

Beregnet til
Miljødirektoratet

Dokumenttype
Rapport

Dato
2021-12-07

MILJØDIREKTORATET UTSLIPP TIL LUFT FRA BIODRIVSTOFF



Revisjon 00
Dato 2021-12-07
Utført av Hanne Weggeberg, Heidi Ødegård Berg, Rafaël Bunales, Heikki Lamberg, Toni Keskitalo
Kontrollert av Alexandra Griesfeller, Mikko Hoppo
Godkjent av Jan Rukke
Beskrivelse Kunnskapsoppdatering på utslipp til luft av ulike helseskadelige stoffer ved bruk av biodrivstoff

Ref. 1350046823

M-2297 I 2022

Forsideillustrasjon: Rambøll

FORORD

Rambøll har gjennomført prosjektet *Utslipp til luft fra biodrivstoff* (referansenummer: 2021/5386) på oppdrag for Miljødirektoratet. Oppdraget har gått ut på å foreta en kunnskapsoppdatering på utslipp til luft av ulike helseskadelige stoffer ved bruk av biodrivstoff i kjøre- og farttøy.

Biodrivstoff er en fornybar energibærer og kan bidra til å redusere utslipp av klimagasser sammenlignet med bruk av fossilt drivstoff. Men, bruk av biodrivstoff medfører også utslipp til luft av komponenter som nitrogenoksider, partikler/svevestøv, karbonmonoksid og ulike organiske forbindelser som har påvirkning på lokal luftkvalitet. For flere av disse forbindelsene reduseres utslippene med økende innblanding av biodrivstoff, mens for nitrogenoksider og enkelte typer organiske stoffer viser mange studier en økning sammenlignet med ved bruk av fossilt drivstoff, avhengig av typen biodrivstoff og innblandingsgrad.

Regjeringen har en målsetning om å øke omsetningskravet for biodrivstoff i produktforskriften for vegtrafikk, samt å innføre tilsvarende omsetningskrav for anleggsvirksomhet og skipsfart. Det er derfor behov for å utrede mulige virkninger på lokal luftkvalitet og helserisiko.

Hovedformålet med oppdraget har vært innhenting og sammenstilling av utslippsfaktorer, til bruk av Miljødirektoratet til å beregne utslippsendringer ved gjennomføring av tiltak som innebærer substitusjon av fossilt drivstoff med biodrivstoff. Studien har vært avgrenset til å omfatte typer biodrivstoff og blandinger som er i bruk i Norge i dag, for definerte kategorier innen utslippssektorene veigående kjøretøy, anleggsmaskiner, fartøy og luftfartøy.

Rapporten er utarbeidet for Miljødirektoratet av Rambøll, av rådgivere innen miljø og energi & prosess fra Norge, Finland og Frankrike. Prosjektmedarbeiderne har ekspertise innen biodrivstoff, lokal luftforurensning og helse, utslippsberegninger for ulike sektorer, og aktuelt regelverk og ressurser i Norge og andre land og regioner. Vi vil gjerne takke kolleger for støtte, og Miljødirektoratet for god dialog i og nyttige tilbakemeldinger til arbeidet med rapporten.

INNHALDSFORTEGNELSE

SAMMENDRAG	4
ENGLISH SUMMARY	7
FORKORTELSER OG DEFINISJONER	10
1. INNLEDNING	12
1.1 Bakgrunn for prosjektet	12
2. MÅLSETNING OG METODIKK	14
2.1 Målsetning og avgrensning	14
2.2 Relevante ressurser og søkestrategi	16
3. RESULTATER	17
3.1 Oppsummering av hovedfunn	17
3.1.1 Utslippsdatabaser og EMEP guidebook	17
3.1.2 Rapporter og artikler	17
3.2 Biodiesel (FAME og HVO)	19
3.2.1 Case 1: Autodiesel med 7% FAME, personbil	19
3.2.2 Case 2: 30% HVO, personbil	22
3.2.3 Case 3-1: HVO, anleggsmaskiner	24
3.2.4 Case 3-2: HVO, sjøfart	24
3.3 HEFA i luftfart	25
3.3.1 Case 4: Biojet drivstoff, luftfart	25
3.4 Alkohol-drivstoff	26
3.4.1 Case 5-1 og 5-2: Bensin med bioetanol E5 og E10, personbil	26
3.4.2 Case 6: ED95, lastebil	27
3.5 Biogass i sjøfart	27
3.5.1 Case 7: Bruk av LBG i sjøfart	27
4. KONKLUSJON OG ANBEFALINGER	29
REFERANSER	33

VEDLEGG

Vedlegg 1. Oversikt over studier og sammenstilling av < utslippsfaktorer

SAMMENDRAG

Rambøll har gjennomført prosjektet *Utslipp til luft fra biodrivstoff* på oppdrag for Miljødirektoratet. Oppdraget har vært å gjøre en kunnskapsoppdatering på utslipp til luft av ulike helseskadelige stoffer ved bruk av biodrivstoff.

Omsetningskravet for biodrivstoff i Norge, regulert i *Forskrift om begrensning i bruk av helse- og miljøfarlige kjemikalier og andre produkter* (produktforskriften), har økt til 24,5 volumprosent biodrivstoff av totalt omsatt mengde drivstoff for veigående kjøretøy fra og med 1. januar 2021, og regjeringen har som målsetning å øke omsetningskravet for biodrivstoff ytterligere fram mot 2030. I tillegg planlegges også innføring av omsetningskrav for anleggsvirksomhet og skipsfart.

Biodrivstoff er en fornybar energibærer og kan bidra til å redusere utslipp av klimagasser sammenlignet med bruk av fossilt drivstoff. Men bruk av biodrivstoff medfører også utslipp til luft som kan ha påvirkning på den lokale luftkvaliteten. Sammensetningen av eksosutslipp fra forbrenning av forskjellige typer biodrivstoff er ulik fra fossilt drivstoff. Utslipp av komponenter som har betydning for lokal luftkvalitet kan både reduseres og økes ved bruk av biodrivstoff sammenlignet med fossilt drivstoff, avhengig av type og innblandingsgrad. Ettersom det er lite informasjon om utslipp til luft ved bruk av biodrivstoff, ønsket Miljødirektoratet å få foretatt en kunnskapsoppdatering. Arbeidet har omfattet innhenting og gjennomgang av litteratur som omhandler utslipp, og sammenstilling av relevante utslippsfaktorer basert på funnene. Utslippsfaktorene er ment å brukes til å beregne utslippsendringer ved gjennomføring av tiltak som innebærer substitusjon av fossilt drivstoff med biodrivstoff.

Utslippskomponenter som er undersøkt i studien inkluderer nitrogenoksider (NO_x), partikler/svevestøv (PM) - inkludert bestanddeler som elementært, organisk og svart karbon, hhv. EC, OC og BC - karbonmonoksid (CO), svoveldioksid (SO_2) og organiske forbindelser, primærtflyktige organiske forbindelser (VOC) og totale hydrokarboner (THC; flyktige organiske forbindelser med unntak av metan: NMHC). Forbindelser som metan (CH_4), NO_x og VOC opptre i tillegg som forløpere for bakkenært ozon. Andre relevante toksiske utslippskomponenter som polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH), enkeltforbindelser som benzene, aldehyder som formaldehyd og acetaldehyd og enkelte metaller/grunnstoffer (Pb, Cd, As, Cr, Cu, Hg) er også omtalt. Oppdraget er avgrenset til typer biodrivstoff som tilfredsstiller drivstoffspesifikasjonene og er i bruk i Norge, spesifikt biodieseltypene FAME (*Fatty Acid Methyl Esters*), HVO (*Hydrotreated Vegetable Oil*), HEFA-SPK (*Hydroprocessed Esters and Fatty Acids Synthetic Paraffinic Kerosene*) til luftfart, bioetanol og biogass (LBG; *Liquefied Bio Gas*). Utslippssektorer som inngår i studien inkluderer både veigående kjøretøy (personbiler/lette kjøretøy; Euro I-VI og tunge kjøretøy; Euro IV-VI), i tillegg til luftfart, sjøfart, anleggsmaskiner og traktorer. Sju spesifikke case bestående av relevante drivstoff og sektorer ble definert som grunnlag for studien:

- 1) autodiesel med 7 % FAME (B7) i personbiler;
- 2) autodiesel med 7 % FAME og 30 % HVO (HVO30) i personbiler;
- 3-1) 20 % HVO (HVO20) i anleggsmaskiner;
- 3-2) 20 % HVO (HVO20) i sjøfart;
- 4) 50 % HEFA-SPK, 50 % Jet A-1 i luftfart;
- 5-1) bensin: 5 % bioetanol (E5) i personbiler;
- 5-2) bensin: 10 % bioetanol (E10) i personbiler;
- 6) ED95 i lastebil (95% bioetanol og additiver);
- 7) LBG i sjøfart

Kilder til informasjon om utslipp inkluderte utslippsdatabaser og -modeller i Norge og i andre land, rapporter og fagfelleverderte artikler. Det ble foretatt systematiske søk, aktuell litteratur ble gjennomgått, og utslippsfaktorer valgt ut i henhold til avgrensningen forklart over og sammenstilt.

Totalt ble 93 kilder gjennomgått, men kun 19 av publikasjonene inkludert i sammenstillingen av utslippsfaktorer. Studier ble utelukket blant annet på grunn av mangel på informasjon om testparametere og referansedrivstoff, og at resultater ble oppgitt i andre enheter som g/kWh uten nødvendige omregningsfaktorer.

Hovedfunnene fra arbeidet er oppsummert i det følgende:

- ✓ Resultatene fra studier som rapporterer utslipp til luft ved bruk av biodrivstoff for de definerte casene er gjennomgående sprikende og inkonsekvente, uten klare trender.
- ✓ Innblanding av 7 % FAME i fossil diesel (B7) ser ut til å medføre reduksjon i utslippene av NO_x, CO, PM og hydrokarboner, men det er få tilgjengelige studier som undersøker både B7 og B0, og resultatene mellom de ulike studiene varierer sterkt fra betydelig reduksjon til økning i utslipp. Økning av FAME-prosentandelen i autodiesel til mer enn 7 prosent vil kunne ha konsekvenser for utslipp til luft og lokal luftkvalitet, særlig med hensyn på økte utslipp av NO_x. For CO er effekten mer uklar – både økning og reduksjon i utslippene er rapportert – mens PM-utslippene ble redusert under de fleste testforhold. Resultatene fra forskningslitteraturen er gjennomgående sterkt variable for de undersøkte utslippskomponentene, både mellom ulike studier og, for noen av artiklene, innad i samme studie. Resultatene viser stor variasjon med type kjøretøy, etterbehandlingssystem, testsyklus og temperatur.
- ✓ De fleste studier finner reduksjon i utslipp av CO, PM og THC med økende innblandingsgrad av HVO i diesel inkludert for HVO30 i personbiler, mens resultatene for NO_x var sprikende. Partikkel (PM)-utslippene reduseres i de fleste studiene. For partikler er det imidlertid viktig å ta hensyn til at selv om partikkelmassen i utslippene jevnt over reduseres, indikerer flere studier at partikkelantallet er høyere og gjennomsnittlig diameter på partiklene lavere ved forbrenning av HVO sammenlignet med fossil diesel; mindre partikler assosieres totalt sett med større helserisiko ettersom disse kan trenge lenger ned i luftveiene. Enkelte studier indikerer også at partiklene som slippes ut ved forbrenning av biodrivstoff har høyere innhold av flere toksiske forbindelser, eksemplifisert ved høyere innhold av organisk karbon (OC).
- ✓ Kun én studie ble funnet som rapporterer utslipp til luft av regulerte komponenter fra både bensin med 5 prosent innblanding av etanol (E5) og referansedrivstoff uten etanol (E0). Effekten av E5 i personbiler på utslipp til luft anses derfor som uvis. For bensin med innblanding av 10% etanol (E10) viser resultater fra gjennomgåtte studier i gjennomsnitt en nedgang i utslippene av de fleste undersøkte komponentene, dvs. for NO_x, CO og hydrokarboner (HC/THC, NMHC) sammenlignet med E0, men resultatene er variable både mellom studiene og delvis innen samme studie. Av toksiske forbindelser medfører bioetanol noe utslipp av aldehyder; etanol oksideres til acetaldehyd, som er klassifisert som kreftfremkallende.
- ✓ For LBG, HEFA til luftfart, HVO til skip og ikke-veigående kjøretøy som anleggsmaskiner er det funnet få relevante studier. For drivstoffet ED95 i lastebiler er det ikke funnet noen relevante studier. Utslippsfaktorene funnet i gjennomgåtte publikasjoner for bruk av biodrivstoff i transportsektoren er generelt forbundet med betydelige usikkerheter, relatert til forhold som ulikheter i testbetingelser, type kjøretøy, motorklasse og etterbehandlingssystem. For de ulike casene er det for få relevante studier til å kunne generalisere resultatene. Nøyaktige utslippsdata har for flere av artiklene ikke vært tilgjengelige, slik at tallene har måttet leses av fra grafer.

