



Fuel identification

Verifierad bränsleanvändning inom tunga vägtransporter

20250131

Triple F projekt 2023.6.2.7

Slutrapport

Matthias Schmitz, Fredrik Hildor och Pontus Bokinge, CIT Renergy

Jonas Sjöblom, Chalmers Tekniska Högskola

Beatriz Cabrero-Daniel och Christian Berger, Göteborgs Universitet

Jonathan Converse, Chalmers Industriteknik

Projektnummer
2023.6.2.7
Titel på projektet – svenska
Fuel identification - Verifierad bränsleanvändning inom tunga vägtransporter
Titel på projektet – engelska
Fuel identification – Verified fuel use in heavy road transport
Projektledareorganisation
CIT Renergy
Namn på projektledare
Matthias Schmitz
Namn på ev övriga projektdeltagare
Jonathan Converse, Beatriz Cabrero-Daniel, Jonas Sjöblom, Fredrik Hildor, Pontus Bokinge
Nyckelord: 5-7 st
Fuel identification, biofuels, e-fuels, CO ₂ emissions allocation, fuel sensors, digital twins, neural networks

Sammanfattning

I projektet "Fuel identification - Verifierad bränsleanvändning inom tunga vägtransporter" undersöktes vilka teknologier lösningar kan vara gångbara för att identifiera vilket bränsle som finns i tanken av tunga lastbilar.

Det är sannolikt att ett stort antal lastbilar som kan drivas med fossila bränslen kommer att vara i drift långt efter 2030. För att kunna detektera att lastbilar som i framtiden enbart ska drivas med förnybara drivmedel faktiskt använder sådana, måste tekniska lösningar utvecklas som kan utföra en sådan detektion säkert, kostnadseffektivt och på fordonsnivå.

Projektet visar att de gångbara och tillgängliga teknologierna kan indelas i 3 huvudsakliga kategorier:

- *Fysiska sensorer*, som direkt mäter bränslets egenskaper och på så vis kan detektera skillnader mellan olika bränslen.
- *Smarta detektorer*, i vilka sensorer som redan finns i fordonet används för att efter en initial mappning mäta olika bränslens egenskaper.
- *Digitala tvillingar*, där hela ekosystemet för tankning, inklusive bensinstationer, fordon, betalningssystem och leveranskedjor kan replikeras.

Även märkning av bränslen undersöktes, men förkastades som alternativ för detta ändamål. Under projektet genomfördes en litteraturstudie och två öppna workshops. Analysen av de olika teknologierna visar att lösningar redan existerar i praktiken, men att det också finns utmaningar, till exempel kostnaden och komplexiteten för att eftermontera fysiska sensorer i den befintliga flottan, samt komplicerad modellering och tillgång till stora mängder av träningsdata för smarta detektorer och digitala tvillingar.

Projektet finansierades genom Trafikverket inom ramen för Triple F samt in-kind från expertgruppen. Projektgruppen bestod av Matthias Schmitz, Fredrik Hildor och Pontus Bokinge (CIT Renergy), Jonathan Converse (Chalmers Industriteknik), Beatriz Cabrero-Daniel och Christian Berger (Göteborgs Universitet) och Jonas Sjöblom (Chalmers Tekniska Högskola) och fick stöd från expertgruppen bestående av Mats Hultman (Neste), Monica Johansson och Anna Lutz (Volvo Trucks Technology), Jonas Strömberg (Scania), Liene Norberg (Biofuel Express), Magnus Nyfjäll (Colabit) och Pär Forsberg (Consat).

Summary

The project "Fuel identification - Verified fuel use in heavy road transport" investigated which technologies can be viable to identify the fuel in heavy trucks' tanks.

It is likely that a large number of trucks that can run on fossil fuels will be in operation long after 2030. In order to be able to detect that trucks, which are mandated to be solely powered by renewable fuels, are actually using these, technical solutions must be developed that can perform such detection safely, cost-effectively and on a vehicle level.

The project shows that viable and available technologies can be divided into 3 main categories:

- *Physical sensors*, which directly measure the properties of the fuel and thus can detect differences between different fuels.
- *Smart detectors*, in which sensors already in the vehicle are used to measure the properties of different fuels after an initial mapping.
- *Digital twins*, where the entire refueling ecosystem, including petrol stations, vehicles, payment systems and supply chains, can be replicated.

Fuel labelling was also explored but rejected as an option for this purpose. During the project, a literature study and two open workshops were conducted. The analysis of the different technologies shows that solutions already exist in practice. However, there are also challenges, such as the cost and complexity of retrofitting physical sensors into the existing fleet, as well as complicated modeling and access to large amounts of training data for smart detectors and digital twins.

The project was financed through Trafikverket within the framework of Triple F and in-kind from the expert group. The project group consisted of Matthias Schmitz, Fredrik Hildor and Pontus Bokinge (CIT Renergy), Jonathan Converse (Chalmers Industriteknik), Beatriz Cabrero-Daniel and Christian Berger (University of Gothenburg) and Jonas Sjöblom (Chalmers University of Technology) and received support from the expert group consisting of Mats Hultman (Neste), Monica Johansson and Anna Lutz (Volvo Trucks Technology), Jonas Strömberg (Scania), Liene Norberg (Biofuel Express), Magnus Nyfjäll (Colabit) and Pär Forsberg (Consat).



Innehållsförteckning

<i>Sammanfattning</i>	3
<i>Summary</i>	4
1. Inledning	6
Bakgrund.....	6
Problemställning	6
Syfte	7
Arbetssätt.....	7
Indelning av rapporten och arbetsfördelning.....	7
Avgränsningar	8
Begrepp och beteckningar	8
2. Bidrag till Triple F	9
3. Genomförande	10
Litteratursökning.....	10
Workshops.....	10
4. Resultat	11
Märkning av bränslen.....	11
Databaserade lösningar	12
Sensorbaserade lösningar.....	17
Dataregulatoriska aspekter.....	20
Bränsleregulatoriska aspekter	22
Use case: Neste och Scania	26
5. Analys: olika lösningars för- och nackdelar	27
Inordning i förhållande till WGMMs ("Stuttgartgruppen") slutrapport.....	28
6. Diskussion	30
7. Nyttiggörande och nästa steg	31
Tolkning och användbarhet av resultaten	31
Möjlig framtida utveckling	31
Spridning av resultat.....	31
Identifikation av relevanta utlysningar för uppföljningsprojekt	32
<i>Referenser</i>	33

1. Inledning

Bakgrund

Tunga transporter i Sverige står för betydande utsläpp av växthusgaser, som under 2023 uppgick till 2,78 miljoner ton koldioxidekvivalenter [1]. Detta motsvarar ca. en tredjedel av vägtrafikens utsläpp och 6,5% av Sveriges totala klimatutsläpp [2].

Den största delen av dessa utsläpp utgörs av CO₂ från förbränning i dieselmotorer. Utsläppen har successivt minskats, både på grund av effektivisering och framför allt en ökad användning av biodrivmedel såsom FAME och HVO. Minskningen är 43,9% mellan 2010 och 2022. 23% av den totala energin som användes 2023 i transportsektorn härstammar från förnybara drivmedel, och HVO utgör 70% av dessa [3].

Fordonsbranschens egna klimatmål är mer ambitiösa än så och siktar på att sänka CO₂-emissionerna med 70% i tidsintervallet 2010 – 2030, med målet om en helt fossilfri flotta 2045. För tunga fordon ska detta bland annat ske genom en högre elektrifiering, där 50% av all försäljning planeras vara elektriska lastbilar till 2030. Samma år vill branschen att 15% av alla sålda tunga lastbilar ska drivas med biogas [3]. Med tanke på att endast 4% av alla nyregistrerade tunga fordon under 2023 var eldrivna finns en risk att elektrifieringsmålet inte kommer att nås – och även vid en försäljning av 50% elektriska lastbilar skulle vid användning av en typisk S-kurva för adaptationen av innovationer bara 15% av den rullande flottan vara elektrifierad 2030 [4]. Den senaste sänkningen av reduktionsplikten och bränsleskatten i början på 2024 har dessutom lett till att många nya fossildrivna lastbilar har registrerats som kommer att finnas på svenska vägar under många år framöver. Med dessa siffror som bakgrund är det sannolikt att en stor andel fossildrivna lastbilar kommer att vara i drift långt efter 2030.

Problemställning

Så länge det finns lastbilar som kan drivas med fossilt dieselbränsle och så länge detta bränsle kan köpas till ett lägre pris än förnybara drivmedel måste det antas att åtminstone delar av den existerande flottan kommer att försöka kostnadsminimera genom att utnyttja denna möjlighet – även om de registrerades efter ett förbud mot fossildrivna förbränningsmotorer.

Om förnybara drivmedel (dvs biodrivmedel och RFNBOs) ska kunna vara konkurrenskraftiga mot fossila bränslen, måste sistnämndas användning därför antingen i viss mån förbjudas att användas i tunga lastbilar eller göras ekonomiskt oattraktivt. Då analyser av prisutvecklingen för fossil diesel och förnybara drivmedel ligger utanför projektets scope kommer rapporten fokusera på den första möjligheten, specifikt hur drivmedelstypen som används i tunga lastbilar skulle kunna detekteras.

Sekundärnyttor med en lösning som sitter i fordonet skulle kunna vara enklare mätning och rapportering av hållbarhetsdata per fordon (inklusive identifikation av fordonet för lägre vägskatt eller tillgång till innerstäder, om sådana regler skulle införas) och möjligheten att anpassa motorns kontrollenhet till olika drivmedel, som kan leda till högre effektivitet och lägre bränsleförbrukning.



Syfte

Det finns ett antal olika tekniska lösningar som har testats/demonstrerats och som försöker lösa problemet på olika ställen i värdekedjan, men i dagsläget finns ingen branschgemensam standard som definierar vilken eller vilka av dessa som kommer att implementeras praktiskt. Ägarskapet av hårdvara som sensorer, men även av data som dessa skulle generera är än så länge oklart. Dessutom råder ovisshet gällande potentiella värdekedjor och framtida nationella och internationella regelverk. Projektet syftar till att lägga en kunskapsbas för branschen att jobba mot en standardiserad lösning för detektionen av drivmedel i fordon, med fokus på tunga lastbilar.

Som tidigare nämnt leder framtida lagstiftning till en situation där tunga lastbilar kan både drivas med fossila och förnybara drivmedel och där det finns ett intresse av att detektera drivmedelstypen och verifiera dess klimatprestanda.

Lösningar krävs som fungerar både nationellt och internationellt samt är lättimplementerbara för samtliga aktörer längs värdekedjan för tunga transporter. En initial litteraturanalys identifierade två huvudspår: helt databaserade lösningar samt sådana som använder fysiska sensorer i fordonet.

Det kan också nämnas att den CO₂-minskningen som hittills åstadkommits genom användning av biobränslen har ofta överskattats. ECA (European Court of Auditors) rekommenderar därför att EU-kommissionen ska: ”improve data relevance and coherence, as well as transparency of reporting on achievement of targets. [5]”, vilket förutsätter tillförlitliga mät- och övervakningsmetoder.

Målet med projektet är att identifiera och rangordna de mest lovande teknologier som kan hjälpa den europeiska tunga transportsektorn att säkerställa användning av koldioxidneutrala bränslen i enlighet med lagen och på ett hanterbart sätt för hela transportbranschen.

