020 Found here
Sammanfattning	Tre nya helfysikaliska teorier (för närvarande de enda existerande som inte är empiriska till sin natur) utvecklas för att förklara den transienta däckdynamiken när cambervinklarna och svänghastigheten är relativt stor. En asymptotisk analys utförs för att validera resultaten mot den klassiska Brush-teorin.
Lärdom	Stora cambervinklar och svänghastighet introducerar intressanta effekter i däckets dynamik. Speciellt har det visat sig att sväng- och camberslirning måste behandlas separat när cambervinklarna är stora. Resultaten som presenteras i artikeln utgör en unik helt fysiskt baserade teori (i motsats till Pacejkas magiska formel) som kan förklara sådana fenomen.
Proof Of Concept	Skript utvecklade i MATLAB/Simulink. Validering mot den klassiska Brush-teorin.

Titel	Analytical results in transient brush tyre models: theory for large camber angles and classic solutions with limited friction
Författare	L. Romano, F. Timpone, F. Bruzelius, B. Jacobson
Publikation/ Konferens	Publicerad i <i>Meccanica</i> , 2021 Found here

Sammanfattning	Nya analysresultat har etablerats med hänsyn till de teorier som tidigare utvecklats av författarna i “Unsteady-State Brush Theory” och “Brush tyre models for large camber angles and steering speeds”. Resultaten är främst kopplade till aspekter som lösningens väl-formulering. Lämpliga gränsvillkor (BCS) och initiala villkor (IC) är formulerade för att säkerställa att problemet är välplacerat. Analysen inkluderar fall av tidsvarierande slir-inputs och formen på kontaktytan.
Lärdom	Däckets transienta dynamik är väl-formulerad under antagandet av försumbar glidning, även vid stora cambervinklar, tidsvarierande kontaktytor. Om begränsad friktion beaktas är alla endimensionella problem som är kända från litteraturen väl-positionerade förutsatt att cambervinklarna är tillräckligt små.
Proof Of Concept	Modeller implementerade i MATLAB/Simulink. Beviset använder teori för konvexa funktioner.

Titel	A theoretical investigation on transient tyre slip losses using the brush theory
Författare	L. Romano, F. Timpone, F. Bruzelius, B. Jacobson
Publikation/ Konferens	Intern rapport
Sammanfattning	Uppsatsen undersöker däckslirningar under transienta manövrar, och utforskar sambandet mellan mikro- och makro-metoden. Det har visat sig att när däckets transienta dynamik beaktas, är de två tillvägagångssätten inte likvärdiga och ett ytterligare bidrag uppstår på grund av det icke-stationära beteendet.
Lärdom	Teorin som presenteras i artikeln består av det första analysresultatet för att förutsäga slirförluster under transienta förhållanden. Både teorin och exemplen i simulering visar att om man bortser från däckdynamiken kan det leda till en felaktig förutsägelse av däckförluster.
Proof Of Concept	Teorin som presenteras i artikeln är validerad mot en simulering implementerad i MATLAB/Simulink-miljö.

Titel	An extended LuGre brush-tyre model for large camber angles and turning speeds
Författare	L. Romano, F. Bruzelius, B. Jacobson
Publikation/ Konferens	Inskickad för tidskriftspublicering, under granskningsförfarande.

Sammanfattning	Teorin för stora cambervinklar som utvecklats av författarna är här integrerad med LuGre Brush Tyre modell för regler-applikationer. Modellens styrande PDE:er löses först i slutet form; sedan utvecklas ungefärliga modeller för däckets transienta beteende. Överensstämmelsen mellan de två formuleringarna är uppmuntrande.
Lärdom	LuGre Brush Tyre modellen kan bättre hantera teorin för cambervinklar jämfört med de vanliga Brush-modellerna. Däckdynamiken kan approximeras med hjälp av förenklade system med linjära ordinära differentialekvationer (ODEs), som är mycket lättare att implementera än andra transientmodeller, och som effektivt kan användas för reglerdesign.
Proof Of Concept	Utöver teorin har koderna för både PDEs och ODEs formuleringar utvecklats i MATLAB/Simulink miljö.

Titel	Advanced brush tyre modelling
Författare	L. Romano
Publikation/ Konferens	Publicerad av <i>Springer Briefs</i> (small book, around 125 pages) Found here
Sammanfattning	Boken ger en omfattande ram för de resultat som författaren förespråkat i tidigare artiklar, utvidgar teorin samt presenterar nya resultat. Monografin representerar den mest kompletta källan om däckets transienta dynamik enligt borst-modellerna.
Lärdom	Grundläggande resultat om däckets transienta teori presenteras och ramas samman.
Proof Of Concept	Modeller för simulering av transient däckdynamik, validerade mot andra teorier.