Gitt variabiliteten i utslippsdataene som er innhentet i prosjektet, er det ikke grunnlag for å kunne sette opp nøyaktige utslippsfaktorer for de ulike casene. I den nasjonale utslippsrapporteringen anbefales likevel å korrigere utslippstallene i hvert fall for komponenter som sannsynligvis vil øke noe

som følge av økt innblanding av biodrivstoff, som NO_x. Med bakgrunn i funn fra gjennomgåtte studier i dette prosjektet og tall fra EMEP guidebook, anbefales følgende korreksjonsfaktorer:

- ✓ 7 % FAME i personbiler (B7; case 1): +2,7 % for NO_x, alternativt +0,4 %; ingen korreksjon for CO, PM eller THC
- ✓ HVO30 i personbiler (case 2): +1,3 % (alternativt ingen korreksjon) for NO_x; ingen korreksjon for CO, PM og THC
- ✓ E10 i personbiler (case 5-2): -8,8 % for CO; -4,3 % for THC; ingen korreksjon for NO_x eller PM. Ingen korreksjon for E5 i personbiler (case 5-1) eller ED95 i lastebiler (case 6)

For HVO20 i anleggsmaskiner (case 3-1) og fartøy (case 3-2) og 50 % HEFA i luftfart (case 4) trengs ytterligere studier før det kan settes opp korreksjonsfaktorer. LBG-innblanding i skip (case 7) ser ikke ut til å endre utslippene nevneverdig, og rapporterte utslippstall trenger derfor ikke korrigeres.

For veggående kjøretøy vil innføringen av WLTP som testsyklus sannsynligvis bidra til standardisering av testmetodikk og dermed bedre muligheter for sammenstilling av utslippsdata fra nyere studier. Testmetodikk er imidlertid kun en av årsakene til den til dels store variabiliteten i utslippsfaktorer særlig for veigående kjøretøy; forhold som type kjøretøy og etterbehandlingssystem og additiver har også stor betydning. Det mest realistiske med hensyn på utslippsfaktorer for bruk av biodrivstoff er derfor at det i det videre arbeidet tas utgangspunkt i de prosentvise korreksjonsfaktorene fra denne rapporten. Prosessen kan med fordel koordineres med tilsvarende arbeider for eksempel i Europa/EU.

ENGLISH SUMMARY

Rambøll has carried out the project Emissions to Air from Biofuels on behalf of the Norwegian Environment Agency. The assignment involved updating the knowledge on emissions to air of various compounds that may impact human health resulting from the use of biofuels.

The biofuel blending requirement in Norway, regulated by the *Regulations relating to restrictions on the manufacture, import, export, sale and use of chemicals and other products hazardous to health and the environment*, has increased to a minimum of 24.5 volume percent biofuels of the total amount of fuel sold for on-road vehicles from 1 January 2021, and the Norwegian Government aims to increase the blending requirement by 2030. In addition, plans exist for the introduction of biofuel blending requirements for the construction and shipping sectors.

Biofuel is a renewable energy source and can contribute to reduce greenhouse gas emissions compared to the use of fossil fuels. But the use of biofuels also results in emissions to air that can have an impact on local air quality. The composition of exhaust emissions from the combustion of different types of biofuels is different from fossil fuels. Emissions of components that affect local air quality can both be reduced and increased by using biofuels compared to fossil fuels, depending on the biofuel type and blend. Since information on emissions to air as a result of the use of biofuels is scarce, the Norwegian Environment Agency requested a knowledge update. The work has included the collection and review of literature on emissions, and compilation of relevant emission factors based on the findings. The compiled emission factors are intended to be used to calculate changes in emissions as a result of the implementation of measures that involve substitution of fossil fuels with biofuels.

Emission components examined in the study include nitrogen oxides (NO_x), particles/particulate matter (PM) – including constituents such as elemental (EC), organic (OC) and black carbon (BC) – carbon monoxide (CO), sulfur dioxide (SO₂) and organic compounds, primarily volatile organic compounds (VOC) and total hydrocarbons (THC; non-methane hydrocarbons: NMHC). Substances such as methane (CH₄), NO_x and VOC also act as precursors for ground-level ozone. Other relevant toxic emission components such as polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), individual compounds such as benzene, aldehydes such as formaldehyde and acetaldehyde and certain metals/elements (Pb, Cd, As, Cr, Cu, Hg) are also discussed. The assignment is limited to types of biofuels that comply with the fuel specifications and are in use in Norway, specifically the biodiesel types FAME (Fatty Acid Methyl Esters), HVO (Hydrotreated Vegetable Oil), HEFA-SPK (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids Synthetic Paraffinic Kerosene) in aviation, bioethanol, and biogas (LBG; Liquefied Bio Gas) in vessels. Emission sectors included in the study include both on-road vehicles (passenger cars/light-duty vehicles; Euro I-VI and heavy-duty vehicles; Euro IV-VI), as well as aviation, shipping, construction machinery and tractors. Seven specific cases consisting of relevant fuels and sectors were defined as the basis for the study:

- 1) autodiesel with 7% FAME (B7) in passenger cars;
- 2) autodiesel with 7% FAME og 30% HVO (HVO30) in passenger cars;
- 3-1) 20% HVO (HVO20) in construction machinery;
- 3-2) 20% HVO (HVO20) in shipping;
- 4) 50% HEFA-SPK, 50% Jet A-1 in aviation;
- 5-1) gasoline: 5% bioethanol (E5) in passenger cars;
- 5-2) gasoline: 10% bioethanol (E10) in passenger cars;
- 6) ED95 in trucks (95% bioethanol and additives);
- 7) LBG in shipping

Sources of information on emissions included emission databases and models in Norway and in other countries, reports and peer-reviewed articles. Systematic searches were performed, relevant literature was reviewed, and emission factors were selected in accordance with the scope and delimitations explained above and compiled.

A total of 93 sources were reviewed, but only 19 of the publications were included in the compilation of emission factors. Studies were excluded due to lack of information about test parameters and reference fuel, or results being reported in other units (e.g. g/kWh) without the necessary conversion factors.

The main findings from the work are summarized in the following:

- ✓ Results from studies that report emissions to air from the use of biofuels for the specified cases are generally disparate and inconsistent, without clear trends.
- ✓ 7% FAME blend in autodiesel (B7) seems to result in reductions in the emissions of NO_x, CO, PM and hydrocarbons, but few available studies investigate both B7 and pure fossil diesel (B0), and results from the different studies vary from significant reduction to increases in the emissions. Increasing the FAME blend percentage in autodiesel to more than 7% might have consequences for emissions to air and local air quality, especially with regard to increased emissions of NO_x. For CO, the effect is more unclear - both increases and reductions in emissions have been reported - while PM emissions were reduced under most test conditions. However, the results from the research literature are generally highly variable for the emission components examined, both between different studies and, for some of the articles, within the same study. The results show considerable variation depending on vehicle type, aftertreatment system, test cycle and temperature.
- ✓ Most of the studies show reduced emissions of CO, PM and THC with increasing blending rates for HVO in diesel including for HVO30 in passenger cars, while the results for NO_x were inconsistent. PM emissions are reduced in most studies. For particles, however, it is important to take into account that although the total particle mass in the emissions is reduced, several studies indicate that combustion of HVO results in higher particle numbers and lower average diameter of the particles compared to fossil diesel; smaller particles are associated with an overall greater health risk as these may penetrate deeper into the airway system. Some studies also indicate that the particles emitted by the combustion of biofuels have a higher content of several toxic compounds, as shown by higher contents of organic carbon (OC).
- ✓ Only one study was found that reports emissions to air of regulated components from both gasoline with 5 percent ethanol blend (E5) and reference fuel without ethanol (E0). Consequently, the effect of E5 in passenger cars on emissions to air is considered uncertain. For gasoline containing 10% ethanol (E10), results from available studies on average show a decrease in the emissions of most of the components examined, i.e. for NO_x, CO and hydrocarbons (HC/THC, NMHC) compared with E0, but the results are variable both between the studies and partly within the same study. Concerning toxic compounds, bioethanol results in emissions of aldehydes to some extent; ethanol is oxidized to acetaldehyde, which is classified as a human carcinogen.
- ✓ For LBG, HEFA for aviation, HVO for ships and off-road vehicles such as construction machinery, few relevant studies have been found. For ED95 in trucks no relevant studies were found. Emission factors found in scientific publications for the use of biofuels in the transport sector are generally associated with significant uncertainties, related to factors such as differences in test conditions, type of vehicle, engine class and after-treatment system. For the different cases, the number of studies is too low to be able to generalize the results. For

several of the articles accurate emission data was not available; results were read from graphs.

Given the variability in the emission data collected in the project, there is no basis for setting up accurate emission factors for the specified cases. For the national emission reporting, however, we recommend correcting the emissions as a minimum for components that are likely to increase as a result of increased biofuel blending rate, specifically NO_x . Based on findings from studies reviewed in this project and available conversion factors from the EMEP guidebook, the following correction factors are recommended:

- ✓ 7% FAME in passenger cars (B7; case 1): +2.7 % for NO_x , alternatively +0,4%; no correction for CO, PM or THC
- ✓ HVO30 in passenger cars (case 2): +1.3% for NO_x ; no correction for CO, PM and THC
- ✓ E10 in passenger cars (case 5-2): -8.8% for CO; -4.3% for THC; no correction for NO_x or PM. No correction for E5 in passenger cars (case 5-1) or ED95 in trucks (case 6)

For 7% FAME in passenger cars (B7; case 1), HVO20 in construction machinery (case 3-1) and vessels (case 3-2) and 50% HEFA in aviation (case 4), further studies are needed to set up correction factors. LBG blends in ships (case 7) appears not to change emissions significantly, and consequently reported emissions do not need correction.

For on-road vehicles, the introduction of WLTP as test cycle will contribute to the standardization of test methodology and thus improved possibilities for compiling emission data from newer studies. However, test methodology is only one of the contributing factors for the partly large variability in emission factors, especially for on-road vehicles; Conditions such as type of vehicle and the after-treatment system and additives are also of great importance. The recommended approach with regard to emission factors for the use of biofuels is that further work is based on the correction factors from this report. The work should be coordinated with similar projects in Europe/the EU.

FORKORTELSER OG DEFINISJONER

Aerosoler: Aggregererte partikler i fast- eller væskeform som er suspendert i gass (vanligvis luft)

BC: Svart karbon (*Black Carbon*); sotlignende partikler som dannes ved forbrenning, både av drivstoff og fra naturlige kilder som skogbranner

Biodiesel: Dieseldrivstoff som er fremstilt fra vegetabilsk eller animalsk materie, bestående av langkjedede fettsyreestere. Biodiesel som er i bruk består som regel av petroleumbasert diesel med en viss prosentvis innblanding av rent biodiesel (B100)

Biodrivstoff: Energikilder som er fremstilt fra organisk materiale, inkludert fast biomasse, flytende biodrivstoff og biogass

Bioetanol: Betegnelse på etanol som benyttes som drivstoff. Bioetanol blandes vanligvis med bensin i et visst prosentvis blandingsforhold, der B100 betegner ren (100 %) bioetanol

Biogass: Blanding av gasser som produseres ved anaerob nedbrytning av organisk materiale som landbruks- og annet biologisk avfall, plantemateriale og gjødsel. Betegner i rapporten biogass som er rensset for CO₂ og komprimert slik at den kan anvendes som drivstoff i fartøy, kjøretøy osv.