Arbetsätt

För att kunna identifiera samt analysera och jämföra gångbara lösningar som fungerar inom hela (väg)transportbranschen genomfördes en litteraturstudie och omvärldsbevakning. På två öppna workshops presenterades resultaten samt diskuterades för- och nackdelar för olika alternativa lösningar. Gällande och kommande lagstiftning och frågeställningar kring datahantering och ägandeskapet av data som generas och behöver hanteras för att säkerställa spårbarhet analyserades i ett eget kapitel.

Indelning av rapporten och arbetsfördelning

Eftersom en liknande funktion (dvs att bestämma om drivmedel i en fordonstank kan identifieras) har historiskt fyllts av markörer i själva bränslet, kommer denna teknik och dess aktuella bruk beskrivas innan de mest lovande alternativ, sensor- och databaserade lösningar, presenteras på djupet. Regulatoriska aspekter på bränsle- och datasidan och en analys av olika lösningars för- och nackdelar avslutar resultatkapitlet. Rapporten avrundas med presentationen av ett implementerat use case.

CIT Renergy har i huvudsak bidragit till kapitel 1, 2, 3 och 7 samt avsnitten ”Märkning av bränslen” och ”Bränsleregulatoriska aspekter”. GU ansvarade för kapitlet ”Databaserade lösningar” och Chalmers för kapitlet ”Sensorbaserade lösningar”. Avsnittet



”Dataregulatoriska aspekter” har skrivits av Chalmers Industriteknik. Kapitel 5 och 6 togs fram gemensamt.

Avgränsningar

Den dominerande frågan som analyseras i denna rapport är hur tankning av fossil diesel skulle kunna upptäckas, vilket bygger på antagandet att fossil diesel kommer att vara tillgänglig en lång tid framöver. Den till synes enklare problemlösningen att förbjuda försäljningen av fossila drivmedel bär med sig sina egna utmaningar, vilka diskuteras senare i rapporten. Eftersom författarna anser detta scenario som mindre troligt förutsätts därför att försäljning av fossila drivmedel, i synnerhet diesel, kommer att vara tillåten även i framtiden och att användningen kommer att vara potentiellt lönsam i jämförelse med förnyelsebara alternativ.

Rapporten behandlar inte heller frågor kring förnyelsebara drivmedels tillgänglighet, prisutveckling, produktionskapacitet etc. Den inledningsvis diskuterade problematiken gällande elektrifieringen kvantifieras inte, vilket innebär att lösningar som eventuellt skulle kunna påskynda omställningen såsom retrofitting av IC-lastbilar med elektriska drivlinor inte analyseras heller. Istället begränsas scope:t till identifikation av bränslen i själva fordonet och under tankningsprocessen.

Begrepp och beteckningar

Begreppen *smarta detektorer* och *soft sensors* används synonymt i rapporten eftersom båda begrepp används i litteraturen. Samma gäller för begreppen *bränsle* och *drivmedel*, där det sistnämnda historiskt oftast har definierats som en undergrupp till bränslen och som används för drift av motorer (till skillnad från till exempel bränslen för uppvärmning). Däremot används *bränslen* även om ändamålet är motordrift, till exempel av Skatteverket.

2. Bidrag till Triple F

Omställningen av den tunga godstransporten till fossilfrihet har hittills mestadels byggts på energieffektivisering, den begynnande elektrifieringen och inblandningen av biodrivmedel (respektive försäljning av dessa i ren form såsom HVO100). För att nå de ambitiösa målen sektorn och lagstiftningen har satt till 2030 och därefter behövs lösningar även för den existerande lastbilsflottan. Bland annat måste användningen av förnybara drivmedel vara mät- och verifierbart. Projektet bidrar med en översikt över möjliga lösningar som snabbt skulle kunna leda till en rimligt prissatt och standardiserad lösning, vilket ytterst möjliggör för förnybara drivmedel att användas på ett konkurrenskraftigt sätt.

Potentialen att bidra till CO₂-reduktioner är svårt att uppskatta då denna starkt beror på den fysiska möjligheten att använda fossil diesel i konkurrens med förnybara drivmedel i framtiden.

3. Genomförande

Projektet genomfördes under 2024 av CIT Renergy, Chalmers Industriteknik, Göteborgs Universitet samt Chalmers Tekniska Högskola och utfördes mest som skrivbordsstudie som mynnade ut i kontakter med branschföreträdare i två workshops. Expertgruppen bidrog med branschkännedom längs vägen.

Litteratursökning

Litteraturanalysen tjänade framför allt syftet att skapa sig en överblick över tekniker som har potential att användas i syfte att detektera olika drivmedel i tanken samt det regulatoriska ramverket. Intervjuer med externa experter och företag kompletterade detta arbetsmoment. Både peer-reviewade artiklar och annan litteratur analyserades för att studera databaserade lösningar. Lovande stödteknologier extraherades från den insamlade litteraturen, och den akademiska litteraturen skannades för att hitta deras begränsningar. Litteraturen analyserades sedan kvantitativt för att uppskatta populariteten för de identifierade teknikerna och lösningarna.

Workshops

Två öppna workshops genomfördes under året; på den första, med fokus på sensorbaserade lösningar, presenterades en överblick över projektet, möjliga huvudvägar för sensorlösningar samt en nulägesanalys av tekniker för detektionen av drivmedel i tanken.

Den andra workshopen behandlade databaserade lösningar samt regelverket en möjlig teknisk implementering skulle behöva förhålla sig till och avrundades med en extern presentation av en representant från den så kallade Stuttgart-gruppen, ett större projekt med inblandning av många spelare i den europeiska fordons- och drivmedelsbranschen.

4. Resultat

Märkning av bränslen

Märkning av bränslen är och har historiskt varit en viktig del av skattelagstiftningen för att säkerställa korrekt beskattning och överensstämmelse med regler för användning av skattelättade bränslen. Syftet med märkning är att tydligt identifiera och särskilja olika typer av bränslen som är föremål för olika skattesatser och regler. I dagens skattelagstiftning finns det specifika märkningskrav för skattelättade bränslen såsom lågskattadiesel. Märkningen görs vanligtvis genom färgämnen eller märkningstillsatser som tillsätts till det lågskattade bränslet, vilket gör det möjligt för tull- och skattemyndigheter att enkelt skilja mellan olika bränslekategorier och säkerställa korrekt skattebetalning och efterlevnad av regelverket.

I svensk kontext märks bränslen satta med skattelättnader enligt Lag (1994:1776) om skatt på energi. Verksamheter med skattebefriade bränslen är exempelvis sjöfart, tågtrafik och flygtrafik. Nyligen genomfördes en förändring inom denna förordning då märkämnet byttes från ”Solvent Yellow 124” till ”Accutrace™ Plus” där det aktiva märkämnet är butoxibensen som verkställdes i januari 2024 [6]. Detta som ett steg att homogenisera systemet inom Europa som använt olika märkämnen. Med detta skifte kommer det tidigare grönt färgade bränslet också att färgas blått/blågrönt beroende på hur gult bränslet var från början. Detta har även påverkat en av de andra applikationerna för färgning av bränsle för stöldmärkning från till exempel skogsmaskiner som använt blått färgämne [7].

Inom myndigheterna så är det Skatteverket som är utredningsansvariga och myndigheter som Tullverket (vägtrafiken), Kustbevakningen (mindre båtar) och Polismyndigheten (skepp) som bedriver kontrollverksamhet. Utifrån intervjuer med ansvariga personer på Tullverket och Kustbevakningen så framgick det att frågan lyfts inom Kustbevakningen mer under de senaste åren i samband med informationskampanjer [8] till fritidsbåtsägare som tankar fel vid sjömackar. Här har det också uppmärksamats att benämning ”grön diesel” missförstås som miljöbränsle som dessutom varit billigare än vanlig blank diesel.

Erfarenheter från kontrollerna av märkta bränslen är att det fungerar bra med färgningen för okulär kontroll och ge en uppfattning om skattebefriat bränsle används felaktigt. Det har även gått att se med blotta ögat med det gamla färgämnet om det har gjorts försök till att ta bort eller dölja färgämnet då bränslet då fått en grumligare karaktär. Med det nya märkämnet och färgämnet är det framför allt kvantifiering av märkämnet butoxibensen som kan användas för identifiering av skattefusk och därför behövs det skickas för analys. Detta gör att varje kontroll beläggs med kostnader, utöver personalkostnaden för rätt utbildad personal för provtagning, även för analyserna av proven [9].

Sammanfattningsvis går det att konstatera att märkning av bränslen är en effektiv metod för att ge en uppfattning om vad för typ av bränsle man har i tanken vid en okulärbesiktning. Den är då även billig då själva märkningen utgör en försumlig del av bränslekostnaden. Däremot är det ingen effektiv metod ifall prov behöver extraheras och skickas för analys för kvantifiering av märkämne för en hel fordonsflotta. I ett scenario där man vill säkerställa att varje individuell lastbil endast har fossilfria bränslen i tanken vid varje givet tillfälle skulle det krävas en stor mängd bränsleprover. Dessa bränsleprover skulle generera ett behov av en administration som klarar av detta och att utföra analyser av dessa prover. Detta skulle därför med stor sannolikhet generera mycket höga kostnader och skulle inte vara ett hållbart tillvägagångssätt för applikationen som utreds i denna rapport.

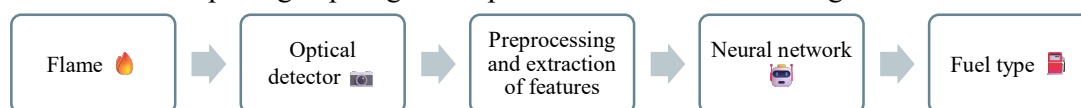
Databaserade lösningar

Det finns olika synsätt i den akademiska litteraturen när det gäller datadrivna tekniker för identifiering av förnybara bränslen i tanken. Två tillvägagångssätt är värda att nämna: *smarta bränsledetektorer*, som fokuserar på att förbättra hårdvarusensorer med datorteknik; och *digitala tvillingar*, som bygger en virtuell kopia av de system som studeras för att övervaka dem och hjälpa till att fatta välgrundade beslut om bränsleanvändning. I detta projekt har vi utforskat några fall för båda tillvägagångssätten och diskuterat dem i vår kontext.

Smarta detektorer och artificiella neuron nät

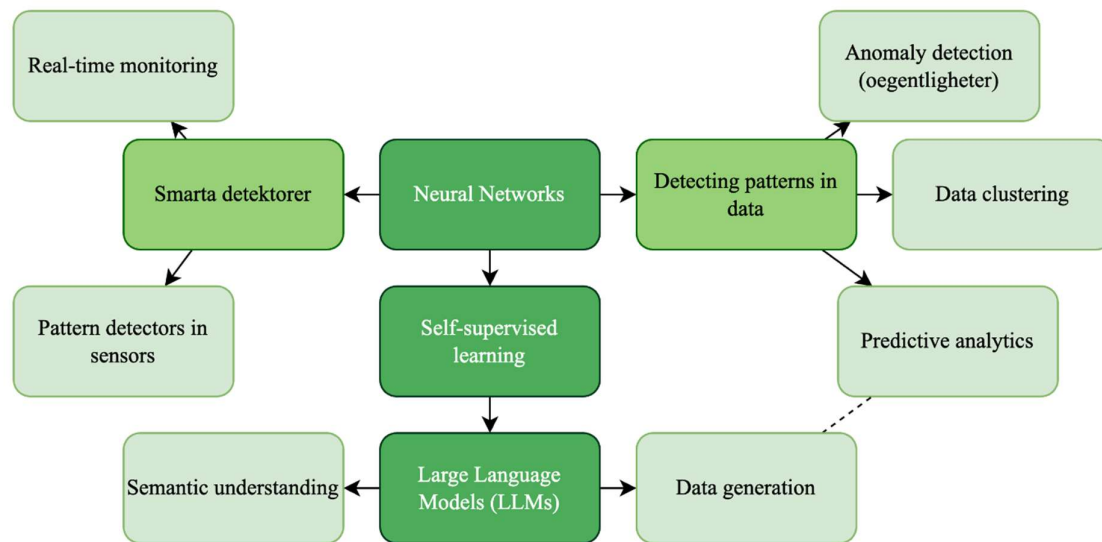
Den första av de akademiska trenderna bygger på "smarta detektorer". Dessa tränas med data från olika källor, vilket kan inkludera prover från fordonstanken, och kan därefter detektera bränsletypen.