Studentarbeten

Titel	Virtual Platform for Reinforcement Learning Research for Heavy Vehicles
Författare	C. Emwin, J. Persson, W. Åkvist
Typ	B.SC Thesis Work, 2020 Found here
Sammanfattning	Studier har genomförts för att i simuleringsmiljö påvisa om man kan spara energi hos en hybridlastbil genom att använda sig av maskininlärningsmetoden (ML) Reinforcement Learning (RL).

Lärdom	Integrationen av RL i simulering (VehProp) fungerar utmärkt. Fordonet tränar för att minimera energin, men resulterar inte till någon konvergerad lösning. Ytterligare studier rekommenderas, med fokus på att förbättra belönings-funktionen.
Proof Of Concept	Modeller har byggts i simuleringsmiljö för att kunna utvärdera Reinforcement Learning metoden i en virtuell lastbil som kör sträckan GBG Arendal-Borås-GBG Arendal (beskriven i OC format). Detta är integrerat i vehprop.

Titel	Advanced Modelling and Energy Efficiency Prediction for Road Vehicles
Författare	E. Nordström
Typ	M.Sc. Thesis work, 2020. Found here
Sammanfattning	Ett fordon hos ett åkeri har loggats kontinuerligt under lång tid. Data har använts till att bygga och validera fordonet i virtuell miljö. Genom att modifiera fordonet så kan förbrukningen sänkas med ca10%. För att komma fram till detta så har metoder och modeller, som utvecklats i tidigare delar av COVER, använts. Projektet visar processen att gå från stora mängder logg-data till ett verkligt förbättringsförslag, som leder till lägre förbrukning och CO2. I projektet beaktas variation i topografi och hastighet.
Lärdom	Projektet visar hur vi kan använda utvecklade metoder och modeller för att påvisa energibesparing hos ett åkeri. Vi har sett utmaningen i att översätta mängder av logg-data till representativa operations-cykler.
Proof Of Concept	I huvudsak metoder och modeller framtagna tidigare inom COVER har använts för att bevisa användbarheten. Några behövde modifieras för att passa studien.

Titel	A study of the influence of vertical tyre force on rolling resistance and lateral slip stiffness coefficient using truck tyre models, student project
Författare	Bharath Govardhan Raju, Nicholas Nobeling, Chirag Rajopadhye and Pranay Damodhar Tota
Typ	Studentprojekt, 2021 Found here
Sammanfattning	Data från fullskaliga fordonstester analyserades. En gemensam parametrering av modellerna för rullmotståndskoefficient RRC och lateral styvhet formulerades.
Lärdom	Modellerna är lovande men kräver mer analys och utvärdering. Framförallt svårt att förklarar hur RRC påverkas av vertikal belastning.

Proof Of Concept	The Brush model, Eq [2.44] and Eq [2.49], i Compendium in Vehicle Motion Engineering utvärderades.
------------------	--

Titel	Finite element study of pressure distribution under tyre during low speed for explaining rolling resistance
Författare	Robin Aalto, Lucas Johansson Sundblad, Priyatham Reddy Kareti, Nils Olofsson, Vignesh Subramanian
Typ	Studentprojekt, 2021. Found here
Sammanfattning	En FE-modell byggdes och testades för att förklara varför rullmotståndskoefficienten minskar med ökande vertikal belastning. De testade modellerna var inte framgångsrika.
Lärdom	Modelleringen kring inlopps- och utloppszonerna för kontaktflappen (contact patch) måste förstås bättre. Nästa steg i forskningen/utvecklingen har formulerats.
Proof Of Concept	En 2D finita elementmodell av sidovägg testades. Både NASTRAN och Matlab FE-verktyg.

Titel	Health Aware Optimization of the Energy Management of a Fuel Cell – Battery Hybrid Electric Vehicle
Författare	Eva Skvor
Typ	M.Sc Thesis, spring 2021 Found here
Sammanfattning	Både batteriet och bränslecellen i en FCEV försämras med tiden, vilket påverkar andrahandsvärdet samt effektiviteten och livslängden för ett fordon. Målet med detta examensarbete var att utöka den styrenhet som används på Volvo AB till att inkludera en kostnad för denna nedbrytning. Den övergripande slutsatsen var att inkludering av försämring i objektivfunktionen är ett bra alternativ som minskar den totala ägandekostnaden och ökar fordonets livslängd. Att lägga lite tid på att formulera bra kontrollmodeller för att åstadkomma detta är dessutom försvarbart då de enligt denna avhandling ger bättre resultat än enkla heuristiska begränsningar för användningen.
Lärdom	Nedbrytning av elektrokemiska komponenter är väsentlig att inkludera i optimeringen av effektfördelningen (powersplit mellan batteri och bränslecell).
Proof Of Concept	Inbyggd optimerare i script-miljö för en körscykel. Den totala kostnaden med och utan degradering i kostnadsfunktionen analyserades.