B0: Autodiesel uten innblanding av FAME

B7: Autodiesel med 7 volum-% innblanding av FAME

CH₄: Metan

CNG: Komprimert naturgass (*Compressed Natural Gas*)

CO: Karbonmonoksid

Diesel: Petroleumbasert drivstoff; betegner petroleumsfraksjonen utvunnet fra råolje som har kokepunkt i området 180–380 °C. Betegner i rapporten konvensjonell fossil diesel, iht. NS-EN 590:2013+A1:2017

EC: Elementært karbon (*Elementary Carbon*); dannes i all hovedsak ved forbrenning, både fra forbrenning av drivstoff og vedfyring, og fra naturlige kilder som skogbranner

ED95: Et etanol-basert drivstoff for tyngre kjøretøy som består av 95% bioetanol og additiver

ETBE: *Ethyl Tertiary Butyl Ether*. Additiv som forbedrer forbrenningskarakteristikken til drivstoffet

E5: Bensin med 5 volum-% innblanding av bioetanol

E10: Bensin med 10 volum-% innblanding av bioetanol

FAME: Fettsyremetylestere (*Fatty Acid Methyl Esters*); for dieselmotorer og oppvarmingsanlegg. Iht. NS-EN 14214:2012+A1:2014/AC/2014

Forurensningsforskriften: *Forskrift om begrensning av forurensning* (Klima- og miljødepartementet, 2004; sist endret 2021-11-03)

HC: Hydrokarboner

HEFA-SPK: Biojetdrivstoff produsert via en spesifikk (ASTM sertifisert) produksjonsrute (*Hydroprocessed Esters and Fatty Acids Synthetic Paraffinic Kerosene*)

HVO: Parafinisk diesel (*Hydrotreated Vegetable Oil*), iht. NS-EN 15940:2016+A12018

HVO20: Autodiesel med 20 volum-% innblanding av HVO

HVO30: Autodiesel med 30 volum-% innblanding av HVO

HVO100: Ren (100 %) HVO

Jet A-1: Kerosenedrivstoff; parafinlignende

LBG: Flytende biogass (*Liquid Bio Gas*). Omtales også som bio-LNG

LNG: Flytende naturgass (*Liquid Natural Gas*)

MTBE: Metyl-tert-butyleter. Additiv som skal redusere utslipp ved forbrenning av bensin

Nafta: En gruppe flytende hydrokarboner, også kjent som «white spirit»

NEDC: *New European Driving Cycle*; standardisert kjøresyklus utviklet for å representere typiske kjøreforhold på europeiske veger. Brukt til å måle drivstofforbruk og utslipp fra kjøretøy iht. Direktiv 70/220/EEC (opphevet av Regulation (EC) No. 715/2007); sist oppdatert i 1997

NMHC/NM VOC: Summen av alle hydrokarboner/flyktige organiske forbindelser med unntak av metan

NO_x: Nitrogenoksider

O₃: Ozon

OC: Organisk karbon (*Organic Carbon*); dannes ved prosesser som ufullstendig forbrenning av drivstoff, vedfyring eller naturlige kilder som skogbranner, slitasje f.eks. av bildekk, og biologisk materiale som sporer og pollen

Omsetningskravet for biodrivstoff: Formulert mål og krav om å øke omsetningen av og fremme bærekraft for biodrivstoff, spesifikt rettet mot bruk i vegtrafikk og luftfart; nedfelt i produktforskriften (Miljødepartementet, 2004)

PM: Se *svevestøv*

Produktforskriften: *Forskrift om begrensning i bruk av helse- og miljøfarlige kjemikalier og andre produkter* (Miljødepartementet, 2004; sist endret 2021-11-05)

SO₂: Svoveldioksid

Svevestøv: Også kalt *partikulært materiale* (*Particulate Matter*; PM); de partikulære bestanddelene i aerosoler, som kan være luftbårne over lenger tid og transporteres over lengre avstander

TC: Total karbon; summen av elementært (EC), uorganisk og organisk karbon (OC)

VOC: Flyktige organiske forbindelser («volatile organic compounds»); organiske stoffer som lett fordamper ved romtemperatur (i forurensningsforskriften kap. 9 definert som organiske forbindelser som ved 293,15 K har et damptrykk på 0,01 kPa eller mer; Klima- og miljødepartementet, 2004)

WLTP: *Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure*; global, harmonisert sertifiseringsstandard for måling av drivstofforbruk og utslipp fra personbiler og lette varebiler. Utviklet av en ekspertgruppe i regi av *The World Forum for Harmonisation of Vehicle Regulations*, en arbeidsgruppe tilhørende *The United Nations Economic Commission for Europe* (UNECE). Innført som standard i EU for måling av drivstofforbruk og CO₂-utslipp 1.9.2017 for nye personbiler (1.9.2018 for alle personbiler)

1. INNLEDNING

Rambøll har gjennomført prosjektet *Utslipp til luft fra biodrivstoff* (referansenummer: 2021/5386) på oppdrag for Miljødirektoratet. Oppdraget har vært å gjøre en kunnskapsoppdatering på utslipp til luft av ulike helseskadelige stoffer ved bruk av biodrivstoff. Arbeidet har omfattet innhenting av relevante kilder som omhandler utslipp til luft, som grunnlag for sammenstilling av utslippsfaktorer. Utslippsfaktorene skal brukes til å beregne utslippsendringer ved gjennomføring av tiltak som innebærer substitusjon av fossilt drivstoff med biodrivstoff.

1.1 Bakgrunn for prosjektet

Begrepet «biodrivstoff» betegner energibærere som er fremstilt fra ulike typer organisk materie, inkludert blant annet fast biomasse som plantemateriale, matavfall, avløpsvann og animalsk avfall. Både flytende biodrivstoff som vegetabiliske oljer og biogass er i denne rapporten omfattet av definisjonen. Biodrivstoff utgjør dermed en fornybar energibærer. Vanlige typer biodrivstoff til bruk i transportsektoren er bioetanol, biodiesel og biogass, som kan erstatte eller blandes inn i fossilt drivstoff. Bioetanol kan blandes inn i bensin. Ulike typer biodiesel inkluderer FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*) og diesel fremstilt ved hydrogenering av bioråstoff som HVO (*Hydrotreated Vegetable Oil*) for kjøretøy og fartøy, og HEFA (*Hydroprocessed Esters and Fatty Acids*) i luftfart. Biogass benyttes også som drivstoff for eksempel i kjøretøy og skip; LNG (*Liquefied Natural Gas*) utvunnet fra biogass betegnes bio-LNG eller LBG (*Liquefied Bio Gas*). Det foretas ofte en inndeling i konvensjonelle, eller 1. generasjons, og avansert, eller 2. generasjons, biodrivstoff, etter type råstoff og produksjonsmetode: Konvensjonelle biodrivstoff produseres fra matvekster som mais og sukkerrør, mens avanserte biodrivstoff fremstilles fra biomasse som ikke kan brukes til mat, som avfall fra landbruk, skogsbruk eller vekster rike på lignin og cellulose (f.eks. gressarter).

Omsetningskravet for biodrivstoff i Norge er regulert i *Forskrift om begrensning i bruk av helse- og miljøfarlige kjemikalier og andre produkter* (produktforskriften; Miljødepartementet, 2004; sist endret nov. 2021) kapittel 3. Formålet med omsetningskravet er å øke omsetningen av og fremme bærekraft for biodrivstoff, spesifikt rettet mot bruk i vegtrafikk og luftfart. Fra og med 1. januar 2021 sier omsetningskravet at drivstoffomsettere (Circle K, St1 m.fl.) skal sørge for at en andel på minst 24,5 volumprosent¹ av omsatt mengde drivstoff til veigående kjøretøy består av biodrivstoff (med unntak av biogass; produktforskriften § 3-3). Biodrivstoffet må oppfylle definerte bærekraftskriterier, og forskriften inneholder også et delkrav om at min. 9 volumprosent av omsatt drivstoff skal bestå av avansert biodrivstoff i henhold til definerte krav (§ 3-4). For luftfart gjelder bestemmelser i § 3-4a om at minst 0,5 volumprosent av omsatt mengde drivstoff skal bestå av avansert biodrivstoff. Omsettere av biodrivstoff skal rapportere årlig til Miljødirektoratet om oppfyllelse av bærekraftskriteriene i henhold til kravene i § 3-10. I Stortingsmelding 13 (2020-2021) *Klimaplan for 2021-2030* (Klima- og miljødepartementet, 2021) står det at regjeringen har som mål å erstatte fossilt drivstoff med bærekraftig biodrivstoff, og som del av dette ønsker å øke omsetningskravet for vegtrafikk ytterligere fram mot 2030. Regjeringen tar i tillegg sikte på å innføre omsetningskrav for biodrivstoff for anleggsvirksomhet og skipsfart, som skal gjelde fra 2022.

Drivstoffkvalitet reguleres av drivstoffspesifikasjoner. Spesifikasjonene sikrer blant annet at drivstoff som fylles på norske bensinstasjoner er compatible med kjøretøyene som fyller drivstoff. For bilbensin og autodiesel er det i Norge standardene NS-EN 228 og NS-EN 590 som legges til grunn. Disse spesifikasjonene omfatter innblandinger av flytende biodrivstoff, og også anleggsdiesel, som brukes av motorkjøretøyer som ikke brukes på vei. Rene biodrivstoff, biogass av drivstoffkvalitet (biometan), marine gassoljer til bruk i fartøy og jetdrivstoff reguleres av egne spesifikasjoner. Enkelte av kravene som angår helse og miljø er fastlagt av norske myndigheter i produktforskriften.

¹ Reell andel biodrivstoff er mellom 12,25 % og 15,5 %. Det skyldes at avansert biodrivstoff dobbeltelles, og det er et eget delkrav til avansert biodrivstoff på 9 %

Biodrivstoff er en fornybar energibærer og kan bidra til å redusere utslipp av klimagasser sammenlignet med bruk av fossilt drivstoff, men forbrenning av biodrivstoff medfører også, i likhet med fossil bensin og diesel, utslipp til luft som kan påvirke luftkvaliteten lokalt. Eksosutslipp fra biodiesel er eksempelvis typisk karakterisert av lavere innhold av partikkelmasse, men høyere andel nitrogenoksider (NO_x) sammenlignet med fossil diesel (Pollitt et al., 2019). Relevante utslippskomponenter forbundet med forbrenning av biodrivstoff og som er undersøkt i studien inkluderer nitrogenoksider (NO_x), partikler/svevestøv (PM) - inkludert bestanddeler som elementært, organisk og svart karbon, hhv. EC, OC og BC - karbonmonoksid (CO), svoveldioksid (SO_2) og organiske forbindelser, primært flyktige organiske forbindelser (VOC) og totale hydrokarboner (HC). Forbindelser som metan (CH_4), NO_x og NMVOC (VOC med unntak av metan) opptre i tillegg som forløpere for bakkenært ozon, og er relevante med hensyn på lokal luftforurensning i den sammenheng. Andre toksiske forbindelser er også aktuelle å undersøke, som polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH), enkeltforbindelser som benzene, aldehyder som formaldehyd og acetaldehyd, og enkelte metaller/grunnstoffer (Pb, Cd, As, Cr, Cu, Hg). Komponenter som SO_2 , NO_x/NO_2 , svevestøv, CO og Pb reguleres gjennom krav og grenseverdier for uteluft i forurensningsforskriften kap. 7 (Klima- og miljødepartementet, 2004). For As, Cd, Ni og B(a)P foreligger målsetningsverdier (§ 7-7).

Utslipp til luft ved bruk av biodrivstoff vil avhenge av biodrivstofftype og drivstoffets sammensetning. I Norge tilbys det både rene biodrivstoffprodukter, men også lav- og høyinnblandinger med fossile drivstoff. De ulike drivstoffomsetterne tilbyr for eksempel ulike produkter i det norske personbilmarkedet. Drivstoffproduktene som omfattes av dette arbeidet er listet opp i rapportens kap. 2.1. I tillegg varierer utslippene til luft i stor grad med faktorer som type kjøretøy, kjøretøyteknologi, kjøreforhold som vegbane, fart og stigning, og meteorologiske parametere som temperatur.

Miljødirektoratet rapporterer tall for nasjonale utslipp av klimagasser til Klimakonvensjonen (*United Nations Framework Convention on Climate Change*; UNFCCC) (UN Climate Change, 2021b), publisert som National Inventory Report (NIR) (UN Climate Change, 2021a), og for luftforurensning til Konvensjonen om langtransportert grenseoverskridende luftforurensning (*Convention on Long-range Transboundary Air Pollution*; CLRTAP) (UNECE, 2021). For bruk av biodrivstoff mangler egnede utslippsfaktorer for beregninger av utslipp av klimagasser og helseskadelige komponenter andre enn CO_2 . Angående mulige helseeffekter, har Folkehelseinstituttet tidligere på oppdrag fra Miljødirektoratet foretatt vurderinger av risiko for helseskader ved bruk av biodrivstoffblandinger sett opp mot fossilt drivstoff (Folkehelseinstituttet, 2011, 2015). Hovedkonklusjonene fra disse vurderingene var at ved innblanding av biodiesel på opp mot 7 % er trolig helserisikoen som følge av utslipp til luft tilsvarende for fossilt drivstoff, mens ved ytterligere økning av biodieselinnblanding (opp mot 20 %) er ytterligere forskning på mulige helseeffekter nødvendig.

Med bakgrunn i manglende informasjon om utslipp til luft ved bruk av biodrivstoff, ønsker Miljødirektoratet dermed å få foretatt en kunnskapsoppdatering. Spesifikt er det behov for informasjon innhentning om utslipp til luft av, og relevante utslippsfaktorer for, komponenter av betydning for helserisiko ved bruk av biodrivstoff i ulike sektorer. Resultatene er ment å benyttes som grunnlag for Miljødirektoratets arbeid med utslippsregnskap, og estimering av utslippsendringer ved gjennomføring av tiltak som innebærer substitusjon av fossilt drivstoff med biodrivstoff.

2. MÅLSETNING OG METODIKK

Prosjektet er blitt gjennomført i tre faser: Den første prosjektfasen besto i en første kartlegging av omfanget og utarbeidelse av detaljert prosjektbeskrivelse og målsetning. I fase 2 ble det foretatt en omfattende gjennomgang av relevante kilder og undersøkelser, mens i fase 3 ble utslipps- og konverteringsfaktorer sammenstilt og sluttrapport utarbeidet.