Ett exempel på detta är arbetet av Xu et al., som föreslår användningen av artificiella neuron nät för att kartlägga flamfärg till unika typer av bränslen [10]. Artificiella neuron nät består av lager av sammankopplade noder som kan utföra enkla beräkningar med data de tar emot. Med träning, som kräver att de matas med stora mängder relevanta (ofta manuellt märkta) data, justerar artificiella neuron nät kopplingarna mellan dessa noder. Detta gör dem kapabla att känna igen mönster och komplexa relationer, till exempel vilket bränsle som används baserat på färgen på lågan den producerar under förbränning.



Figur 1: Schematisk representation av processen föreslagen av Xu et al.

Mätnoggrannheten är över 90 % [10], vilket gör denna föreslagna bränsledetektor effektiv, förutsatt att lösningen bygger på en enda optisk detektor till låg kostnad. Databaserade metoder baseras i första hand på data – helst i skala, vilket innebär att samla in stora mängder rådata. Relevanta praktiska och i viss mån även teoretiska utmaningar inkluderar då behovet av lämpliga metoder som ger semantiskt sammanhang åt den insamlade rådatan. Konkret finns det ett behov av att identifiera mönster av viss karaktär såsom återkommande eller oegentligheter däri som behöver tolkas i ett konkret tillämpningssammanhang. Men eftersom sådan data växer snabbt, behövs ett maskinassisterat tillvägagångssätt för att hitta mönster. Följande diagram ger en översikt i vilken kapacitet sådana maskinassisterade tillvägagångssätt som maskininlärning (ML) kan hjälpa till att bearbeta data live (dvs. online i realtidssammanhang) eller offline under efterbearbetning av data.

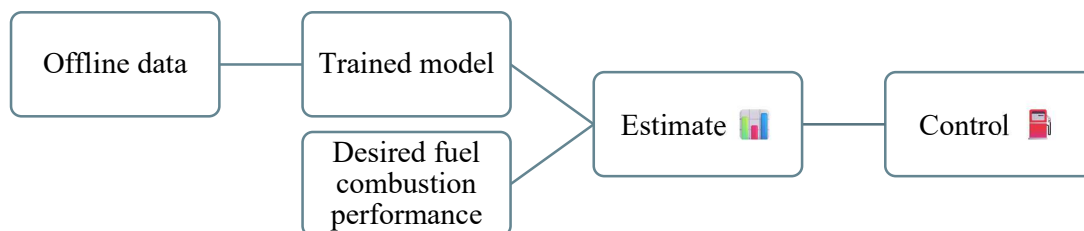


Figur 2: Mind map som kopplar samman olika användningsmöjligheter för NN.

Databehandlings- och analysteknikerna i Figur 2 (grön) skulle kunna användas för olika uppgifter (ljusgrön) kopplade till att bestämma vilken sorts bränsle som finns i tanken, som att integreras i smarta sensorer för att upptäcka mönster i data under drift. Dessa lösningar diskuteras mer i detalj i nästa avsnitt.

Under de senaste åren har vi sett framväxten av självövervakade artificiella neuronnät, som kan lära sig av data utan att kräva stora mängder manuellt märkta exempel. GPT-modeller, en typ av LLMs (i Figur 2), som används i verktyg som ChatGPT, tränas med hjälp av självövervakad inläring och har observerats prestera bra på många specifika tekniska uppgifter som att generera funktioner att testa mjukvara [11], upptäcka fotgängare framför ett fordon [12] eller utföra säkerhetsanalyser och riskbedömningar för säkerhetskritiska system [13]. Dessa modeller skulle potentiellt också kunna kombineras med sensordata för att låta smarta sensorer uppdatera sin mappning av låga till bränsletyp under drift.

Mappningarna kan sedan användas för att fatta beslut. Pal et al. föreslår att träna en modell mellan olika bränslen och förbränningsmotorers prestanda och vice versa [14], som möjliggör att byta bränsle i realtid för flerbränslefordon. Detta skulle göra det möjligt för systemet (till exempel en lastbil) att automatiskt välja den lämpligaste bränsletypen baserat på realtidsdata och prestandakrav. Värt att notera är att i denna studie (för obemannade flygplan, UAV) används en cylindertrycks-sensor som sällan finns i vägfordon. (Detta problem adresseras i stycket nedan om soft sensors). En sådan automatisering har potential att förbättra driftseffektiviteten, kan bidra till en mer hållbar bränsleanvändning i förbränningsmotorer och är ett utmärkt exempel på den praktiska tillämpningen av datadriven teknik inom sektorn för förnybara bränslen.



Figur 3: Schematisk representation föreslagen av Pal et al.

I vårt specifika användningsfall skulle ett liknande tillvägagångssätt kunna användas. Istället för byta ut bränslet i flerbränslefordon skulle modellen kunna användas för att optimera användningen av fordonsflottor för att distribuera varor. Detta system kan till exempel användas för att uppskatta hur många fordon som ska skickas och var de ska tanka baserat på transportbehoven och flottans mål. Detta skulle kunna kopplas till ett certifieringssystem för att verifiera användningen av specifika förnybara bränslen, som ses i Figur 3 och som diskuterats i projektet “Connected Filling.”

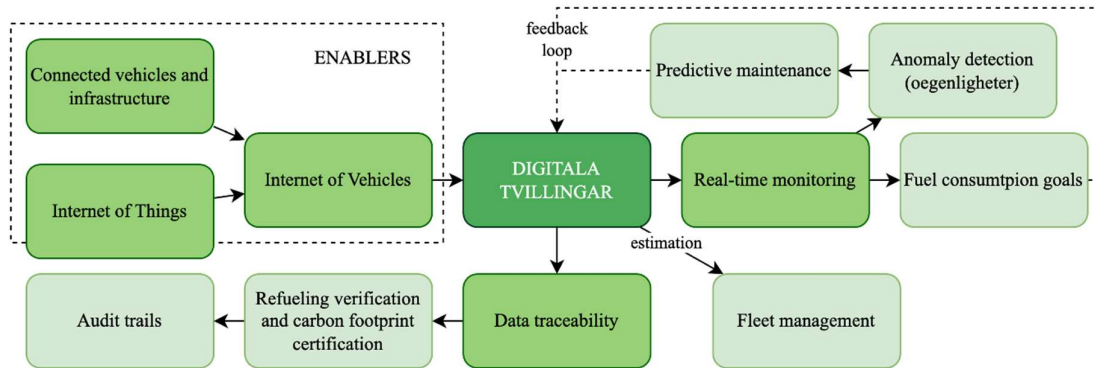
Som tidigare nämnt är smarta detektorer dock beroende av stora mängder träningsdata, som i nuläget ofta är svåra att samla in och bearbeta. Att samla in relevant data är ofta tidskrävande och kostsamt, särskilt om data måste annoteras manuellt med hög noggrannhet, som diskuterats tidigare. Denna utmaning kan begränsa skalbarheten och effektiviteten hos smarta detektorsystem, vilket gör det viktigt att utforska alternativa metoder, såsom självövervakad inlärning.

Även med avancerade tekniker som självövervakade artificiella neuronnät är det avgörande att ha tillräckligt med varierade och högkvalitativa data för att modellerna ska lära sig användbara mönster och mappningar av hur olika bränslen interagerar med motorns prestanda. I detta avseende konstaterar Pal et al. att “data scarcity is an issue for capturing accurate engine dynamics, which directly affects the performance [of the trained system]” [14].

Digitala tvillingar

En annan möjlighet att upptäcka förnybara bränslen i tanken bygger på övervakning av tankningsprocessen. Genom att upprätthålla korrekta register kan bränslets härkomst och användning spåras, vilket underlättar verifieringsprocesser. Denna spårbarhet förbättrar integriteten och ansvarsskyldigheten genom att tydligt dokumentera bränsletransaktioner. Information kan lagras till exempel på en så kallad **blockchain**. En blockchain är en kedja för information-”brödsmlor” vars länkar verifieras av en oföränderlig kontrollsumma som bygger på den direkt föregående informationsbrödsmlan (och därmed skapar en verifierbar kedja av information). Följaktligen är det inte möjligt att ändra vissa data däremellan utan att omberäkna kontrollsumman hela vägen upp till slutet av kedjan, vilket förhindrar manipulering av lagrade data.

När väl maskinassisterade metoder som ML har använts för att identifiera vissa mönster i insamlade data, kan resultaten användas som input för ytterligare metoder för att dra nytta av sådana insikter. Ett av instrumenten som kan komplettera befintliga simuleringar, som har byggts upp kring regler eller förklarbara modeller för naturfenomen, är **digitala tvillingar**, som använder modeller utvunna från sådana mönster för att förutsäga relevanta egenskaper (med en given felmarginal). Antagandet här är att med en tillräckligt stor underliggande datauppsättning som har använts för att extrahera modeller för digitala tvillingar, skulle en acceptabel approximation för egenskaper av intresse vara möjlig. Följande diagram ger en översikt över möjliga användningsområden för digitala tvillingar.



Figur 4: Mind map som kopplar samman olika tillämpningar av digitala tvillingar.

En studie av Cabrero-Daniel et al. lyfter fram krav för att säkerställa tillförlitligheten hos cyber-fysiska system och föreslår digitala tvillingar som ett verktyg för att övervaka och granska tillståndet för en fordonsflotta [15]. Digitala tvillingar är virtuella kopior av fysiska system eller processer som möjliggör både deras realtidsövervakning och prediktioner. I en fordonskontext kan en digital tvilling modellera fordon, flottor och aktörer längs värdekedjan på många nivåer. En digital tvilling kan till exempel:

- Simulera prestandan av ett enskilt fordons drivlina, vilket kan användas för optimerad bränsleanvändning.
- Spåra och analysera rutter, bränsleförbrukning och prestanda för en hel flotta, vilket möjliggör bättre logistikplanering och bränsleeffektivitet.
- Replikera hela (eller delar av) ekosystemet för tankning, inklusive bensinstationer, fordon, betalningssystem och leveranskedjor. Detta koncept har framgångsrikt utvärderats i ett samarbetsprojekt mellan Scania och Neste (se kapitel ”Use case: Neste och Scania” nedan).

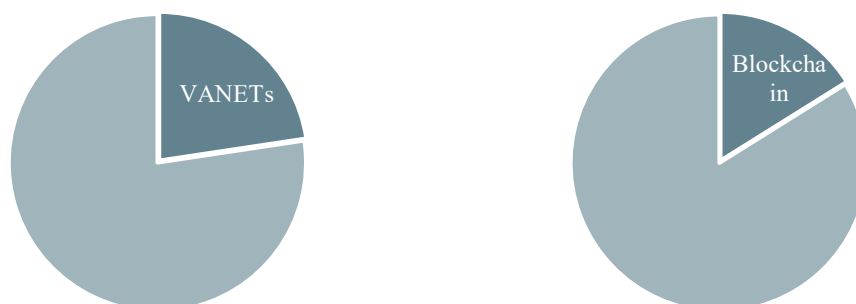
Genom att modellera dessa olika systemnivåer kan digitala tvillingar till exempel hjälpa operatörer att hantera resurser effektivt, förutse efterfrågan och planera underhållsbehov.