Titel	Energy consumption prediction for heavy electric vehicles based on the operating cycle format
Författare	Marcus Berg and Conny Ta
Typ	M.Sc. Thesis, winter spring 2022 Kommer att publiceras på research Chalmers Open Digital Repository: Home inom kort
Sammanfattning	Syftet med denna rapport är att uppskatta energiförbrukningen för ett tungt elfordon när det är på väg och kör längs en okänd rutt. Resultaten från detta projekt ger en metod och ett ramverk som kan användas för att uppskatta vissa parametrar, vilka påverkar energiförbrukningen och som kan vara svåra att förutsäga, eller som det inte finns någon information om innan man påbörjar en rutt. Data som samlats under sträckan används för att uppskatta egenskaperna hos de undersökta parametrarna. Dessa egenskaper kopplas sedan till motsvarande förberäknad energiförbrukning. Energiförbrukningen från alla parametrar summeras sedan och kan sedan visas för föraren. Kopplingen upprättas genom att köra simulerade scenarier genererade av stokastiska modeller av de undersökta parametrarna.
Lärdom	Resultaten av projektet är relationerna mellan en eller flera parametrar i parametermodellerna och dess energiförbrukning. Om variansen i topografin ökar kan en ökning av energiförbrukningen också observeras, vilket är vad man kan förvänta sig. Liknande slutsatser kan också observeras för de två andra undersökta parametrarna, kurvatur och farthinder. Resultaten gör det möjligt att summera energibidragen från varje parametermodell och ger en total energiförbrukning för fordonet längs en sträcka. Resultatet av projektet visar att det är möjligt att uppskatta energiförbrukningen även för andra parametrar med liknande fysiska egenskaper. Detta är särskilt viktigt för de parametrar som är svårare att beräkna i förväg. Slutresultatet av projektet består av en serie konstruerade grafer. Dessa grafer innehåller information för att kartlägga ett fastställt intervall av undersökta egenskaper såsom variansvärden, medelkurvatur och intensitet i fartgupp till en energiförbrukningsuppskattning som motsvarar varje möjlig kombination av egenskaperna.
Proof Of Concept	Analyserades genom att bygga stokastiska modeller i MATLAB/Simulink och sedan köra stora mängder av simuleringar i VehProp.

Titel	A study on the energy consumption impact of environmental parameters on heavy vehicles
Författare	Manish Raathimiddi

Typ	M.Sc. Thesis, spring/summer 2022 Kommer att publiceras på research Chalmers Open Digital Repository: Home efter genomförande. Beräknat slutdatum 6 juni.
Sammanfattning	Det primära syftet med detta arbete är att bygga vidare på de resultat som framkommit i studentarbetet ovan och utöka detta med att studera hur olika drivlinor påverkas olika av olika egenskaper i omgivningen. Enkla relationer mellan miljöfaktorer (topografi, skyltad hastighet, kurvor mm) och dess påverkan på energiåtgången kommer att utvecklas. Dessa relationer kommer att studeras för olika konfigurationer (antal batteripack, förbränningsmotoralternativ mm).
Lärdom	Projektet kommer att illustrera och ge råd om hur komplexa fordonsmodeller behöver vara för att fånga energiförbrukning för några specifika drivlinekonfigurationer

Referenser, källor

- [1.] FFI. Strategisk färdplan INOM SATSNINGEN FORDONSSTRATEGISK FORSKNING OCH INNOVATION (FFI) Energi och miljö 2015-11-03. <http://www2.vinnova.se/PageFiles/34159/Färdplan%20FFI%20Energi%20och%20miljö%202015-11-03.pdf>, 2017-06-13
- [2.] Eurostat. Energy, transport and environment indicators | 2016 edition. url: <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/7731525/KS-DK-16-001-EN-N.pdf>, 2017-06-06.
- [3.] EU commission. European transport policy for 2010: time to decide http://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/strategies/doc/2001_white_paper/lb_com_2001_0370_en.pdf, 2017-06-05
- [4.] EU Commission. A global deal for climate. https://ec.europa.eu/clima/policies/international/paris_protocol/transport_en, 2017-06-05
- [5.] European Federation for Transport and Environment AISBL. Testing truck CO2 emissions. <https://inconvenienttruck.eu/testing-truck-co2-emissions/>, 2017-06-05

Bilagor

- Administrativ bilaga