2.1 Målsetning og avgrensning

Prosjektets målsetning er definert som følger:

Målet med oppdraget er å innhente oppdatert informasjon i form av litteraturgjennomgang om utslipp av helseskadelige komponenter til luft ved forbrenning av ulike typer og innblandinger av biodrivstoff, som grunnlag for å finne relevante utslippsfaktorer for de ulike komponentene til bruk i utslippsberegninger og rapportering nasjonalt. Arbeidet omfatter komponentene NO_x, svevestøv (PM₁₀/PM_{2,5}), svart og organisk karbon, SO₂, CO og forløpere for bakkenært ozon (metan og NMVOC), men også andre relevante komponenter som PAH, benzen, formaldehyd og acetaldehyd gjennomgås.

Temaområdene for oppdraget favner i utgangspunktet vidt, særlig med tanke på at gjennomgang og sammenstilling av utslippsfaktorer både for veggående kjøretøy og for andre sektorer som skipsfart, luftfart og anleggsvirksomhet er inkludert i prosjektet. Det var derfor viktig å klart definere avgrensningen av oppdraget.

Studien er avgrenset til typer biodrivstoff som tilfredsstiller drivstoffspesifikasjonene og er i bruk i Norge, i oppdragsbeskrivelsen spesifisert til FAME, HVO, HEFA til luftfart, bioetanol og biogass. Utslippssektorer som inngår i studien inkluderer både veggående kjøretøy (personbiler/lette kjøretøy; Euro I-VI og tunge kjøretøy; Euro IV-VI), i tillegg til luftfart, sjøfart, anleggsmaskiner og traktorer. I Tabell 1 følger en oversikt over drivstoffblandinger og kjøretøytyper som Miljødirektoratet har gitt Rambøll i oppdrag å utrede. Oversikten legges til grunn for det videre arbeidet med utredningen.

Oppdraget omfatter utslipp som forventes å utgjøre størst helserisiko. Dette vil i første rekke inkludere veigående kjøretøy, fartøy som legger til havn i urbane områder og ved større tettsteder, anleggsvirksomhet som pågår i tettbebygde strøk, traktorer og luftfart.

Prosjektet omfatter ikke kartlegging og vurdering av utslipp og resulterende helseeffekter. Generell informasjon om helserisiko, med henvisninger til sentrale toksikologiske studier og review-artikler om emnet, er kort omtalt i rapporten. Enkelte komponenter, som acetaldehyd, er spesifikt angitt i utslipp fra biodrivstoff; slike utslipp er inkludert i litteraturgjennomgangen.

Tabell 1: Ulike case som Rambøll har fått i oppdrag å utrede.

Case	Kjøretøykategori
1: B7. Autodiesel 7% FAME ² 93% diesel ³	Personbil
2: HVO30. Autodiesel 7% FAME 30% HVO ⁴ 63% diesel	Personbil
3-1: HVO20. Anleggs- maskiner 20% HVO 80% diesel	Maskiner over 10 tonn: gravemaskin, knuseverk, traktor Maskiner under 10 tonn: dumper, gravemaskin, minigraver, hjullaster, teleskoptruck
3-2: HVO20. Sjøfart 20% HVO 80% diesel	Større skip: for eksempel cargoskip, cruiseskip, hurtigbåter
4: HEFA. Luftfart 50% HEFA-SPK ⁵ 50% Jet A-1 ⁶	Luftfartøy med jetmotorer Luftfartøy med turbinmotorer (ikke småfly)
5-1: E5. Bensin 5% bioetanol 1% nafta ⁷ 1% ETBE ⁸ 1% MTBE ⁹ 92% bensin	Personbil
5-2: E10. Bensin 10% bioetanol 1% nafta 1% ETBE 1% MTBE 87% bensin	Personbil
6: ED95 95% bioetanol 5% additiver	Lastebiler. Langdistansebusser
7: Biogass. Sjøfart 50% LBG ¹⁰ 50% LNG ¹¹	Større skip: for eksempel cargoskip, cruiseskip, hurtigbåter

Kartlegging og litteraturgjennomgang inkluderer referanse, angivelse av metodikk for måling eller beregning, parametere av betydning for utslippene, og usikkerheter forbundet med studiene. Tilgjengelig informasjon om utslipp fra forbrenning av biodrivstoff og drivstoffblandinger ble sammenlignet med tilsvarende utslipp fra rent fossilt drivstoff (referansedrivstoff) som bensin og diesel.

² Fettsyremetylestere (Fatty Acid Methyl Esters) for dieselmotorer og oppvarmingsanlegg. NS-EN 14214:2012+A1:2014/AC/2014

³ Konvensjonell fossil diesel. NS-EN 590:2013+A1:2017

⁴ Parafinisk diesel (Hydrotreated Vegetable Oil), NS-EN 15940:2016+A12018

⁵ Biojetdrivstoff produsert via en spesifikk (ASTM sertifisert) teknologirute (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids Synthetic Paraffinic Kerosene)

⁶ Kerosenedrivstoff, parafinlignende

⁷ En gruppe flytende hydrokarboner, også kjent som «white spirit»

⁸ Ethyl tertiary-butyl ether. Additiv som forbedrer forbrenningskarakteristikken til drivstoffet

⁹ Metyl-tert-butyleter. Additiv som skal redusere utslipp ved forbrenning av bensin

¹⁰ Flytende biogass (Liquid Bio Gas). Omtales også som bio-LNG

¹¹ Flytende naturgass (Liquid Natural Gas)

Utslippsfaktorer er oppgitt i gram per kjørte kilometer (g/km; hovedsakelig for veggående kjøretøy) eller gram per kilogram drivstoff (g/kg).

2.2 Relevante ressurser og søkestrategi

Arbeidet med prosjektet startet med en kortfattet gjennomgang av systemet for nasjonal rapportering av utslipp til luft og tilhørende ressurser som utslippsdatabaser og -modeller i Norge og i andre land. Søk etter relevant vitenskapelig litteratur ble deretter foretatt.

Metodologi og utslippsfaktorer for utslipp til luft fra drivstofforburning nasjonalt beskrives og rapporteres i *National Inventory Report* (NIR; UN Climate Change, 2021a), som for Norge utarbeides av Miljødirektoratet. Arbeidet med utslippsberegninger og innrapportering foretas i samarbeid med blant andre Statistisk sentralbyrå, der sistnevnte er ansvarlige for innsamling av aktivitetsdata og utslippsmodellering, mens Miljødirektoratet foretar sammenstilling av utslippsfaktorer og innsamling av utslippsdata for enkelte sektorer. Innrapporterte utslippstall, fordelt på utslippssektorer, publiseres også i Statistisk sentralbyrås *Utslipp til luft-statistikk* (Statistisk sentralbyrå, 2021).

I NIR-rapportene står det om utslipp fra forbrenning av biodrivstoff og biomasse at det i utslippsberegningene legges til grunn samme utslippsfaktorer som for fossilt brensel. Mulige relevante kilder til informasjon om utslipp ved bruk av biodrivstoff inkluderer *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook* (EEA, 2019), som det tas utgangspunkt i ved de nasjonale utslippsberegningene og utarbeidelsen av NIR-rapportene. Den siste foreliggende air pollutant emission inventory guidebook ble utgitt i 2019; kap. 1.A.3.b.i-iv *Road transport* ble oppdatert i oktober 2020. Tilsvarende modeller for beregning av eksosutslipp fra vegtrafikk i bruk av andre land, som COPERT-modellen (EMISIA SA, 2021; i bruk f.eks. i Frankrike, Spania og Italia) og MOVES som brukes i USA (USEPA, 2021) er også aktuelle å se til for informasjon om hvordan bruk av biodrivstoff og biodrivstoffblandinger behandles i utslippsberegninger i andre land.

Hovedkilden til relevant informasjon om utslipp til luft fra bruk av biodrivstoff og utslippsfaktorer i studien besto av rapporter og fagfelleverderte tidsskriftsartikler. Kilder som fagbøker, bokkapitler og informasjon fra pågående utredninger, forskningsprosjekter og laboratorieforsøk ble også innhentet og gjennomgått.

Av mulig aktuell litteratur ble det foretatt søk etter aktuelle rapporter og utredninger foretatt for relevante departementer og institusjoner i andre land, som f.eks. EU, amerikanske USEPA og britiske Defra.

Det ble foretatt søk i aktuelle databaser for vitenskapelige publikasjoner, i hovedsak Web of Science og Google Scholar. Relevante søkeord inkluderer «biofuel», «biogas», «50% biogas», «bioethanol», «5% bioethanol E5», «10% bioethanol E10», «HVO», «HVO20», «20% HVO», «FAME», «HEFA», «50% HEFA» og «ED95», i kombinasjoner med «emissions», «air pollution», «air quality», «health effects», og «transportation», «aviation», «shipping» og «construction».

3. RESULTATER

Resultatene fra søk, gjennomgang og analyse av relevant litteratur (utslippsdatabaser, rapporter, vitenskapelige artikler) som inneholder informasjon om utslipp av aktuelle utslippskomponenter ved bruk av biodrivstoff er oppsummert i kap. 3.1. Detaljert beskrivelse av funn i kap. 3.2 er inndelt i delkapitler etter type biodrivstoff og case (se oversikt og definisjoner i Tabell 1). Selve utslippsfaktorene fra de ulike artiklene er oppført i rapportens Vedlegg 1, sammen med vurdering av kvalitet og usikkerhet.

3.1 Oppsummering av hovedfunn

3.1.1 Utslippsdatabaser og EMEP guidebook

Aktuelle databaser for utslipp til luft fra kjøretøy ble gjennomgått mhp. tilgjengelige utslipps- eller korreksjonsfaktorer for biodrivstoff. I Europa benyttes to ulike modeller/verktøy for beregning av utslipp fra vegtrafikk, i henhold til anbefalinger i *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook* (EEA, 2019): HBEFA (INFRAS, 2021), som brukes blant annet i Norge, og COPERT (EMISIA SA, 2021). I USA beregnes utslipp fra mobile kilder med MOVES-systemet (USEPA, 2021).

Blant alle de ulike typene kjøretøy som inngår i HBEFA og COPERT, er kun 8 typer (*Urban Biodiesel Buses*, detaljert etter Euro-standard) konfigurert i begge modellene som at de bruker biodiesel spesifikt. Andre kjøretøytyper kan konfigureres manuelt i COPERT til ulik prosentandel biodiesel/bioetanol, men justeringene gir kun endringer i utslippsfaktorene for CO₂; for andre utslippskomponenter blir utslippsfaktorene de samme som for korresponderende fossil diesel/bensin. HBEFA- og COPERT-databasene kan derfor per i dag ikke benyttes til å justere utslippsfaktorer for kjøretøy etter type eller andel biodrivstoff.

EMEP guidebook inneholder noe spesifikk informasjon om effekten av innblanding av biodiesel (FAME) på utslipp fra kjøretøy. Tilgjengelige korreksjonsfaktorer i EMEP er omtalt i kap. 3.2.1 om biodiesel (FAME-blandinger).

I USA publiseres utslippsfaktorer til bruk til offentlige og andre utslippsberegninger primært i amerikanske EPA (USEPA)s AP-42 *Compilation of Air Pollutant Emission Factors* (USEPA, 2021a), mens utslippsfaktorer for mobile kilder er inkludert i et eget utslippssystem: (*Motor Vehicle Emission Simulator*; USEPA, 2021b). Metodikk (korreksjonsfaktorer og -ligninger) fra rapporter som ligger til grunn for utslippsberegningene for biodrivstoff i MOVES er presentert i kap. 3.2.1 om FAME-innblandinger.

3.1.2 Rapporter og artikler

Det totale omfanget av publisert vitenskapelig litteratur innen feltet er stort; for eksempel gir kombinasjonen av søkeord «biofuel emissions vehicle» 820 treff i Web of Science, og hele 67 000 treff i Google Scholar. Antallet artikler er størst innen biodiesel: Søk på «biodiesel emissions» gir 11 275 treff i Web of Science, mens «hvo emissions» kun gir 155 treff i Web of Science. Kombinasjonene «biodiesel emissions» med «passenger car», «heavy duty», «jet» gir hhv. 82, 101 og 354 treff, mens tilsvarende kombinasjoner med «vessel» og «off-road»/«non-road»/«construction machinery» kun gir hhv. 26 og 16/2 treff.

Ved utvelgelse av publikasjoner til å inkludere i studien ble det lagt vekt på relevans: Nyere publikasjoner ble prioritert fremfor eldre, og det ble søkt etter og valgt ut artikler som inkluderte drivstofftypene, blandingen og utslippssektorene som samsvarer med omfanget på studien (se Tabell 1). Gitt det store antallet publiserte artikler, særlig innen biodiesel (FAME og HVO) og kjøretøy, vil ikke resultatene som er omtalt i foreliggende rapport være dekkende for alle relevante undersøkelser som er foretatt innen feltet.