Insamling, hantering och ägande av data

Insamlingen av data, både för träning av smarta detektorer och för att ge data till digitala tvillingar, är också föremål för befintliga och framtida bestämmelser om integritetsskydd. I den akademiska litteraturen listas flera öppna utmaningar:

Internet of Vehicles (IoV) syftar till att koppla samman olika trafikagenter för att utbyta data. Detta uppnås ofta tack vare Vehicle Ad Hoc Networks (VANETs), som möjliggör decentralisering av datautbytet genom att förlita sig på ett dynamiskt nät av trafikagenter, istället för en redan existerande fast infrastruktur. Zavvos et al. betonar dock att det är en utmaning att upprätta avtal om datadelning i linje med dataskyddslagar, särskilt när det gäller IoV och VANET, på grund av deras dynamiska karaktär [16]. VANETs är en populär typ av ad hoc-nätverk (23 % av 2024 års peer-reviewade artiklar om dataöverföring i fordon fokuserar uteslutande på VANET) som gör det möjligt för fordon att dela information med varandra och med väginfrastruktur. Även om VANETs erbjuder betydande fördelar, står de också inför utmaningar som att säkerställa datasäkerhet och integritet, hantera nätverkets tillförlitlighet och hantera höga mobilitetshastigheter som kan leda till frekventa fränkopplingar.

I sitt arbete fokuserar Zavvos et al. på utmaningarna att integrera transaktionsdata (till exempel bränsleinköpsregister, distributörsinformation, etc.) med ombordsensorerna i fordon [16], men dessa utmaningar kan utvidgas till andra aspekter av tankningsprocessen, som att inkludera sensorer för identifiering av förnybara bränslen i tanken.



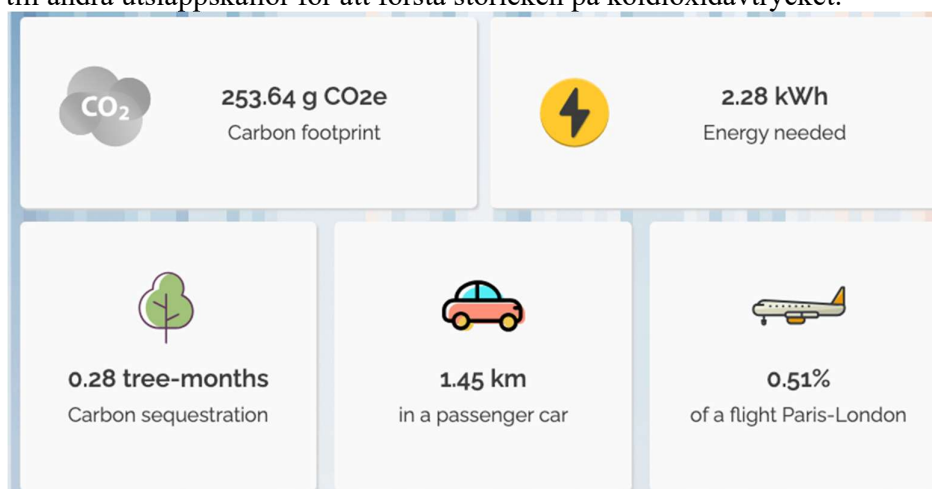
Figur 5: Andel artiklar om dataöverföring bland fordon som nämner VANETs och Blockchain.

Dessutom varnar Zavvos et al. för att den systematiska, storskaliga insamlingen av information kan göra det lätt och lönsamt att missbruka den insamlade informationen. Blockchain fungerar här som ett decentraliserat nätverk, vilket innebär att det inte finns någon central myndighet som kontrollerar data, vilket minskar risken för fallerande överföring och tar bort behovet av en betrodd mellanhand. Sammanfattningsvis behöver frågan om ägande av data och datahantering diskuteras vidare för att kunna använda datadrivna lösningar för bränsledetektion fullt ut.

Koldioxidavtryck för beräkningar

Insamling, bearbetning, lagring och hämtning av data är resurskrävande. Av denna anledning är den akademiska litteraturen också intresserad av att kvantifiera koldioxidavtrycket av beräkningar som behövs för att analysera de realtidsdataströmmar som diskuterats ovan.

Ett exempel på detta är studien av Lannelongue et al. om koldioxidavtrycket från beräkningar [17], som åtföljs av en webbapplikation (tillgänglig på <https://www.green-algorithms.org/>). Applikationen uppskattar koldioxidutsläppen baserat på flera parametrar, till exempel antalet bearbetningsenheter (CPU:er och GPU:er) som används. Verkytget sätter sedan utsläppen i relation till andra utsläppskällor för att förstå storleken på koldioxidavtrycket.



Figur 6: Kalkylator för koldioxidavtryck "Green Algorithms" baserad på Lannelongue et al.

Koldioxidavtrycket av att arbeta med data måste därför komplettera diskussionen om bränslespårning och hur man uppnår det. Detta öppnar dörren för framtida forskning om kostnadsavvägningar för att implementera dessa lösningar, de dataresurser som behövs för att studera dessa kompromisser och de regler som kan styra och skydda data.

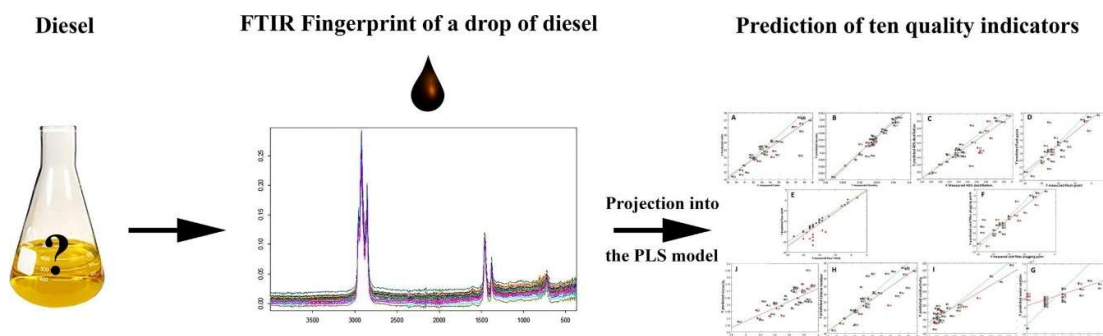
Sensorbaserade lösningar

För att bestämma vilket sorts bränsle det finns i tanken ned hjälp av sensorer finns det flera olika tekniker. Det bör påpekas direkt att ursprunget (biogent eller fossilt) aldrig kan bestämmas om bränslemolekylerna är identiska. Detta problem är dock endast aktuellt för mindre molekyler såsom vätgas, hög-ren metan eller metanol. Så länge det finns små (men mätbara) skillnader mellan olika bränslen finns möjligheten till sensorbaserade lösningar. För tunga vägtransporter (som är fokus i detta projekt) är diesel det dominerande bränslet och diesel består av en blandning av olika molekyler som därmed har olika egenskaper som därmed kan utnyttjas på olika sätt. Vi kommer här att skilja på *bränslesensorer* (off-line), *processsensorer* (on-line, direktmätande) och smarta detektorer (on-line, eller s.k. *soft sensors*)

Bränslesensorer

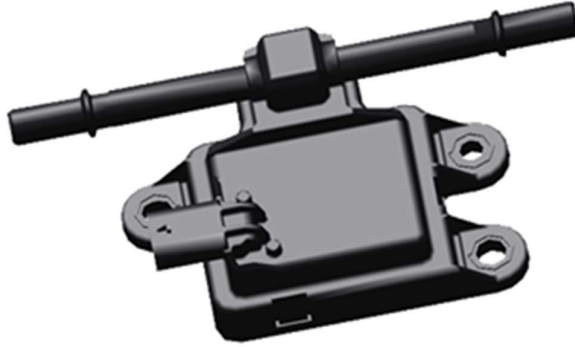
Dessa typer av sensorer mäter kemiska och/eller fysikaliska egenskaper hos bränslet. De är ofta ”oförstörande”, så att de går att installera on-line.

- Spektroskopiska sensorer använder till exempel IR (infraröd) eller NIR (Nära infraröd) spektroskopi och utnyttjar sk funktionella grupper, som ofta är karaktäristiska för biodiesel. Några referenser ges här: [18, 19, 20, 21]



Figur 7. Illustration över hur spektroskopi kan användas tillsammans med modellering för att bestämma bränslekvallité från referens [18].

- Fysikaliska sensorer kan utnyttja skillnader i tex konduktivitet (som i sin tur beror på andel polära molekyler i bränslet som har en annan dielektrisk konstant än vanligt dieselbränsle. Återigen så har biobränslen (FAME) funktionella grupper som kan utnyttjas och i Frankrike så använder Volvo denna teknologi för att avgöra om fordonet körs på B100 (FAME) eller inte.



Figur 8. Exempel på en sensor för bränslekvalitet (B100) som används av AB Volvo för B100 för vissa marknader.

Process-sensorer

Dessa sensorer mäter speciella egenskaper under drift, dvs vid förbränning. Här behöver man montera sensorn ganska nära förbränningsprocessen och de behöver då vara robusta för att tåla både vibrationer och höga temperaturer.

- Lambda-sensorer kan användas för att mäta syrehalten i bränslet och det mest kända exemplet är etanol som kan mätas i fallet E85 (ca 85% etanol i bensin) för lätta personbilar. Då olika andel E85 i tanken ger olika förbränning, behöver motorn anpassas till rådande etanol-halt i bränslet. Detta kan göras (tex med lambda sensorer). Obs! Lambdasensorerna behövs även för reglering av 3-vägs-katalysatorer, så man skulle kunna säga att lambdasensorn används som en *soft sensor* (se nedan)
- Även sensorer för vridmoment (vridmomentssensor) och förbränningsljud (vibrationssensor) kan användas för att bestämma bränslekvalitet. Här utnyttjas att olika bränslen brinner olika fort vilket ger olika tryckprofiler i cylindern, vilket kan mätas med dessa sensorer.

Några referenser/exempel på tillämpningar finns i litteraturen [22, 23].

Smarta detektorer (Soft sensors)

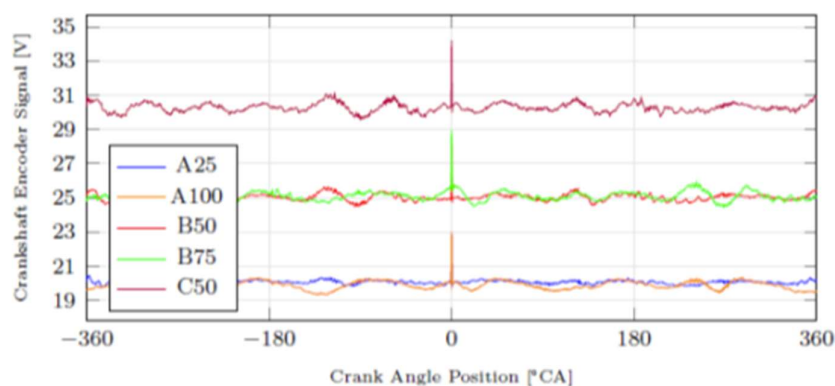
Soft sensors utnyttjar redan befintliga signaler i fordonet och använder dessa för att kalibrera tex mot bränslekvalitet. Konceptet med soft sensors är mycket vanligt tex inom processindustrin. Smarta detektorer är ännu ett namn som uppkommit i samband med tillämnning av AI för modelleringen och illustrerades i figur 2 ovan ("smart fuel detectors").

I alla exempel ovan (både bränslesensorer och process-sensorer) så har funktionella grupper (ofta inklusive syreatomer) i bränslet använts. I fallet HVO100 är detta en utmaning, då det inte finns några tydliga funktionella grupper. Dock så är innehållet av aromater högre i fossil diesel och då aromater antänds lite långsammare än alkaner (längre kolkedjor) så påverkas cetantalet. Här behöver man då utnyttja det faktum att olika centantal ger olika "fasning" av förbränningen vilket ger olika tryckprofiler. Dessa "tryckspår" används ofta inom motorforskning och skulle kunna användas som en process-sensor (och användes i studien av Pal som beskrevs ovan), men trycksensorer är tyvärr ofta alltför dyra för kommersiella vägfordon. Tryckvariationerna ger dock upphov till accelerationer på vevaxeln och vevaxeln har en sensor som används för tex insprutningsfasning och annan motorkalibrering. Denna sensor (rotational speed sensor) kan då utnyttjas för att bestämma bränslekvalitet och då den alltid finns tillgänglig (för bränsle-injektions-styrning) skulle den kunna implementeras brett i alla fordonsflottor. I allmänhet måste beaktas att metoder som förlitar sig på detektionen av



cetantalet inte kan garantera att det använda bränslet är av förnybart ursprung – medan skillnaden är tydlig mellan HVO och fossil diesel, har GtL (gas to liquid) – bränslen liknande cetantal som HVO.

I många studier har denna sensor använts för att bestämma oktantal i gnisttända motorer [24]. I en tidigare studie [25] på Chalmers, har man visat att förbränningsfasningen (tex mätt som CA50, då 50% av bränslet har förbränts) kan predikteras med denna rotationssensor. Fortsatt forskning pågår kring hur man kan klassificera bränslet (EN590 eller HVO100) med den rotationssensor som redan finns inbyggd i motorns styrsystem. Resultaten visar på hög prediktionsförmåga vid klassificering [26] och patent har sökts för metodiken [27].



Figur 9. Exempel på signalerna för en rotationssensor. Olika varvtal ger olika "höjd" och olika motorlast ger olika "amplitud". Från referens [25]

Gemensamt för studierna med rotationssensorer, är att de inte ännu har implementerats i verkliga fordon. Det finns fler källor till variabilitet än de som mäts på labb och att visa på en robust sensorlösning kommer bli en utmaning, speciellt för vägfordon (som visserligen ofta står stilla men som annars har ett mycket varierat körbeteende). För stationära applikationer eller då drivlinan är "enklare" som ett fartyg, kan denna problematik bli mindre.

Diskussion kring implementering av sensorer för tunga transporter

Mycket av forskning och utvecklingen baseras på ny, icke-existerande teknologi. Tex skulle avancerade spektroskopiska sensorer för ombord-mätning vara dyra och ta lång tid för att nå en bred implementering i fordonsflottan. Då målen för CO₂-reduktion behöver ske snabbare än den takt som fordonsflottan byts ut, är existerande signaler och/eller sensorer nödvändiga. Tex den bränslesensor som Volvo använder för B100 är existerande och borde fungera bra. Även att använda existerande signaler via soft sensors (tex rotation speed) är möjlig, men kräver modellering för att prediktera bränslekaraktär. Denna är inte demonstrerad i bred implementering, vilket dock kan ändras i närtid.

Slutsats

Det finns många sätt som man kan mäta bränslekaraktär och så länge som skillnaden är stor nog mellan olika kvaliteter (och sensorn har tillräckligt bra upplösning) så är sensorbaserade lösningar ett möjligt alternativ.

Dataregulatoriska aspekter

Från ett dataregulatoriskt perspektiv finns det flera viktiga aspekter att beakta för både data- och sensorbaserade system, de viktigaste av vilka går att koppla till Dataskyddsförordningen GDPR, som reglerar behandlingen av personuppgifter inom EU.

Personuppgiftsskydd och integritet

System för bränsleövervakning kan samla in data som indirekt kan identifiera individer, till exempel genom registreringsnummer på fordon eller geografiska positioner. Enligt GDPR måste personuppgifter behandlas på ett sätt som är lagligt, rättvist och transparent för individen. Detta innebär att tydliga samtycken måste inhämtas där det är nödvändigt, och att informationen om datainsamlingen, dess syfte och hur länge data kommer att lagras, ska vara lättillgänglig för de berörda.

Säkerhet och datahantering

För att skydda den insamlade data från obehörig åtkomst eller manipulation, måste robusta säkerhetsåtgärder implementeras. Detta inkluderar kryptering av dataöverföringar samt säker lagring av information. Systemen måste också utformas så att de endast samlar in data som är nödvändig för det specifika syftet – i detta fall, att verifiera användningen av förnybara bränslen och inte för att kontrollera förarens positionering vid användning av fordonet utan förarens samtycke.

Ansvar och tillstånd

Det måste finnas tydliga riktlinjer för vem som är ansvarig för datainsamlingen och hur lång tid informationen får lagras. Vidare krävs lämpliga tillstånd och godkännanden från relevanta myndigheter, vilket i Sverige kan inkludera Transportstyrelsen och Integritetsskyddsmyndigheten. Dessa organ skulle övervaka att system för bränsledetektion inte bara uppfyller tekniska krav utan också följer gällande lagar och regler för dataskydd. Dessa myndigheter borde utforma rapporteringen utifrån dataminimerings perspektiv och krav på personligt identifierbar information.

Öppenhet och involvering av intressenter

För att skapa ett system som är accepterat av allmänheten är det viktigt att genomföra öppna konsultationsprocesser med olika intressenter, inklusive fordonstillverkare, transportföretag, och civilsamhället. Genom att inkludera dessa grupper i utformningsprocessen kan man säkerställa att systemet inte skapar onödiga risker för dataintegriteten av personuppgifter eller cyberattacker.

Compliance och uppföljning

Det måste även finnas effektiva mekanismer för att övervaka och säkerställa efterlevnaden av de regler som styr användningen av systemet. Detta kan innebära regelbundna revisioner och uppdateringar av systemet för att hantera nya tekniska utvecklingar samt ändringar i lagstiftningen.

Andra dataregulatoriska aspekter

För att skydda insamlad data från obehörig åtkomst, manipulation eller förlust, krävs avancerade säkerhetslösningar. Detta inkluderar kryptering av dataöverföringar och säker lagring, samt regelbundna säkerhetsrevisioner för att identifiera och åtgärda sårbarheter. Implementeringen bör också följa NIS-direktivets krav på säkerhet för nätverks- och informationssystem, särskilt då dessa system kan betraktas som en del av kritisk infrastruktur.



Överensstämmelse med annan lagstiftning

Utöver GDPR kan andra svenska och EU-lagar påverka hur databaserade system får användas. Detta kan inkludera lagar om vägtrafik, transport av farligt gods, och arbetsrätt. Det är viktigt att systemen utformas så att de överensstämmer med alla relevanta regler.

Bränsleregulatoriska aspekter

I Sverige är den regulatoriska lagstiftningen kring användningen av förnybara drivmedel i tunga transporter en del av landets bredare åtaganden för att minska utsläppen av växthusgaser och främja hållbara transportlösningar. Lagstiftningen och regleringen av förnybara bränslen involverar både nationella bestämmelser och EU-direktiv som Sverige är skyldig att följa. Nedan följer en översikt över några av de viktigaste lagstiftningarna och regleringarna som påverkar användningen av förnybara drivmedel och/eller utsläppen av koldioxid från tunga transporter.

Beskrivningen av Svenska regelverk utgår från nu gällande lagar, som främst berör biodrivmedel. Dessa kommer anpassas så att andra typer av förnybara drivmedel omfattas (sådana drivmedel som i EU-lag kallas ”förnybara bränslen av icke-biologiskt ursprung” och ”återvunna kolbaserade bränslen”, där endast den första bränsletypen kommer kunna användas för att uppfylla reduktionsplikten).

Krav på drivmedelleverantörer

Förnybartdirektivet (RED III)

Förnybartdirektivet¹ [28](Renewable Energy Directive III, RED III) är en central EU lagstiftning som syftar till att öka andelen energi från förnybara källor i EU till minst 42,5 % till 2030.

Särskilt för transportsektorn (artikel 25.1) gäller att användning av förnybara drivmedel eller förnybar el ska

”leda till en

i) andel förnybar energi i den slutliga energianvändningen i transportsektorn på minst 29 % senast 2030, eller

ii) minskning av växthusgasintensiteten med minst 14,5 % fram till 2030, jämfört med det referensvärde som anges i artikel 27.1 b², i enlighet med en vägledande utvecklingsbana som fastställts av medlemsstaten,”

Vidare kräver artikel 25.1 att minst 5,5 % av energin som levereras till transportsektorn 2030 utgörs av antingen avancerade biodrivmedel eller RFNBO (förnybara bränslen av icke-biologiskt ursprung, ”elektrobränslen”), varav minst 1 %-enhet ska vara RFNBO. Samtliga drivmedel som räknas mot målen i artikel 25.1 måste uppfylla de hållbarhetskriterier som fastslås i direktivet.

Direktivet säger att ”[v]arje medlemsstat ska fastställa en skyldighet för bränsleleverantörer att säkerställa att [de minimiandelar som nämns ovan uppnås]”. Det innebär att kravet på regelefterlevnad läggs på drivmedelleverantörerna (inte på slutanvändarna) och att varje medlemsstat kan påverka regelverkets utformning inom sin jurisdiktion.

¹ Alla hänvisningar är till den konsoliderade versionen daterad 20 november 2023.

² Något förenklat kan referensvärdet sägas motsvara utsläppen om bara fossila drivmedel används.

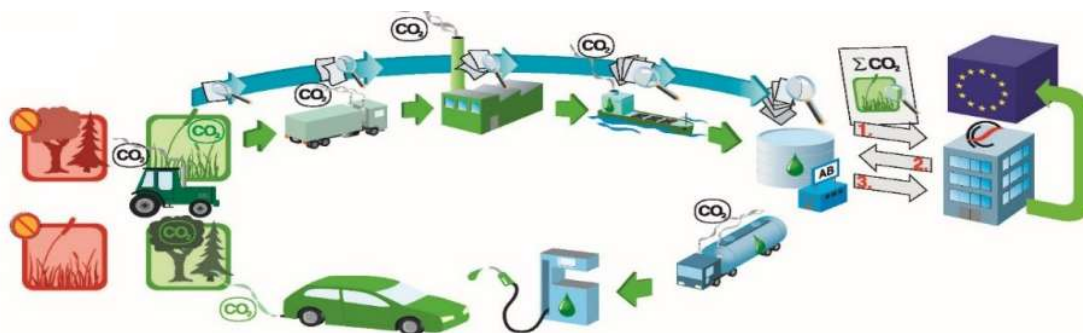
I Sverige har tidigare iterationer av förnybartdirektivet implementerats genom lag och förordning om hållbarhetskriterier [29], [30] samt reduktionsplikten³.