Hovedfunn fra gjennomgang av studier (rapporter og artikler publisert i fagfelleverderte tidsskrifter) er oppsummert nedenfor:

- Rambøll har gjennomgått 93 studier. Studiene omfatter både vitenskapelige artikler og rapporter.
- Det er funnet flest utslippsfaktorer for innblanding av biokomponent i diesel og bensin i personbiler.
- Mange av studiene sammenligner utslipp fra ulike innblandinger av FAME med ulike innblandinger av HVO i diesel uten biokomponent (B0).
- Vi finner få studier som undersøker innblanding av HVO i diesel med 7% FAME (B7).
- Vi har ikke funnet noen studier som omhandler ED95

Tabell 2: Antall artikler gjennomgått av Rambøll, fordelt på type drivstoff

	Totalt	FAME	HVO	Bioetanol	Biogass (LBG/LNG)	HEFA*
Antall artikler	93	28	31	23	3	8

*HEFA produksjonsrute godkjent for bruk i luftfart.

Tabell 3: Artikler gjennomgått av Rambøll, fordelt på kjøretøykategori og drivstofftype. Noen artikler gir utslippsfaktorer for mer enn 1 kjøretøykategori.

	Personbil	Lastebil	Buss	Fartøy	Ikke-veigående	Fly	Uspesifisert*
FAME	13	4	0	0	2	0	9
HVO	13	8	1	3	4	0	7
Bioetanol	16	2	1	1	0	1	4
Biogass (LBG/LNG)	0	1	1	3	0	0	0
HEFA	0	0	0	0	0	8	0

*Uspesifisert: utslippsfaktorer som ikke kan knyttes opp mot en spesifikk kjøretøykategori. Eksempler på dette er artikler som har sammenstilt utslippsfaktorer fra andre artikler, utslippsfaktorer fra stasjonære motoranretninger og lignende.

Tabell 4: Artikler gjennomgått av Rambøll, fordelt per case. Relevans er kommentert i høyre kolonne.

Case	Beskrivelse	Antall artikler	Kommentar
1: B7. Autodiesel (personbil)	7% FAME 93% diesel	13	Artiklene presenterer utslippsfaktorer for ulike innblandinger, fra B5, B10 til B100.
2: HVO30. Autodiesel (personbil)	7% FAME 30% HVO 63% diesel	2	Få studier som undersøker diesel med 7% FAME (B7), med innblanding av HVO er funnet.
3-1: HVO20. Anleggs-maskiner	20% HVO 80% diesel	0 (4)	Ingen studier som undersøker HVO20 i ikke-veigående kjøretøy er funnet. Noen studier som undersøker HVO100 i ikke-veigående kjøretøy er funnet, men disse er tilknyttet større usikkerheter (antall angitt i parentes).
3-2: HVO20. Sjøfart (større skip)	20% HVO 80% diesel	0 (3)	Ingen studier som undersøker HVO20 i marine fartøy er funnet. Noen studier som undersøker HVO30 og HVO100 i marine fartøy er funnet, men disse er tilknyttet større usikkerheter (antall angitt i parentes).
4: HEFA i luftfart	50% HEFA 50% Jet-A1	2 (7)	Noen studier som undersøker 50% HEFA i Jet A-1 er funnet. Studier som undersøker andre innblandings-% er angitt i parentes.
5-1: E5. Bensin (personbil)	5% bioetanol 1% nafta 1% ETBE 1% MTBE 87% bensin	6 (15)	Artiklene presenterer utslippsfaktorer for ulike innblandinger av biokomponent (fra E5 til E85).
5-2: E10. Bensin (personbil)	10% bioetanol 1% nafta 1% ETBE 1% MTBE 87% bensin	9 (16)	Artiklene presenterer utslippsfaktorer for ulike innblandinger av biokomponent (fra E5 til E85).
6: ED95 (Lastebil)	95% bioetanol 5% additiver	0	Det er ikke funnet noen studier som omhandler ED95 i kjøretøyer.
7: Biogass. Sjøfart (større skip)	50% LBG 50% LNG	1 (3)	En relevant studie er funnet. Noen studier som er relevante, men som er tilknyttet større usikkerheter er funnet (antall angitt i parentes).

3.2 Biodiesel (FAME og HVO)

Produksjon av konvensjonelt FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*)-biodiesel foregår ved å ekstrahere olje fra biomassen som benyttes som råstoff, f.eks. raps eller soya, som deretter esterifiseres. HVO (*Hydrotreated Vegetable Oil*) er derimot fornybar, høykvalitets diesel som fremstilles fra råstoffet ved hydrogenering (tilførsel av hydrogen) ved høy temperatur. Kvaliteten til FAME avhenger av type og kvaliteten på råstoffet som brukes, mens HVO kan produseres fra mange ulike typer råstoff uten at kvaliteten reduseres.

I studien er følgende case som involverer blandinger av biodiesel og HVO inkludert: Personbiler som bruker hhv. autodiesel med 7 % FAME (case 1) og autodiesel med 30 % HVO-innblanding (case 2); og 20 % HVO-blanding i hhv. anleggsmaskiner (case 3-1) og fartøy (case 3-2; se også definisjoner av de ulike casene i Tabell 1).

3.2.1 Case 1: Autodiesel med 7% FAME, personbil

Diesel iht. gjeldende Norsk-Europeisk standard NS-EN 590:2013+A1:2017 kan inneholde inntil 7 volumprosent biodiesel (FAME), som betegnes som B7. Case 1 i studien utgjøres av biodiesel B7, som altså består av 7 % FAME og 93 % konvensjonell fossil diesel.

Innsamlede studier som rapporterer resultater fra utslippsmålinger ved bruk av både B7 og ren fossil diesel (B0) som kontroll drivstoff ble gjennomgått. Basert på de ulike studiene, ble gjennomsnittlige utslippsfaktorer beregnet for ulike utslippskomponenter; se oversikt med referanser vist i Tabell 5. Tabellen viser i tillegg prosentvis endring i utslippene mellom HVO30 og B0.

Tabell 5: Gjennomsnittlige utslippsfaktorer for autodiesel (7 % FAME, 93 % petroleumsbasert diesel)

Komponent	Utslippsfaktor (g/km)*	Endring ift. diesel (B0; %)	Referanser
NO _x	0,147 (min.: 0,058 maks.: 0,211)	-14,6 (min.: -57 maks.: +2,7)	(Lopes et al., 2013; Prokopowicz et al., 2015; Serrano et al., 2015; Suarez-Bertoa et al., 2019)
CO	0,106 (min.: 0,052 maks.: 0,159)	-16,6 (min.: -65 maks.: +31)	(Prokopowicz et al., 2015; Suarez-Bertoa et al., 2019)
PM	0,029	-12,1	(Prokopowicz et al., 2015)
THC	0,002	-50	(Suarez-Bertoa et al., 2019)
NMHC	0,019 (min.: 0,001 maks.: 0,036)	-15 (min.: -50 maks.: +20)	(Prokopowicz et al., 2015; Suarez-Bertoa et al., 2019)

*Utslippsfaktorer for referansedrivstoff (B0; i g/km): NO_x: 0,176; CO: 0,134; PM: 0,033; THC: 0,004; NMHC: 0,016. Dataene fra Serrano et al. (2015) for NO_x er utelatt fra beregningen av gjennomsnittlige utslippsfaktorer pga. svært høy faktor sammenlignet med øvrige studier, men resultatene fra denne studien er inkludert i beregningene av prosentvis endring sammenlignet med B0

En oppsummering av hovedfunn for autodiesel med 7 % FAME (case 1) og utslipp til luft, i tillegg til diskusjon av usikkerheter er gitt punktvis i det følgende:

- ✓ Flere publiserte artikler har rapportert utslipp til luft av NO_x i B7 sammenlignet med ren fossil diesel, og enkelte også av CO (Tabell 5). Kun en artikkel ble funnet som rapporterer utslipp av PM og THC fra både B7 og B0. Rapporterte utslippsfaktorer fra ulike studier viser til dels betydelig variasjon: F.eks. varierer utslippene av NO_x mellom 0,058 (Suarez-Bertoa et al., 2019) og 0,211 g/km (Prokopowicz et al., 2015).
- ✓ Som det framgår av Tabell 5, varierer betydningen av innblanding av 7 % FAME i diesel sterkt mellom de ulike studiene: Gjennomsnittlig reduseres f.eks. NO_x med -14,6 % for B7 sammenlignet med B0, men reduksjon på hele 57 % har blitt funnet (Suarez-Bertoa et al., 2019), mens Serrano et al. (2015) derimot fant en økning på 2,7 %. Resultatene for CO er også inkonsekvente: Gjennomsnittlig ble utslippene redusert med -16,6 %, men endringen i de to tilgjengelige studiene varierte fra -65 (Suarez-Bertoa et al., 2019) til +31 % (Prokopowicz et al., 2015). Utslippene av PM og hydrokarboner ser ut til å reduseres for B7 sammenlignet med fossil diesel, men for PM og THC er det kun funnet en studie som sammenligner B7 og B0, og for NMHC varierer resultatene i de to tilgjengelige studiene sterkt. Suarez-Bertoa et al. (2019) fant at påvirkningen av FAME-innblanding på utslippene varierer sterkt, avhengig av testforhold som etterbehandlingssystem og temperatur: F.eks. var utslippene av NO_x signifikant lavere ved bruk av B7 for en personbil med SCR ved 23 °C (58 mg/km) enn ved bruk av B0 (136 mg/km), mens med samme kjøretøy ved -7 °C var NO_x-utslippene derimot høyere for B7 (1077 mg/km) enn for B0 (770 mg/km). Effekten på utslipp av CO og THC varierte også med forskjeller i temperatur og etterbehandlingssystem.
- ✓ Utslippsfaktorene funnet i litteraturen for utslipp fra bruk av biodrivstoff for kjøretøy er forbundet med betydelige usikkerheter, i stor grad relatert til ulike testbetingelser. Artiklene referert til i Tabell 5 involverer personbiler med motorklasse fra Euro IV til Euro VI. Kjøretøyene i de gjennomgåtte studiene i prosjektet har også ulike typer etterbehandlingssystemer: EGR (*Exhaust Gas Recirculation*), SCR (*Selective Catalytic Reduction*), DPF (*Diesel Particulate Filter*), DOC (*Diesel Oxidation Catalyst*), og ingen. I enkelte av studiene er motor-klassen og evt. etterbehandlingssystem ikke spesifisert. En annen viktig kilde til variabilitet er ulikheter i testsyklus: Flere av studiene har benyttet *New European Driving Cycle* (NEDC), som Serrano et al. (2015), mens *Worldwide Harmonized Light-duty Test Procedures* (WLTP), som brukt av f.eks. Suarez-Bertoa et al. (2019), i dag benyttes som standard. Andre studier, som (Dimaratos et al., 2020; B0 ikke inkludert), har brukt kjøring under reelle forhold som

testmetode. (Suarez-Bertoa et al., 2019) målte utslipp ved ulike temperatur, og fant betydelig høyere utslipp for de fleste undersøkte komponentene ved -7 °C enn ved 23 °C. Dette er parametere som vil ha stor betydning for utslippene. I studien er utslippsfaktorer sammenstilt for ulike motorklasser, etterbehandlingssystem og testmetode, noe som forklarer deler av variabiliteten funnet i utslippsfaktorer. For flere av artiklene gjennomgått i prosjektet er ikke sammensetningen av autodiesel spesifisert; det er dermed uvisst hvorvidt diesel-drivstoffet er standard B7, eller om det er brukt kontroldiesel uten tilsatt FAME (B0). Enkelte studier oppgir utslipp i andre enheter, f.eks. g/kWh, uten nødvendige omregningsfaktorer, slik at resultatene ikke kan inkluderes i sammenstillingen av utslippsfaktorer.

- ✓ Enkelte studier (Gangwar et al., 2012; Ka et al., 2009; Lopes et al., 2013) har undersøkt totalt innhold av karbon (TC) og fordelingen mellom elementært og organisk karbon (EC/OC) i partikkelutslipp fra biodiesel. Gangwar et al. (2012) fant f.eks. totalt lavere PM-utslipp fra B20 (diesel med 20 % FAME-innblanding) sammenlignet med B0, men høyere BSOF (*Benzene Soluble Organic Fraction*) og OC/EC-fraksjon i B20 enn i B0, som indikerer større toksisk potensiale. Partikkelutslippene og andelen OC, EC og TC var sterkt variable avhengig av motorbelastning, men resultatene viser at toksisiteten til utslipp fra biodiesel må evalueres grundig dersom en økning i FAME-innhold utover 7 % planlegges innført.
- ✓ Ytterligere økning av FAME-prosentandelen i autodiesel til mer enn B7 vil kunne ha konsekvenser for utslipp til luft. For eksempel undersøkte Atzemi et al. (2019) utslipp for en rekke ulike biodieselblandinger (B10, B20, B30, B40, B100), og fant at utslippene av NO_x økte med økende innblandingsgrad for de fleste testforholdene. CO-utslippene økte med økende FAME-innblandingsgrad ved lavere og ble redusert ved høyere motorbelastning, mens PM-utslippene ble redusert med økende FAME-innhold ved alle testede forhold. Resultatene fra forskningslitteraturen er imidlertid variable: Ved testing av B0, B7 og B20 fant Lopes et al. (2013) en viss økning i NO_x-utslipp for B7 sammenlignet med B0, men lavere utslipp for B20; dette forklares i artikkelen med at B20 resulterte i mer effektiv og fullstendig forbrenning enn B7.
- ✓ Flertallet av studiene rapporterer de såkalte regulerte utslippskomponentene av betydning for lokal luftkvalitet, som NO_x, CO, PM og THC, og det er disse forbindelsene og gruppene som er oppført i resultatkapitlet i denne rapporten. Utslipp av uregulerte komponenter som flyktige organiske forbindelser (VOC), karbonylforbindelser (aldehyder som acetaldehyd og formaldehyd) og PAH har også blitt undersøkt i flere studier. Flere enkeltforbindelser innen disse gruppene er toksiske ved eksponering, f.eks. regnes benzo(a)pyren og formaldehyd begge som carcinogene (kreftfremkallende) stoffer. Innhold av en rekke ulike aldehyd- og PAH-forbindelser ble undersøkt av Karavalakis et al. (2011) i utslipp fra biodiesel med ulike innblanding: Studien fant klare økninger i utslipp av karbonyler som formaldehyd og acetaldehyd med økende innblandingsgrad av FAME. For PAH var resultatene mer varierende, med økning av enkelte forbindelser og reduksjon av andre, i stor grad avhengig av testforhold og opphavet til drivstoffet. Prokopowicz et al. (2015) fant også økte utslipp av karbonylforbindelser ved økende prosentandel FAME, mens det ikke var noen klar trend for PAH. Lopes et al. (2013) målte utslipp av en rekke VOC-forbindelser i B0, B7 og B20. VOC-utslippene var høyere i B7 enn i B0, mens for B20 var utslippene sammenlignbare med B0.