Reduktionsplikten innebär att berörda aktörer (något förenklat: drivmedelleverantörer) ska minska utsläppsintensiteten ($\text{gCO}_{2,\text{ekv}}/\text{MJ}$) i sålda reduktionspliktiga drivmedel⁴ jämfört med referensvärden som motsvarar utsläppen från fossil bensin och diesel. I praktiken åstadkoms detta genom inblandning av förnybara drivmedel. Nivån på reduktionsplikten har varierat kraftigt de senaste åren. År 2024 innebär reduktionsplikten 6 % minskning av utsläppsintensiteten för både bensin och diesel och i juni 2025 ska den höjas till 10 % för båda bränslena.

Utsläppen från biodrivmedel inom reduktionsplikten beräknas enligt riktlinjerna i RED III, vilket bland annat innebär att hänsyn tas till produktionsutsläpp och att utsläpp från förbränning av biodrivmedlen sätts lika med noll. För att tillgodoräknas inom reduktionsplikten måste biodrivmedel uppfylla de hållbarhetskriterier som finns i RED III, vilka implementeras i svensk lagstiftning genom lagen om hållbarhetskriterier.

Lagen om hållbarhetskriterier innehåller bestämmelser om vilka biodrivmedel och biobränslen som ska anses hållbara och om hållbarhetsbesked som visar detta. Aktörer som är *rapporteringskyldiga* enligt lagen ska bland annat lämna uppgifter som behövs för Sveriges rapportering till EU enligt förnybartdirektivets krav. För biodrivmedel är det – något förenklat – bara drivmedelleverantörer som är rapporteringsskyldiga vilket innebär att de årligen måste rapportera hur mycket biodrivmedel som sålts (egentligen: skattats) i Sverige. Samtliga rapporterade biodrivmedel ska omfattas av *hållbarhetsbesked* som utfärdas av Energimyndigheten och är bevis på att drivmedelleverantören har kontrollsystem som säkerställer att biodrivmedlen uppfyller lagens hållbarhetskriterier (samma som Förnybartdirektivets hållbarhetskriterier). Systemet illustreras i Figur 10.

Hållbarhetsbesked är relevanta inom flera andra regelverk och krävs bland annat för att tillgodoräkna biodrivmedel enligt reduktionsplikten, för att nollrapportera biogena utsläpp inom EU-ETS och för att erhålla skattenedsättning för biodrivmedel.



Figur 10. Det svenska systemet med hållbarhetsbesked. Efterlevnad av hållbarhetskriterier visas genom kontrollsystem som täcker hela värdekedjan från råvara till rapporteringsskyldigt företag (drivmedelleverantör). Dokumentationsflödet visas i övre delen av figuren. Illustration från Energimyndigheten [31].

På EU-nivå finns flera *frivilliga certifieringssystem* som har godkänts av Europeiska kommissionen och som kan användas för att visa att producerade/levererade biodrivmedel,

⁴ Reduktionspliktiga drivmedel är drivmedel som innehåller högst 98 volymprocent biodrivmedel och som inte används av Försvarsmakten.

biobränslen och råvaror uppfyller hållbarhetskriterier enligt RED III. En aktuell lista av godkända system tillhandahålls av kommissionen⁵. Enligt artikel 31a i RED III ska kommissionen säkerställa att det senast den 21 november 2024 inrättas en unionsdatabas som gör det möjligt att spåra förnybara bränslen inom unionen. Databasen ska omfatta alla aktörer som är certifierade enligt något av de frivilliga certifieringssystemen och täcka hela värdekedjan från råvara till färdigt drivmedel eller bränsle. Berörda aktörer ska registrera samtliga transaktioner och lagersaldon i databasen⁶.

EU ETS (Emissions Trading System) är ett system för handel med utsläppsrätter (rätten att släppa ut ett ton koldioxidekvivalenter) som är utformat för att minska växthusgasutsläppen inom unionen genom att fastställa en gräns för totala utsläpp (totalt antal utsläppsrätter i systemet) och tillåta handel med utsläppsrätter. De totala antalet utsläppsrätter per år minskar enligt en förutbestämd bana och genom att tillåta handel mellan aktörer inom systemet premieras kostnadseffektiva lösningar för minskade utsläpp.

Inom ETS rapporterar berörda verksamhetsutövare årligen sina totala utsläpp till behörig myndighet (i Sverige: Naturvårdsverket). Samtliga utsläppsrapporter verifieras av ackrediterade organ som bland annat granskar mätutrustning, beräkningsmetoder och utsläppsfaktorer.

Större industrianläggningar, förbränningsenheter och flygoperatörer har länge omfattats av systemet som under åren 2024–2026 utvidgas så att även rederier omfattas. Dessutom tillkommer det separata systemet ETS 2 som omfattar utsläpp inom en rad sektorer, i synnerhet vägtransporter.

Till skillnad från ETS är ETS 2 ett ”uppströmssystem” vilket innebär att systemet inte reglerar slutanvändare utan verksamhetsutövare som tillgängliggör bränsle för användning inom de sektorer som omfattas⁷. I praktiken omfattas framför allt producenter, distributörer och importörer av bränslen/drivmedel.

Inom ETS och ETS 2 premieras hållbara bränslen och drivmedel genom att biogena utsläpp tillskrivs emissionsfaktorn 0 och därför inte kräver utsläppsrätter. För att tillgodoräkna sig nollutsläpp måste verksamhetsutövare visa att berörda bränslen/drivmedel uppfyller hållbarhetskriterierna i REDIII vilket innebär att de måste omfattas av hållbarhetsbesked (Sverige) eller vara certifierade enligt något av de certifieringssystem som kommissionen godkänner (se avsnittet om REDIII ovan).

Krav på fordonstillverkare

Normer för koldioxidutsläpp från nya tunga fordon

Ovan nämnda regelverk reglerar framför allt bränsleleverantörer; utöver dessa regelverk ställs krav på fordonstillverkare. I EU 2019/1242 samt ändringsförordningen EU 2024/1610 ställs krav gällande genomsnittlig CO₂-utsläppsintensitet (gCO₂/tkm) i tillverkarnas nyförsäljning av tunga fordon (>7,5 ton).

⁵ https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/bioenergy/voluntary-schemes_en

⁶ <https://www.iscc-system.org/certification/union-database-udb/essential-information-on-the-union-database/>

⁷ Systemet omfattar verksamheter som tillgängliggör bränsle för konsumtion, dvs. hantering som medför att skattskyldighet inträder enligt lag (1994:1776) om skatt på energi: <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/ets2-utslappshandelssystem-for-vagtransporter-byggnader-och-ytterligare-sektorer/verksamhetsutovare/>



Jämfört med 2019 ska denna minska med:

- 15 % till 2025
- 45% till 2030
- 65% till 2035
- 90% till 2040

Dessa krav avser CO₂-utsläpp från fordonens avgasrör oavsett vilket ursprung koldioxiden har. Det innebär att kraven inte kan uppnås genom användning av bio- eller e-bränslen utan kräver ökad försäljning av el- eller vätefordon. Under förhandlingarna av EU 2024/1610 föreslog parlamentet⁸ en mekanism för att räkna fordon som enbart körs på koldioxidneutrala drivmedel (bio- eller e-bränslen) mot målen, men gav inga detaljer kring utformningen. Den beslutade förordningen innebär att en sådan mekanism kan införas när förordningen ses över år 2027⁹.

Slutsatser

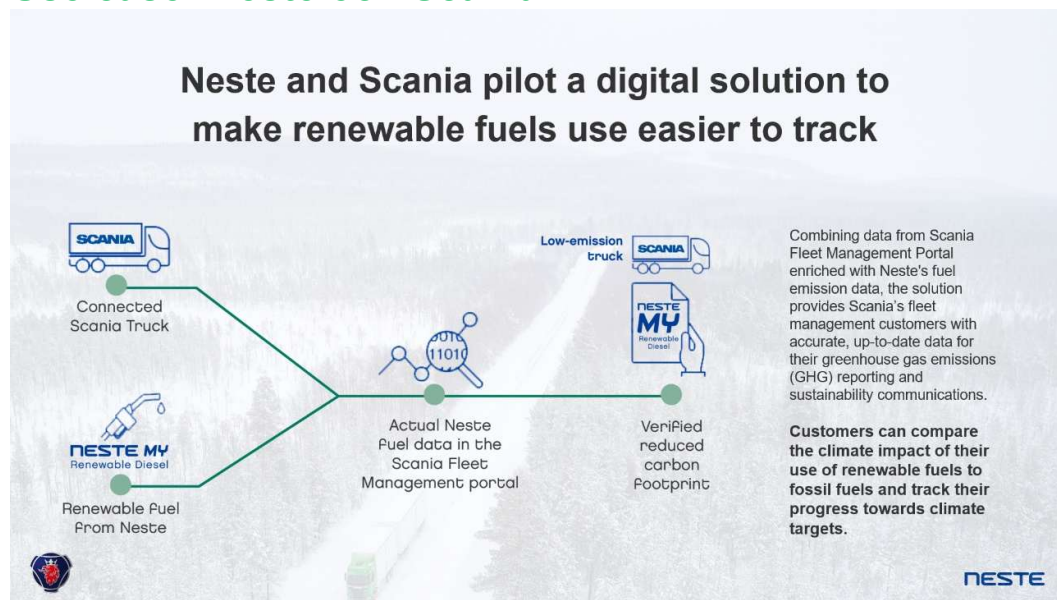
Användningen av förnybara drivmedel i EU regleras framför allt genom regelverk som träffar drivmedelleverantörerna och som styr både vilka mängder förnybara drivmedel som görs tillgängliga på marknaden samt de hållbarhetskriterier som dessa måste uppfylla. Det finns inom Sverige och EU väletablerade system för certifiering och spårning av förnybara drivmedel från råvara till färdigt drivmedel.

Regelverken som styr drivmedelleverantörerna har dock inga mekanismer för att kontrollera vilka fordon som använder de drivmedel som tillgängliggörs på marknaden. Det innebär att andra kontrollsystem behövs om ny lagstiftning införs som syftar att styra användningen av förnybara drivmedel till vissa typer av fordon. Om regelverket kring normer för koldioxidutsläpp från nya tunga fordon anpassas för att inkludera fordon med förbränningsmotor som bara använder koldioxidneutrala drivmedel (bio- och e-bränslen) krävs ett system för att specifikt säkerställa att nya fordon inte använder fossila drivmedel. Detta kommer krävas under en period då fossila drivmedel (enligt de regelverk som gäller för drivmedelleverantörer) fortfarande finns på marknaden.

⁸ https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2023-0403_EN.pdf

⁹ https://theicct.org/wp-content/uploads/2024/05/ID-130-%E2%80%93-EU-CO2_policy_update_final.pdf

Use case: Neste och Scania



Figur 11. Beskrivning av pilotprojektet genomfört av Neste och Scania

Ett exempel på test som redan har genomförts är ”Connected Filling”-projektet, en Kooperation mellan Neste och Scania. Med fordonsdata som samlas in från Scantias lastbilsflotta och emissionsdata som tillhandahålls av Neste för deras produkt HVO kan kunder enklare jämföra klimatnyttan i att använda biodrivmedel istället för diesel. Medan detta har även tidigare varit möjligt på företagsnivå med en massbalansapproach, satsar detta projekt på en lösning för uppföljning på fordonsnivå, vilket möjliggör för transportföretaget att enkelt rapportera en detaljerad utsläppsrapport både till sina kunder och myndigheter. En sekundärnytta är att data som behövdes samlas in manuellt tidigare nu finns i digital form utan manuell insamling.

Tekniken möjliggör verifikationen av användningen av förnybara drivmedel i fordon som också kan drivas fossilt och kan därmed ses som ett möjligt svar på förstudiens frågeställning. Huruvida den enkelt kan skalas upp för att kunna användas för olika fordonsfabrikat och drivmedelsleverantörer vore viktiga frågor att undersöka i ett uppföljningsprojekt. Fler informationer kring projektet kan hittas på Nestes hemsida [32].

5. Analys: olika lösningars för- och nackdelar

De analyserade tekniska lösningarna (utöver märkning av bränsle, som identifierades som inte gångbar i stor skala) kan delas in i 3 olika kategorier:

1. Digitala tvillingar är ett koncept som kan tillämpas på många olika nivåer och diskuteras i avsnitten ovan som en lösning för att samla in och lagra data. Detta kan hjälpa fordonsägaren eller -operatören att övervaka systemet och fatta datadrivna beslut om bränsleanvändningen.

En sådan lösning använder inga fysiska sensorer och ställer därmed inga direkta krav gällande hårdvaran. Samtidigt kräver metoden att alla fordon och tankstationer är uppkopplade mot ett molnbaserat system. Detta är idag tekniskt möjligt (se use case), men kräver i full skala att alla OEMs och bränsleleverantörer är anslutna och att alla företag kan dela data för rapportering till EU och nationella myndigheter, men även att konfidentiell information inte kan läcka ut till obehöriga.

Pilotlösningen som Neste och Scania föreslår för att spåra användningen av förnybara bränslen kan ses som en typ av digital tvilling eftersom den tar information från den verkliga världen (inklusive certifikat för koldioxidavtryck), lagrar den och använder den för att övervaka systemet och/eller fatta beslut om det (i det fallet en fordonsflotta). Den här lösningen ger kunderna korrekta och uppdaterade data så att de kan förstå sin klimatpåverkan och planera sin användning av förnybara bränslen för att uppnå klimatmålen. Å andra sidan skulle denna lösning också kunna göra det möjligt för myndigheter att övervaka de uppkopplade lastbilsflottorna och följa deras framsteg mot klimatmålen samt att planera utbyggnaden av stationer för förnybara bränslen.

2. Smarta detektorer eller soft sensors använder *befintliga* sensorer och kan därmed bli ett kostnadseffektivt och robust alternativ. Lösningen kräver ingen direkt kommunikation mellan OEM och bränsleleverantörer, då själva bränslet analyseras under drift.

Däremot krävs avancerad modellering för implementeringen av den befintliga sensorns nya funktionalitet (och ett bra kalibrer-dataset), vilket kan vara en utmaning både gällande systemets komplexitet och kostnad. Är bränslet LBN/CBG eller hög-ren metanol så kommer denna lösning sannolikt inte fungera, då det utan tillsatta spårämnen blir omöjligt att skilja mellan kemiskt identiska molekyler av förnybart respektive fossilt ursprung. Då dock dieselbränsle spås dominera länge för tunga fordon, kan denna lösning bli ett intressant alternativ.

3. Det finns redan idag fysiska sensorer som kan detektera vilket bränsle som används, till exempel baserat på IR/NIR-spektroskopi eller konduktivitetmätning. Teknologin är mogen och har visat sig fungera bra för att skilja åt bränslen med tydliga kemiska skillnader såsom B100/FAME och fossil diesel. För biobränslen som kemiskt liknar motsvarande fossilbränsle mer, har denna metod sannolikt för låg selektivitet och kan därför inte användas generellt. Sensorer som baseras på IR/NIR-spektroskopi är därtill i nuläget för dyra för en bred användning i hela flottan.

Inordning i förhållande till WGMMs ("Stuttgartgruppen") slutrapport

Under december 2024 släppte en sammanslutning av europeiska fordons- och drivmedelsföretag, den så kallade Stuttgartgruppen eller *Working Group on Monitoring Methodologies* (WGMM), en rapport innehållande en utvärdering av potentiella teknologiska lösningsansatser för övervakning av användningen av det som gruppen definierar som CO₂-neutrala drivmedel i vägtrafiken [33]. Scope:t är således bredare än i föreliggande rapport då all vägtransport omfattas. WGMM's rapport sammanställdes som svar på EU-kommissionens förfrågning till industrin att presentera sådana lösningar och presenterar 11 olika tekniska alternativ, klassificerade enligt 2 olika tillvägagångssätt:

1. *Direkt verifiering* eller "Direct Exclusive CNF to vehicle" (där CNF är gruppens egen definition på "Carbon Neutral Fuels") och
2. "Mass balanced CNF", som skulle kunna nämnas *Rapportering* på svenska.

I vår rapport har vi huvudsakligen fokuserat på det som i WGMM's rapport kallas för *Direkt verifiering* och har identifierat liknande alternativ som Stuttgartgruppens rapport. Vi har dessutom identifierat *digitala tvillingar* som ett generellt samlingsnamn för lösningar som använder data från olika sensorer, informationer om systemet (till exempel deras specifikationer gällande bränsleförbrukning) och andra relevanta källor (till exempel certifieringsmyndigheter) för att hjälpa användare och/eller myndigheter att fatta välgrundade beslut. Definitionen av digitala tvillingar omfattar alltså allt från ett virtuellt övervakningssystem som replikerar den verkliga världen, till ett system som kan göra förutsägelser och uppskattningar baserat på insamlade realtidsdata och agera på den verkliga världen.

De gula textfälten i figuren visar var lösningar som analyserats i denna studie kan inordnas i förhållande till Stuttgartgruppens arbete.

APPROACH	Direct Exclusive CNF Supply to Vehicle				Mass Balanced CNF Supply for Specific Vehicle via Common System.	
	The CNF is delivered directly to the vehicle. The fuel pump and supply are exclusively CNF, and the vehicle consumption is exclusively CNF. The vehicle does not and cannot receive or use any fossil-based fuel. The physical movement of carbon-neutral fuel through a dedicated supply chain is too restrictive during the transition phase primarily due to the significant infrastructure investments and logistical complexities involved. Establishing an independent supply chain to avoid contamination requires substantial capital expenditure and time, which can be prohibitive for early-stage implementation. Additionally, the limited availability of dedicated fuelling stations can create inconveniences for consumers, leading to range anxiety and hesitancy in adopting carbon-neutral fuel vehicles. This approach also poses challenges for fuel suppliers and retailers in predicting demand and ensuring consistent supply, further complicating the transition.				This mimics the operation of the electricity grid, where there are both renewable and non-renewable suppliers, and customers for 100% renewable, or non-renewable electricity. All of the electricity is carried on a common grid but renewable off-take contracts are exactly matched to certain 100% renewable supply. Similar to renewable electricity supply contracts, indirect but precisely matched supply of CNF into existing fuel supply infrastructure, equivalent to consumption of identified vehicles, the CNF sustainability and quantity certification must be reported to account for the fuel consumed by the CNF vehicles. Digitised transactions and ledger accounts can provide high accuracy and rigour. Nonetheless, this approach is not supported by the proposed inducement system for CNF vehicles by the European Commission.	
CONCEPT	Regional Exclusivity	Fuel Property Measurement	Fuel Additivition	Digitala tvillingar/Use-case Scania/Neste	Digital Supply Chain Tracking with Mass Balancing	Mass Balance
	8. EU Market exclusively supplied with CNF 1. Mechanical adaptation of Tank Filler	Bränslesensorer, processsensorer 5. Vehicle on-board fuel detection function 6. On-board Fuel Molecular Sensor Smarta detektorer	Märkning av bränslen 2. Fuel marker along upstream and downstream 4. Hybrid approach: Fuel Marker and DFTS	3. 100% digital fuel tracking from upstream to downstream 4. Hybrid approach: Fuel Marker and DFTS 7. Bidirectional communication between vehicle and gas station	11. Combined Mass Balancing DFTS w/ digital handshake 10. Fuel Usage	2. Mass Balancing
POTENTIAL TECHNOLOGIES	Rigorous Flexible					

Figur 12. WGMM's översiktstabell över 11 lösningsförslag gruppen har analyserat, samt inordning av kategorierna som definierades i denna rapport (gula textfält) [33]

6. Diskussion

Projektets huvudfokus har varit att hitta tekniker som enkelt, skalbart och kostnadseffektivt ska kunna övervaka och verifiera typen av drivmedel tunga lastbilar använder. Det kan diskuteras om en sådan lösning över huvud taget behövs när det finns ett uppenbart alternativ – att göra fossilfria alternativ ekonomiskt attraktivare än fossil diesel, eller förbjuda denna helt. Detta scenario förefaller dock osäker av flera anledningar:

- *Osäker prisutveckling för fossila drivmedel* – I takt med sjunkande projicerad efterfrågan för råolja på världsmarknaden på grund av stigande elektrifiering och ersättning av råoljeprodukter för andra ändamål såsom kraftproduktion eller uppvärmning finns möjligheten att marknadspriset för fossil diesel kan sjunka med efterfrågan.
- *Svårigheter att kontrollera gränsöverskridande trafik* – Även om fossil diesel skulle förbjudas inom EU skulle lastbilar som används i gränsöverskridande trafik kunna tankas i länder som ligger utanför EU och som inte nödvändigtvis skulle införa samma förbud. I sådana länder skulle tillgången av fossil diesel fortsatt kunna vara högre än den av förnybara alternativ och vid ett lägre pris skulle den gränsöverskridande trafiken sakna ekonomiska incitament för att tanka förnybara alternativ. Detta skulle leda till fortsatt konsumtion av fossil diesel i EU.
- *Potentiella kostnader för att anpassa lastbilar till förnybara drivmedel* – Beroende på vilket förnybart drivmedel som ska användas, skulle vissa tekniska anpassningar i lastbilen kunna bli nödvändiga. De låga marginaler inom transportsektorn spås kunna vara avskräckande för sådana investeringar och således försvåra satsningar med oklar lönsamhet jämfört med basfallet (dvs fossil diesel).

Med dessa scenarion som osannolika alternativ blir tekniker för bränsledetektion ännu viktigare. Resultaten presenterade i förra kapitlet tyder på olika för- och nackdelar för de olika teknologierna. *Fysiska sensorer* har den inbyggda nackdelen att det inte går att skilja mellan bränslets ursprung om dess molekyler är identiska, vilket mest spelar roll för bränslen bestående av mindre molekyler såsom vätgas, hög-ren metan eller metanol. Så länge det finns små (men mätbara) skillnader mellan olika bränslen finns möjligheten till sensorbaserade lösningar. Detta är fallet för dieselbränsle, som än så länge dominerar den tunga fordonssektorn. En utrullning av sensorer som inte finns i existerande lastbilar än är möjlig, men bär med sig risken att en bred implementering tar för lång tid och blir för kostsam.

Eftersom de använder redan existerande sensorer kan *smarta detektorer* vara en kostnadseffektiv lösning som har även potential att ge andra fördelar som optimerad motorprestanda när motorstyrningen kan lättare anpassas till det aktuellt använda bränslet. Dock kommer en sådan lösning vara beroende av stora mängder träningsdata som måste samlas in, bearbetas och lagras. Detta kräver omfattande beräkningsresurser vars klimatavtryck måste betraktas separat. Samma nackdelar gäller för *digitala tvillingar*. Huruvida detta kommer att vara ett problem även framöver med fortskridande utveckling och effektivisering inom datateknik, är oklart och analyserades inte i denna studie.

För alla betraktade lösningar är dessutom frågan om datahantering och -ägarskap centralt och måste undersökas noggrant.