Tabell 3-86 i EMEP guidebook (EEA, oppdatert versjon fra okt. 2020; seksjon 1.A.3.b) lister opp korreksjonsfaktorer for ulike typer kjøretøy (personbiler, lette varebiler og lastebiler) for eksosutslipp for ulike biodieselblandinger sammenlignet med fossilt diesel (B0); se korreksjonsfaktorene fra EMEP guidebook listet opp i Tabell 6. Det legges til grunn at biodieselblandingen angir FAME-innblandinger. Iht. EMEP guidebook regnes altså utslippene av PM, CO og HC å reduseres med økende innblanding av FAME for de fleste typene kjøretøy og innblandingsgradene, mens NO_x-utslippene forventes å øke noe.

Tabell 6: Estimert effekt av biodieselblandinger på utslipp fra dieseldrevne kjøretøy; fra EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook (EEA, 2019)

Komponent	Type kjøretøy	B10	B20	B100
CO ₂	Personbiler	-1,5 %	-2,0 %	0,1 %
	Lette varebiler	-0,7 %	-1,5 %	
	Tunge kjøretøy	0,2 %	0 %	
NO _x	Personbiler	0,4 %	1,0 %	9,0 %
	Lette varebiler	1,7 %	2,0 %	
	Tunge kjøretøy	3,0 %	3,5 %	
PM	Personbiler	-13,0 %	-20,0 %	-47,0 %
	Lette varebiler	-15,0 %	-20,0 %	
	Tunge kjøretøy	-10,0 %	-15,0 %	
CO	Personbiler	0 %	-5,0 %	-20,0 %
	Lette varebiler	0 %	-6,0 %	
	Tunge kjøretøy	-5,0 %	-9,0 %	
HC	Personbiler	0 %	-10,0 %	-17,0 %
	Lette varebiler	-10,0 %	-15,0 %	
	Tunge kjøretøy	-10,0 %	-15,0 %	

MOVES-programmet (USEPA) inkluderer studier foretatt for å estimere effekten av drivstoff på utslipp fra kjøretøy. For biodiesel legges særlig følgende to studier til grunn, iht. Biodiesel Emissions Analysis Program:

- *A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions – Draft Technical Report* – EPA420-P-02-001 (USEPA, 2002)
- *Fuel Effects on Exhaust Emissions from Onroad Vehicles in MOVES3* – EPA-420-R-20-016 (USEPA, 2020)

Rapporten *A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions* anbefaler å analysere påvirkningen av biodiesel på utslipp ved bruk av offentlig tilgjengelige data, ved å bruke statistisk regresjonsanalyse for å korrelere konsentrasjonen av biodiesel i konvensjonelt dieseldrivstoff med endringer i utslipp av ulike komponenter. *Fuel Effects on Exhaust Emissions from Onroad Vehicles in MOVES3* angir prosentvis korreksjonsfaktorer, basert på en tidligere studie (USEPA Assessment and Standards Division Office of Transportation and Air Quality, 2010).

I likhet med korreksjonen i EMEP guidebook, tyder studiene som legges til grunn for MOVES på at utslippene av PM, CO og HC reduseres med økende prosentvis innblanding av biodiesel sammenlignet med standard fossil diesel, mens NO_x-utslippene øker noe. Informasjonen i MOVES-dokumentasjonen spesifiseres imidlertid ikke hvilken type biodiesel som er lagt til grunn, dataene i *A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions* er i hovedsak samlet inn for lastebiler, og *Fuel Effects on Exhaust Emissions from Onroad Vehicles in MOVES3* estimerer påvirkningen av en 20 % soya-basert biodiesel, for drivstofftyper fra 2007 og tidligere. Dataene lagt til grunn for utslippsberegninger for biodiesel i MOVES vurderes derfor å ha liten relevans for beregninger for biodieselblandinger i Norge.

3.2.2 Case 2: 30% HVO, personbil

Gjennomsnittlige utslippsfaktorer for personbiler som bruker diesel med 30 % HVO (HVO30), som utgjør case 2, er oppført i Tabell 7, i tillegg til beregnet prosentvis endring i utslippene mellom HVO30 og ren fossil diesel (B0).

Tabell 7. Gjennomsnittlige utslippsfaktorer for HVO30 (30 % HVO, 70 % autodiesel)

Komponent	Utslippsfaktor (g/km)*	Endring ift. diesel (B0; %)**	Referanser
NO _x	0,282 (min.: 0,224 maks.: 0,341)	+0,3 (min.: -0,7 maks.: 1,3)	(Dobrzyńska et al., 2020***; Prokopowicz et al., 2015; Suarez-Bertoa et al., 2019)
CO	0,0929 (min.: 0,0590 maks.: 0,151)	-96 (min.: -113 maks.: -69)	(Dobrzyńska et al., 2020; Prokopowicz et al., 2015; Suarez-Bertoa et al., 2019)
PM	0,0378 (min.: 0,0300 maks.: 0,0456)	-6,3 (min.: -10 maks.: -2,5)	(Dobrzyńska et al., 2020; Prokopowicz et al., 2015)
THC	0,0121 (min.: 0,002 maks.: 0,0223)	-68 (min.: -100 maks.: -40)	(Dobrzyńska et al., 2020; Suarez-Bertoa et al., 2019)
NMHC	0,013 (min.: 0,001 maks.: 0,025)	-60 (min.: -100 maks.: -20)	(Prokopowicz et al., 2015; Suarez-Bertoa et al., 2019)

*Utslippsfaktorer for referansedrivstoff (B7; i g/km): NO_x: 0,214 (med tallet fra Suarez-Bertoa et al. (2019) utelatt: 0,253); CO: 0,174; PM: 0,040; THC: 0,0172; NMHC: 0,016

**Dataene fra (Suarez-Bertoa et al., 2019) for NO_x er utelatt fra beregningen av prosentvis endring pga. stort avvik i resultatene mellom HVO30 og B7 sammenlignet med øvrige studier

***Referansedrivstoffet i (Dobrzyńska et al. (2020) er for B7 (ikke B0)

Hovedfunn for case 2 er oppsummert nedenfor:

- ✓ Tre av de gjennomgåtte studiene inneholder utslippsdata for NO_x og CO, og to for PM, THC og NMHC, for både HVO30 og kontrolldiesel, som muliggjør beregning av prosentvis endring i utslipp. Det gjøres oppmerksom på at referansedrivstoffet i Dobrzyńska et al. (2020) er B7 og ikke B0. Enkelte artikler inneholder utslippsfaktorer for ulike HVO-innblandinger inkludert HVO30, men uten å oppgi utslippsdata for kontrolldrivstoff; disse studiene er ikke inkludert i sammenstillingen.
- ✓ Som det framgår av Tabell 7, varierer utslippsfaktorene for HVO30 betydelig for de fleste undersøkte komponentene, og det er stor variasjon i den prosentvise endringen mellom HVO30 og kontrolldrivstoffet. For NO_x fant Dobrzyńska et al. (2020) en mindre reduksjon i utslippene (-0,7 %), mens Prokopowicz et al. (2015) fant en viss økning (1,3 %). Suarez-Bertoa et al. (2019) påviste en stor økning i NO_x-utslippene (60 %); avviket mellom B0 og HVO30 i denne studien var såpass avvikende at dette resultatet er utelatt fra sammenstillingen. Resultatene i sistnevnte studie var svært ulike for andre typer etterbehandlingssystem og -temperaturer; ved -7 °C var f.eks. NO_x-utslippene vesentlig høyere enn ved 23 °C, men økningen med HVO-innblanding mindre, mens ved kald temperatur og LNT som etterbehandlingssystem ble NO_x-utslippene redusert for HVO30 sammenlignet med fossil diesel. For CO ble utslippene betydelig redusert sammenlignet med kontrolldiesel, gjennomsnittlig med -96 %. PM-utslippene ble også noe redusert ved bruk av HVO30, på hhv. -2,5 % (Dobrzyńska et al., 2020) og -10 % (Prokopowicz et al., 2015). Utslipp av THC og NMHC ser ut til å reduseres ved innblanding av HVO, men resultatene er fra kun to studier og anses å være forbundet med betydelige usikkerheter.
- ✓ Foreliggende publikasjoner som undersøker påvirkningen av innblanding av HVO i autodiesel og utslipp til luft viser klart at testforhold (type kjøretøy, teknologi, testforhold) har stor betydning for utslippene. I Suarez-Bertoa et al. (2019)-studien var f.eks. økningen i NO_x-utslippene betydelig mindre for det andre testede kjøretøyet, og mens utslippsøkningen var stor under WLTP ved 23 °C, ble utslippene derimot redusert når samme test ble gjennomført ved kaldere temperatur (-7 °C). Atzemi et al. (2019) påviste at påvirkningen av innblandingsgrad av HVO i biodiesel på utslipp er avhengig bl.a. av motorbelastning. Ulike typer tilsetningsstoffer (additiver) til drivstoffet kan også påvirke utslippene betydelig: F.eks. undersøkte Dobrzyńska et al. (2020) utslipp for bl.a. HVO30 ved tilsetning av to potensielle

additiver (nanoCeO₂ og nanoferrocene; ikke i bruk i dag), og fant reduksjon særlig i utslippene av CO og hydrokarboner ved tilsetning av HVO til B7 sammen med additiver.

- ✓ De fleste studier finner reduksjon i PM-utslipp med økende innblandingsgrad av HVO i diesel. Imidlertid er det viktig å ta i betraktning at selv om partikkelmasse-utslippene reduseres, tyder studier på at partikkelantallet er høyere og gjennomsnittlig diameter på partiklene lavere ved forbrenning av biodiesel sammenlignet med fossil diesel (Gaffney & Marley, 2009). Dobrzyńska et al. (2020) fant en økning i antall partikler med økende prosentandel HVO. Mindre partikler kan penetrere dypere ned i luftveiene, og er dermed totalt sett assosiert med større helserisiko.

3.2.3 Case 3-1: HVO, anleggsmaskiner

Rambøll har ikke funnet artikler som undersøker anleggsmaskiner eller andre ikke-veigående kjøretøy med 20 % HVO i diesel. Det er funnet artikler som undersøker utslippsfaktorer for 100 % HVO for slike kjøretøy, men det er store usikkerheter knyttet til underlaget og utslippsfaktorene er derfor ikke gjengitt her. Usikkerhetene går ut på at utslippsfaktorene ikke er oppgitt i relevant enhet, omregningsfaktorer og referansedrivstoff mangler, i tillegg til at type kjøretøy/maskin og motor ikke er angitt for enkelte av studiene. Vi finner en studie der både type kjøretøy, referansedrivstoff og testforhold er angitt. Denne fant at NO_x-utslippene ble redusert med 20% ved bruk av 100% HVO i en traktor sammenlignet med bruk av fossil diesel (Pirjola et.al. 2017).

3.2.4 Case 3-2: HVO, sjøfart

Rambøll har ikke funnet artikler som undersøker fartøyer eller skip med 20 % HVO i diesel, men det er funnet artikler som undersøker utslippsfaktorer for henholdsvis 100 % HVO og 33 % HVO i diesel for slike fartøy. Disse er gjengitt i Tabell 8 og Tabell 9.

Tabell 8: Gjennomsnittlige utslippsfaktorer for 100% HVO til skip. Diesel med lavt svovelinhold er brukt som referansedrivstoff.

Komponent	Utslippsfaktor (g/kg)*	Endring ift. diesel (%)	Referanser
NO _x	47,55 (min.: 44,10 maks.: 51,00)	-35,3 (min: -40,0 maks: -30,6)	(Betha et al., 2017; Gysel et al., 2014; Ushakov & Lefebvre, 2019)
CO	10,46 (min.: 6,60 maks.: 14,32)	-5,7 (min: -40,5 maks: 29,1)	(Betha et al., 2017; Gysel et al., 2014; Ushakov & Lefebvre, 2019)
PM	1,15 (min.: 1,10 maks.: 1,19)	+0,5 (min:-3,6 maks: 4,7)	(Betha et al., 2017; Gysel et al., 2014; Ushakov & Lefebvre, 2019)

* Utslippsfaktorer for referansedrivstoff (i g/kg): NO_x: 73,51; CO: 11,09; PM: 1,14

Tabell 9: Utslippsfaktorer for 33% HVO i skip. Diesel med lavt svovelinhold er brukt som referansedrivstoff.

Komponent	Utslippsfaktor (g/kg)*	Endring ift. diesel (%)	Referanser
NO _x	86,21	-3,7	(Gysel et al., 2014)
CO	15,56	+8,7	(Gysel et al., 2014)
PM	1,44	+0,3	(Gysel et al., 2014)

*Utslippsfaktorer for referansedrivstoff (i g/kg): NO_x: 89,53; CO: 14,32; PM: 1,43

- ✓ Gjennomsnittlige utslippsfaktorer for 100 % HVO er basert på utslippsdata fra et forskningsfartøy, et overvåkningsfartøy og en testtrigg bestående av en tyngre motor som ble kjørt under typiske marine driftsforhold. Utslippsfaktorer for 33 % HVO er basert på utslippsdata fra et overvåkningsfartøy.

- ✓ Sammenlignet med diesel med lavt svovelinnhold, som er brukt som referansedrivstoff, er både NO_x og CO utslippene lavere ved bruk av 100 % HVO. For PM er utslippene noe høyere sammenlignet med diesel. Resultatene er mindre sprikende enn for HVO30 i personbil (case 2), som samlet viste et økt utslipp av NO_x ved innblanding av HVO. Årsaken til forskjellen er usikker. Bruk av forskjellige referansedrivstoff kan ha en betydning. Autodiesel ble brukt som referansedrivstoff for personbil, mens det for fartøy er brukt en type diesel med lavt svovelinnhold. Personbiler og fartøy bruker forskjellige typer motor, og driftssyklusen er forskjellig. Ettersom resultatene er basert på et lavt antall studier kan forskjellene være tilfeldige. Resultater fra et mye større antall studier bør undersøkes for å kunne fastslå en trend.
- ✓ Nøyaktige utslippsfaktorer har ikke vært tilgjengelige for artiklene, og verdiene er lest av fra grafer i artikkelen. Prosjektet er blitt gjennomført i løpet av K3 og K4 2021, og det har ikke vært tid til å kontakte forfattere for å fremskaffe nøyaktige data. Feil som følger av unøyaktig avlesning kan ikke utelukkes.
- ✓ Grunnlaget for utslippsfaktorene er 3 artikler med utslippsdata. Datagrunnlaget er derfor svakt. Det er behov for et større underlag for å kunne si noe om utslipp fra fartøy med innblanding av HVO.

3.3 HEFA i luftfart

3.3.1 Case 4: Biojet drivstoff, luftfart

Rambøl har undersøkt utslippsfaktorer for bruk av 50 % HEFA i større fly med turbinmotorer (ikke småfly). Drivstoffet som undersøkes skal være sertifisert for bruk i luftfart. Utslippsfaktorene som er funnet er gjengitt i Tabell 10. Nedenfor tabellen følger en tekst som beskriver resultatene og som forklarer forutsetninger og usikkerheter.

Tabell 10: Gjennomsnittlige utslippsfaktorer for 50% HEFA i Jet-A1 flydrivstoff. Jet-A1 er brukt som referansedrivstoff.

Komponent	Utslippsfaktor (g/kg)*	Endring ift. Jet-A1 (%)	Referanser
NO _x	1,841 (min.: 0,690 maks.: 2,513)	+22,2 (min.: -54,2 maks.: 66,8)	(Gawron & Bialecki, 2018; Gawron et al., 2020)
CO	76,500 (min.: 74,250 maks.: 79,250)	-5,0 (min.: -7,9 maks.: -1,7)	(Gawron & Bialecki, 2018; Gawron et al., 2020)

* Utslippsfaktor for referansedrivstoff (i g/kg): NO_x: 1,506; CO: 80,625

- ✓ Verdiene i tabellen er basert på to ulike studier, som undersøker henholdsvis 48 % og 50 % HEFA innblanding i Jet-A1 flydrivstoff. HEFA er i begge tilfeller sertifisert for bruk som drivstoff i luftfart. Begge studier tester drivstoffet i en turbin, men det er usikkert om driftsbetingelsene er sammenfallende.
- ✓ Resultatene viser samlet sett en økning i utslipp av NO_x ved innblanding av 48-50 % HEFA i Jet-A1 flydrivstoff, sammenlignet med ren Jet-A1 flydrivstoff. Usikkerheten er stor, og de to studiene konkluderer forskjellig. Variasjonen mellom de to studiene er fra 54% reduksjon til 67% økning i utslipp av NO_x ved 48-50 % innblanding av HEFA i Jet-A1, sammenlignet med ren Jet-A1.
- ✓ Resultatene viser en reduksjon i utslipp av CO ved innblanding av 48 % og 50 % HEFA i Jet A1 flydrivstoff, sammenlignet med ren Jet A1. Her konkluderer de to studiene likt, og med mindre variasjon mellom studiene sammenlignet med for NO_x.
- ✓ Nøyaktige utslippsfaktorer har ikke vært tilgjengelige for de to artiklene, og verdiene er lest av fra grafer i artikkelen. Feil som følger av unøyaktig avlesning kan ikke utelukkes.

- ✓ Grunnlaget for utslippsfaktorene er 2 artikler med utslippsdata. Det er vanskelig å generalisere funnene basert på kun 2 studier, og det er behov for et større underlag for å kunne peke på trender i utslipp fra luftfart ved bruk av HEFA-innblandinger.

3.4 Alkohol-drivstoff

På verdensbasis er bioetanol det mest brukte biodrivstoffet i transportsektoren (Gramsch et al., 2018), særlig i land som USA, Brasil og Sverige som produserer store mengder av råstoffene som inngår i produksjonen av alkoholholdige drivstoff. Bioetanol produseres vanligvis ved fermentering av plantemateriale som sukkerroer eller mais; i Sverige benyttes også skogråstoff.

I kjøretøy kan bensin blandes ut til opptil 10 volumprosent etanol, som betegnes E10, uten ytterligere modifikasjoner. Case 5-1 og 5-2 utgjøres av personbiler som bruker bensin med innblanding av bioetanol til hhv. 5 (E5) og 10 % (E10).

3.4.1 Case 5-1 og 5-2: Bensin med bioetanol E5 og E10, personbil

Tabell 11 inneholder gjennomsnittlige utslippsfaktorer for E5 og E10 for ulike utslippskomponenter, samt prosentvis endring sammenlignet med 100 % fossil bensin (E0). Hovedfunnene er oppsummert punktvis samlet for E5 og E10.

Tabell 11. Gjennomsnittlige utslippsfaktorer for bensindrivstoff med bioetanol-innblandinger (5 og 10 volumprosent etanol; E5 og E10).

Blanding	Komponent	Utslippsfaktor (g/km)*	Endring ift. bensin (E0; %)	Referanser
E5	NO _x	0,315	-33,0	(Pelkmans et al., 2011)
	CO	0,512	+15,2	(Pelkmans et al., 2011)
	THC	0,0024	+2,2	(Pelkmans et al., 2011)
E10	NO _x	0,034 (min.: 0,019 maks.: 0,067)	-27,6 (min.: -38,3 maks.: +19,2)	(Aakko-Saksa et al., 2014; Gramsch et al., 2018; Muñoz et al., 2016; Pelkmans et al., 2011)
	CO	0,87 (min.: 0,360 maks.: 2,13)	-19,1 (min.: -75,5 maks.: -8,8)	(Aakko-Saksa et al., 2014; Gramsch et al., 2018; Muñoz et al., 2016; Pelkmans et al., 2011)
	PM	0,0067	+4,9	(Aakko-Saksa et al., 2014)
	THC	0,119 (min.: 0,002 maks.: 0,403)	-28,0 (min.: -61,5 maks.: -4,3)	(Aakko-Saksa et al., 2014; Gramsch et al., 2018; Muñoz et al., 2016; Pelkmans et al., 2011)
	NMHC	0,367 (min.: 0,350 maks.: 0,383)	-32,2 (min.: -63,2 maks.: -1,2)	(Aakko-Saksa et al., 2014; Gramsch et al., 2018)
	CH ₄	0,036	+2,9	(Gramsch et al., 2018)

*Utslippsfaktorer for referansedrivstoff (i g/km): NO_x: 0,050; CO: 1,22; PM: 0,0073; THC: 0,15; NMHC: 0,68; CH₄: 0,035

- ✓ Kun én studie (Pelkmans et al., 2011) ble funnet som rapporterer utslipp til luft av regulerte komponenter fra både E5-innblanding og kontroll drivstoff uten etanol (E0). Som det framgår av resultatene i artikkelen og Tabell 11, medførte E5 en reduksjon i NO_x-utslipp på 33 % sammenlignet med fossil bensin, mens utslippene av CO og THC økte med hhv. 15,2 og 2,2 %. Det er vanskelig å generalisere funnene basert på kun denne ene studien; effekten av E5 på utslipp til luft anses derfor som uvisst.
- ✓ For E10 viser resultater fra tilgjengelige studier i gjennomsnitt en nedgang i utslippene av de fleste undersøkte komponentene, dvs. for NO_x, CO og hydrokarboner (HC/THC, NMHC) sammenlignet med fossil bensin, men resultatene er varierende både mellom studiene og delvis innen samme studie. Aakko-Saksa et al. (2014) fant f.eks. en gjennomsnittlig økning

i NO_x-utslippene for E10 sammenlignet med E0 på 19,2 %, men variasjonen mellom de tre ulike testede kjøretøyene var på mellom -9,1 og 50 %. Gjennomsnittlige utslipp av CO ble redusert i alle de tre gjennomgåtte studiene, mens PM-utslippene i Aakko-Saksa et al. (2014)-studien økte med 4,9 %.

- ✓ Bruk av bioetanol som drivstoff i kjøretøy medfører noe utslipp av aldehyder (Gaffney & Marley, 2009; Khan et al., 2021): Etanol oksideres til acetaldehyd, som er toksisk og klassifisert som kreftfremkallende. Bruk av bioetanol medfører også noe utslipp av uforbrent etanol til luft. Aakko-Saksa et al. (2014) fant eksempelvis betydelig økte utslipp av aldehyder som acetaldehyd ved bruk av E10, og Sakthivel et al. (2020) påviste lineær økning i acetaldehyd-utslipp ved økende innblandingsgrad av bioetanol i bensin. Modelleringsstudier viser at betydelig økning i bruk av bioetanol-drivstoff i byområder vil resultere i forhøyede konsentrasjoner av acetaldehyd i luft (Sundvor & López-Aparicio, 2014), men denne typen omfattende implementering av bioetanol med høy innblandingsprosent er ikke realistisk i Norge. Pågående forskning undersøker effekten av ulike former for teknologier for å redusere utslippene av komponenter som acetaldehyd ved bruk av biodrivstoff, f.eks. etterbehandlings-systemer med egnede katalysatorer (Sharma et al., 2022).

3.4.2 Case 6: ED95, lastebil

Det er ikke funnet noen studier som omhandler ED95 (95 % etanol, 5 % additiver) i lastebiler.

3.5 Biogass i sjøfart

3.5.1 Case 7: Bruk av LBG i sjøfart

Rambøll har lagt vekt på å finne utslippsfaktorer for 50 % LBG og 50 % LNG. Utslippsfaktorene som er funnet er gjengitt i Tabell 12.

Tabell 12: Utslippsfaktorer for 50% LBG i LNG for skip (ro-ro cargoskip med lastekapasitet på 7500 tonn). Tungolje (HFO) er brukt som referansedrivstoff. Tungolje er et vanlig drivstoff for større skip.

Komponent	Utslippsfaktor (g/km)*	Endring ift. tungolje HFO (%)	Referanser
NO _x	0,057	-92,8	(Brynolf et al., 2014)
PM	0,002	-95,2	(Brynolf et al., 2014)
SO ₂	0,000	-99,9	(Brynolf et al., 2014)

*Utslippsfaktor for referansedrivstoff (i g/km): NO_x: 0,80; PM: 0,05; SO₂: 0,34

- ✓ Brynolf et.al. viser utslippsfaktorer for henholdsvis LBG og LNG ved bruk av samme type skip, cargokapasitet, motortype og driftsbetingelser. Skipet er et ro-ro cargoskip med lastekapasitet på 7500 tonn. Motoren er en konvensjonell dual-fuel motor som bruker 1 % MGO som start-drivstoff. Resultatene viser store kutt i utslipp av NO_x, PM og SO₂ ved bruk av LNG og LBG sammenlignet med tungolje.
- ✓ Artikkelen presenterer utslippsfaktorer for LNG og LBG hver for seg, og de fleste utslippsfaktorene, inkludert NO_x, PM og SO₂ er like for LNG og LBG. Innblanding av LBG i LNG er dermed ikke funnet å påvirke utslipp av NO_x, PM og SO₂. Resultatene er forventet ettersom både LNG og LBG består av tilnærmet ren metan. Det som skiller dem fra hverandre er stort sett opprinnelsen til metanet, som er fossilt for LNG, mens det for LBG er avfall og rester.
- ✓ Brynolf et.al. påviste etan (C₂H₆) og propan (C₃H₈) i eksosgassen fra forbrenning av LNG. Disse komponentene er ikke funnet i eksosgassen fra forbrenning av LBG. Både etan og propan er hydrokarboner og det fossile opphavet til LNG er antatt å være årsaken til utslipp av disse komponentene.