7. Nyttiggörande och nästa steg

Tolkning och användbarhet av resultaten

Projektresultaten visar ett tydligt behov för en skalbar teknisk lösning för bränsledetektion. På kort och medellång sikt kan svenska aktörer såsom lastbilstillverkare, drivmedelsproducenter och -distributörer eller logistikföretag dra nytta av resultaten på olika sätt. Dels kan rapporten tjäna som orienteringshjälp inom gällande och kommande lagstiftning. Olika teknologiers för- och nackdelar belyses och en genomgång av grundteknologierna kan agera kunskapshöjande i en bransch som ska gemensamt utveckla en lösning som inom hela EU säkerställer att hållbara drivmedel på ett verifierbart sätt bidrar till omställningen mot fossilfrihet inom vägtransporter.

Framför allt visa resultaten vikten av en integration av databaserade lösningar som digitala tvillingar i branschens lösningsansatser för den gröna omställningen, utan vilken det är svårt att se att en heltäckande monitorering ska kunna ske. På lång sikt bidrar projektresultaten till att motverka osäkerheten som uppstår ur dissonansen mellan både branschens och lagstiftarens utsläppsmål å ena sidan och elektrifieringen å andra sidan, som antagligen inte kommer kunna stå för hela den projekterade utsläppsminskningen.

En grundläggande förståelse i att veta hur förnybara drivmedel kan detekteras vid tankning eller i fordonet och således användas på ett sätt som hjälper till att nå dessa mål är nödvändig för både företag och myndigheter inom transportsektorn för att ny- och vidareutveckla de tekniska lösningar som behövs för detta.

Möjlig framtida utveckling

Som beskrivit i kapitlet “Bränsleregulatoriska aspekter” måste bränsleleverantörer i Sverige redan idag rapportera data kring användning av förnybara drivmedel, dock bara årligen och inte på fordonsnivå. En potentiell utökning av den nationella lagstiftningen eller det överliggande europeiska RED-direktivet med dessa krav skulle kunna lägga den juridiska grunden att följa upp förbrukningen av förnybara och fossila bränslen mera noggrant från statligt håll.

Skulle en sådan förändring äga rum, måste primärt fordonstillverkarna hitta en lösning för att möjliggöra en sådan rapportering för alla tunga lastbilar som också kan drivas på fossila drivmedel. Som rapporten visar, skulle lösningen kunna baseras på fysiska sensorer, smarta detektorer, digitala tvillingar eller kombinationer av dessa, som i olika grad också kräver involvering av andra aktörer såsom bränsleleverantörer.

Att i detalj föreslå incentiveringen av en potentiell lösning ligger utanför projektets scope, men en anpassad version av bonus-malus-systemet baserat på inrapporterat bränsledata eller en anpassad CO₂-skatt skulle kunna vara möjliga vägar att betrakta närmare.

Spridning av resultat

Resultaten ska bland annat spridas genom denna rapport och har presenterats på ett f3-möte i Stockholm i januari 2025.

Identifikation av relevanta utlysningar för uppföljningsprojekt

Några relevanta utlysningar för vidare forskning inom området kunde hittas under projektets gång:

- EU-kommissionens utlysning “Permanently Open Call for Targeted Innovation Projects” (EITUM-BP23-25)
- Vinnova: FFI (Fordonsforskning och Innovation) har flera utlysningar varje år, till exempel i delprogrammet “Transport- och mobilitetstjänster” och ”FFI Accelerera omställningen till hållbara vägtransporter”
- EUREKA ITEA – International innovation projects within software-intensive systems and services (utlysning för 2024 stängt, men nyupplaga 2025 möjlig)

Referenser

- [1] Naturvårdsverket, ”<https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-fran-inrikes-transporter/>,” [Online].
- [2] Fossilfritt Sverige, [Online]. Available: [https://fossilfritt Sverige.se/roadmap/fordonsindustrin-tunga-fordon/#:~:text=Utsl%C3%A4ppen%20fr%C3%A5n%20tunga%20fordon%20\(%C3%B6ver, procent%20av%20de%20svenska%20klimatutsl%C3%A4ppen..](https://fossilfritt Sverige.se/roadmap/fordonsindustrin-tunga-fordon/#:~:text=Utsl%C3%A4ppen%20fr%C3%A5n%20tunga%20fordon%20(%C3%B6ver, procent%20av%20de%20svenska%20klimatutsl%C3%A4ppen..)
- [3] Fossilfritt Sverige, ”Färdplan för fossilfri konkurrenskraft - Fordonsindustrin - Tunga fordon,” 2024.
- [4] PowerCircle, ”Elektrifiering och laddning av tunga transporter,” 2021.
- [5] European Court of Auditors, ”The EU’s support for sustainable biofuels in transport - An unclear route ahead,” 2023.
- [6] Finansdepartementet, ”Genomförande av beslut om nytt märkämne för bränslen, Fi2022/02151,” <https://www.regeringen.se/contentassets/611fb410920a4d8c94df31865b678935/genomforande-av-beslut-om-nytt-markamne-for-branslen.pdf>, Juni 2022.
- [7] Skogsentreprenörerna, Augusti 2023. [Online]. Available: <https://www.skogsentreprenorerna.se/2023/08/den-1-juli-kom-nya-bestammelser-for-markning-av-fargad-diesel-forandringen-innebar-att-vi-pausar-forsaljningen-av-bla-stoldmarkning-av-bransle/>. [Använd 24 Juni 2024].
- [8] Kustbevakningen. [Online]. Available: <https://www.kustbevakningen.se/for-dig-pasjon/ar-gron-diesel-tillatet/#:~:text=%C3%84ndam%C3%A5l%20n%C3%A4r%20m%C3%A4rkt%20br%C3%A4nsle%20%C3%A4r%20till%C3%A5tet&text=Vid%20en%20kontroll%20ska%20de,och%20betala%20skatt%20f%C3%B6r%20br%C3%A4nslet..> [Använd 24 Juni 2024].
- [9] M. Stenfeldt, Interviewee, *Verksamhetsutvecklare Kustbevakningen*. [Intervju]. 21 Mars 2024.
- [10] L. Xu, Y. Yan, S. Cornwell och G. Riley, ”Online fuel tracking by combining principal component analysis and neural network techniques,” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, p. doi:10.1109/TIM.2005.851203, 2005.
- [11] B. Cabrero-Daniel, Y. Fazelidehkordi och A. Nouri, ”How Can Generative AI Enhance Software Management? Is It Better Done than Perfect?,” i *Generative AI for Effective Software Development*, 2024, pp. 235-255.
- [12] M. Ashani Mahawatta Dona, B. Cabrero-Daniel, Y. Yu och C. Berger, Evaluating and Enhancing Trustworthiness of LLMs in Perception Tasks, arXiv E-Prints, arXiv-2408, 2024.
- [13] A. Nouri, B. Cabrero-Daniel, F. Törner, H. Sivencrona och C. Berger, ”Engineering safety requirements for autonomous driving with large language models,” i *IEEE 32nd International Requirements Engineering Conference (RE)*, 218–228. IEEE., 2024.
- [14] A. Pal, A. Cornelius, Z. Sun, K. Kim och C.-B. M. Kweon, ”Data-driven real-time fuel cetane estimation and control design for multifuel UAVs,” *Applied Energy*, p. doi:10.1016/j.apenergy.2024.123336, 2024.

- [15] B. Cabrero-Daniel, Y. Fazelidehkordi och O. Ratushniak, "Trustworthy "blackbox" Self-Adaptive Systems," i *28th International Conference on Requirements Engineering: Foundation for Software Quality*, <https://ceur-ws.org/Vol-3378/reframe-paper3.pdf>, 2023.
- [16] E. Zavvos, E. H. Gerding, V. Yazdanpanah, C. Maple och S. Stein, "Privacy and Trust in the Internet of Vehicles," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, p. doi:10.1109/TITS.2021.3121125, 2021.
- [17] L. Lannelongue, J. Grealey och M. Inouye, "Green Algorithms: Quantifying the Carbon Footprint of Computation," *Advanced Science*, p. doi:10.1002/advs.202100707, 2021.
- [18] I. Barra, M. A. Mansouri, T. El Moatassem, M. Kharbach, H. Abou Oualid, Y. Cherrah, M. Hanafi, E. M. Qannari och A. Bouklouze, "Prediction of diesel fuel quality indicators using FT-MIR spectroscopy and chemometrics," *Infrared Physics & Technology*, p. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2022.104096>, 2022.
- [19] M. G. Nespeca, R. R. Hatanaka, D. L. Flumignan och J. E. D. Oliveira, "Rapid and Simultaneous Prediction of Eight Diesel Quality Parameters through ATR-FTIR Analysis," *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, p. <https://doi.org/10.1155/2018/1795624>, 2018.
- [20] I. Hradecká, R. Velvarská, K. D. Jaklová och A. Vráblík, "Rapid determination of diesel fuel properties by near-infrared spectroscopy," *Infrared Physics & Technology*, p. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2021.103933>, 2021.
- [21] I. Hradecká, A. Vrablik, J. Frateczak, N. Sharkov, R. Cerny och V. Honig, "Near-Infrared Spectroscopy as a Tool for Simultaneous Determination of Diesel Fuel Improvers," *ACS omega*, p. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c06845>, 2023.
- [22] G. Haft och P. Rodatz, "Method for regulating an air/fuel ratio and method for recognizing a fuel quality". Patent US20110040473A1, 2008.
- [23] I. W. Kay och R. P. C. Lehrach, "Torque sensing for controlled alternative-fuel combustion in diesel engines," *SAE transactions*, 1984.
- [24] A. Ghanaati, M. F. M. Said och I. Z. M. Darus, "Comparative analysis of different engine operating parameters for on-board fuel octane number classification," *Applied Thermal Engineering*, p. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.06.013>, 2017.
- [25] A. B. Ofner et.al., "Diesel Combustion Parameter Estimation via Machine Learning – A Comparative Study," *SUBMITTED*.
- [26] N. Guo, E. Jansson, M. Johansson, R. Lindgren, A. Nyman och J. Sjöblom, "Classification of fuel type for predictive maintenance in marine and industrial engines using time series feature extraction based on hypothesis tests and automated Machine Learning (AutoML)," *Submitted to Fuel*, 2024.
- [27] E. Ning Guo, M. Johansson, R. Lindgren, A. Nyman och J. Sjöblom, "POWER SYSTEM COMPONENT ASSESSMENT". Sweden Patent SE 2451149-5, 2024.
- [28] *Direktiv (EU) 2018/2001 samt de ändringar och tillägg som införts i detsamma genom 2022/759 och 2023/2413..*
- [29] *SFS 2010:598. Lag om hållbarhetskriterier för biodrivmedel och biobränslen.*
- [30] *SFS 2011:1088 Förordning om hållbarhetskriterier för biodrivmedel och biobränslen.*
- [31] <https://www.naturvardsverket.se/492b34/globalassets/vagledning/utslappshandel/rederier/informationstillfallen-ets-rederier/energimyndigheten-hallbarhetskriterier-240229.pdf>, [Online].



- [32] Neste, [Online]. Available: <https://www.neste.com/news/neste-and-scania-pilot-a-digital-solution-to-make-renewable-fuels-use-easier-to-track>.
- [33] Working Group on Monitoring Methodologies, "MONITORING THE USE OF CO₂ NEUTRAL FUELS IN ROAD TRANSPORT A CROSS-SECTORAL INDUSTRY ASSESSMENT," 2024.

Triple F står för **Fossil Free Freight**, som anspelar på programmets syfte - att bidra till att minska godstransporternas koldioxidutsläpp i Sverige. Triple F är Trafikverkets forskning- och innovationssatsning och Lindholmen Science Park står som värd i samarbete med VTI och RISE. Programmet startade 2018 och kommer som längst pågå till 2030.