- ✓ Brynolf et.al. påviste også en forskjell i N_2O -utslipp mellom LBG og LNG, men denne er svært liten (0,00029 g /km for LNG og 0,00030 g/km for LBG).
- ✓ Standardavvik er ikke oppgitt for noen av utslippsdataene, og usikkerheten i dataene er derfor ikke kjent.
- ✓ Artikkelen oppgir ikke hvilke drivstoffstandarder LNG, LBG og referansedrivstoffet (tungolje, HFO) oppfyller, så kvaliteten på drivstoffene er ikke kjent. Alder og motorklasse for dual-fuel motoren er heller ikke kjent. Dette regnes som en stor kilde til usikkerhet.
- ✓ Verdiene er omregnet fra g/MJ til g/km ved å benytte omregningsfaktorer som oppgitt i artikkelen. Disse er på henholdsvis 0,519 MJ/km for LBG og LNG, og 0,498 g/km for tungolje.
- ✓ Grunnlaget for utslippsfaktorene i tabellen over er 1 artikkel. Datagrunnlaget er derfor svært svakt. Det er behov for et større underlag for å kunne si noe om utslipp fra sjøfart for LNG/LBG-blandinger.

4. KONKLUSJON OG ANBEFALINGER

Totalt er 93 studier gjennomgått av Rambøll som del av prosjektet, men kun et utvalg av disse er gjengitt i denne rapporten. Av de 93 studiene er utslippsdata fra 19 publikasjoner inkludert i sammenstilling av utslippsfaktorer som er oppført i rapporten. Studier er blitt utelukket som en følge av blant annet mangel på informasjon om testbetingelser og referansedrivstoff. For flere av studiene er ikke sammensetningen av for eksempel autodiesel spesifisert; det er dermed uvisst hvorvidt diedrivesstoffet er standard B7, eller om det er brukt kontrolldiesel uten tilsatt FAME (B0). Noen studier oppgir resultater i g/kWh, uten å spesifisere drivstoffets brennverdi, og er derfor utelukket fra rapporten.

Hovedfunn fra arbeidet med innhenting av informasjon om utslipp til luft og relevante utslippsfaktorer for komponenter av betydning for helserisiko ved bruk av biodrivstoff i ulike transportsektorer er oppsummert punktvis nedenfor:

FAME I PERSONBIL

- ✓ Innblanding av 7 % FAME i fossil diesel (B7) ser ut til å resultere i reduksjon i utslippene både av NO_x, CO, PM og hydrokarboner sammenlignet med ren fossil diesel (B0), men resultatene varierer sterkt og er inkonsekvente: For NO_x er det f.eks. funnet endring fra -57 % (Suarez-Bertoa et al., 2019) til +2,7 % Serrano et al. (2015). Resultatene for CO er tilsvarende inkonsekvente, mens det kun ble funnet en studie som sammenlignet utslipp av PM og THC mellom B7 og B0. Suarez-Bertoa et al. (2019) fant at påvirkningen av innblandingsgrad av FAME i diesel avhenger sterkt av testforhold som type kjøretøy og etterbehandlingssystem, kjøresyklus og temperatur.
- ✓ Økning av FAME-prosentandelen i autodiesel til mer enn B7 vil kunne ha konsekvenser for utslipp til luft. For eksempel undersøkte Atzemi et al. (2019) utslipp for en rekke ulike biodieselblandinger (B10, B20, B30, B40, B100), og fant at utslippene av NO_x økte med økende innblandingsgrad for de fleste testforholdene. CO-utslippene økte ved lavere og ble redusert ved høyere motorbelastning. Resultatene fra forskningslitteraturen er imidlertid variable: Ved testing av B0, B7 og B20 fant Lopes et al. (2013) en viss økning i NO_x-utslipp for B7 sammenlignet med B0, men lavere utslipp for B20.
- ✓ PM-utslippene ble redusert ved alle testede forhold, men f.eks. Gangwar et al. (2012) påviste høyere B50F og OC/EC-fraksjon og dermed høyere toksisk potensiale i B20 sammenlignet med B0. Foreliggende resultater for VOC, PAH, aldehyder og toksiske enkeltforbindelser som benzo(a)pyren er varierende og inkonsekvente for ulike FAME-innblandinger. Toksisiteten til utslipp fra biodiesel må evalueres grundig dersom en økning i FAME-innhold utover 7 % planlegges implementert.

HVO I PERSONBIL

- ✓ De fleste studier finner reduksjon i utslipp av CO, PM og hydrokarboner med økende innblandingsgrad av HVO i diesel, mens resultatene for NO_x var sprikende. Funnene er imidlertid basert på forholdsvis få studier, og resultatene viste store variasjoner avhengig av parametre som testsyklus og type kjøretøy. I enkelte studier er B7 brukt som kontrolldiesel istedenfor ren fossil diesel (B0), mens i andre er spesifikasjonene for kontrolldrivstoffet ikke spesifisert.
- ✓ For PM er det viktig å ta i betraktning at selv om partikkelmasse-utslippene reduseres, tyder studier på at utslipp fra forbrenning av HVO-biodiesel inneholder flere og mindre partikler sammenlignet med fossil diesel; mindre partikler er forbundet med større helserisiko.

BIOETANOL I PERSONBIL

- ✓ Kun én studie (Pelkmans et al., 2011) ble funnet som rapporterer utslipp til luft av regulerte komponenter fra både E5-innblanding og referansedrivstoff uten etanol (E0). Det er vanskelig å

generalisere funnene basert på kun denne ene studien; effekten av E5 på utslipp til luft anses derfor som uvis. For E10 viser resultater fra tilgjengelige studier i gjennomsnitt en nedgang i utslippene av de fleste undersøkte komponentene, dvs. for NO_x, CO og hydrokarboner (HC/THC, NMHC) sammenlignet med fossil bensin, men resultatene er varierende både mellom studiene og delvis innen samme studie.

- ✓ Bruk av bioetanol som drivstoff i kjøretøy medfører økte utslipp av aldehyder (Gaffney & Marley, 2009; Khan et al., 2021); acetaldehyd er en toksisk forbindelse som er klassifisert som kreftfremkallende. Aakko-Saksa et al. (2014) fant eksempelvis betydelig økte utslipp av aldehyder som acetaldehyd ved bruk av E10, og Sakthivel et al. (2020) påviste lineær økning i utslippene med økt innblandingsgrad i bensin. Modelleringsstudier viser at bioetanolbruken i transportsektoren i Norge må økes betraktelig for at konsentrasjoner i luft av acetaldehyd skal utgjøre en betydelig helserisiko (Sundvor & López-Aparicio, 2014).

ØVRIG

- ✓ For HVO i anleggsmaskiner, HVO i sjøfart, HEFA i luftfart og LBG i sjøfart kjøretøy er det funnet få relevante studier. For HVO i anleggsmaskiner finner vi en studie der både type kjøretøy, referansedrivstoff og testforhold er angitt. Denne fant at NO_x-utslippene ble redusert med 20 % ved bruk av 100 % HVO i en traktor sammenlignet med bruk av fossil diesel.
- ✓ For HVO i sjøfart er både NO_x og CO utslippene lavere ved bruk av 100 % HVO, mens for PM er utslippene noe høyere sammenlignet med diesel. Resultatene er mindre sprikende enn for HVO30 i personbil, som samlet viste et økt utslipp av NO_x ved innblanding av HVO. Årsaken til forskjellen er usikker. Bruk av forskjellige referansedrivstoff kan ha en betydning.
- ✓ For HEFA i luftfart viser resultatene fra to studier samlet sett en økning i utslipp av NO_x ved innblanding av 48-50 % HEFA i jet-A1 flydrivstoff, sammenlignet med ren Jet A-1 flydrivstoff. Usikkerheten er stor, og de to studiene konkluderer forskjellig. Variasjonen mellom de to studiene er fra 54 % reduksjon til 67 % økning i utslipp av NO_x ved 48-50 % innblanding av HEFA i Jet A-1, sammenlignet med ren Jet A-1. Resultatene viser en reduksjon i utslipp av CO. Her konkluderer de to studiene likt, og med mindre variasjon mellom studiene sammenlignet med for NO_x.
- ✓ For LBG-innblanding i LNG er resultatene fra en studie sammenstilt. Den finner at de fleste utslippsfaktorene, inkludert NO_x, PM og SO₂ er like for LNG og LBG. Innblanding av LBG i LNG er dermed ikke funnet å påvirke utslipp av NO_x, PM og SO₂. Resultatene er forventet ettersom både LNG og LBG består av tilnærmet ren metan. Studien påviste etan (C₂H₆) og propan (C₃H₈) i eksosgassen fra forbrenning av LNG. Disse komponentene er ikke funnet i eksosgassen fra forbrenning av LBG. Både etan og propan er hydrokarboner og det fossile opphavet til LNG er antatt å være årsaken til utslipp av disse komponentene. Studien påviste også en forskjell i N₂O-utslipp mellom LBG og LNG, men denne er svært liten (0,00029 g/km for LNG og 0,00030 g/km for LBG).

USIKKERHETER

- ✓ Utslippsfaktorene funnet i litteraturen for utslipp fra bruk av biodrivstoff for kjøretøy er forbundet med betydelige usikkerheter, i stor grad relatert til:
 - Ulike testbetingelser. Utslippsfaktorer sammenstilt for ulike motorklasser, etterbehandlingssystem og testsyklus forklarer deler av variabiliteten funnet i utslippsfaktorer.
 - Resultater fra få studier gjør det vanskelig å generalisere resultatene; det er behov for å foreta mer omfattende søk og gjennomgå langt flere artikler for å kunne komme med anbefalinger om spesifikke utslippsfaktorer eller korreksjonsfaktorer for ulike typer biodrivstoff og innblandinger.

- Nøyaktige utslippsfaktorer har i flere tilfeller ikke vært tilgjengelige, og verdiene er da lest av fra grafer i artikler. Feil som følger av unøyaktig avlesning kan ikke utelukkes. Det har dessverre ikke vært budsjett og tid i prosjektet til å kontakte forfattere av relevante artikler og hente ut nøyaktige utslippsfaktorer.

ANBEFALINGER OM KORREKSJONSFAKTORER OG VIDERE ARBEID

Gitt variabiliteten i utslippsdataene funnet i gjennomgått litteratur i prosjektet, er det ikke grunnlag for å kunne sette opp nøyaktige utslippsfaktorer for ulike komponenter ved bruk av biodrivstoff. Med hensyn på nasjonal utslippsrapportering, anbefales det å korrigere for komponenter som sannsynligvis vil øke noe som følge av økt innblanding av biodrivstoff, for å oppnå konservative estimater. Dette gjelder i hovedsak NO_x , som rapporteres å øke ved økt innblanding av biodrivstoff i flere studier. I EMEP guidebook er det satt opp generiske utslippsfaktorer for NO_x på kun 1 % for B20 og 0,4 % for B10 for personbiler; ettersom flere av studiene som er gjennomgått i prosjektet viser betydelig større økning i NO_x -utslipp enn i henhold til faktorene i EMEP guidebook, anbefales det å benytte høyere korreksjonsfaktor for NO_x .

For 7 % FAME (autodiesel B7; case 1) er det funnet forholdsvis få artikler som sammenligner B7 og B0, dvs. diesel med 0 % FAME, for PM og THC kun en artikkel, og resultatene fra tilgjengelige studier varierer sterkt. De fleste studiene rapporterer reduksjon i utslippene av NO_x ved bruk av B7, gjennomsnittlig -14,6 %. En av studiene (Serrano et al., 2015) fant imidlertid økte NO_x -utslipp for B7, og også konverteringsfaktorer f.eks. i EMEP guidebook angir at NO_x -utslipp kan forventes å øke ved innblanding av FAME i diesel. Det anbefales derfor å bruke en konservativ korreksjonsfaktor for B7 for NO_x på +2,7 %, tilsvarende funn i Serrano et al. (2015). Denne studien er imidlertid forbundet med betydelig usikkerhet (utslippsfaktorene er langt høyere enn i andre studier), og korreksjonsfaktor for NO_x kan derfor alternativt settes lik faktoren i EMEP guidebook på +0,4 for personbiler for B10. Utslippene av CO, PM og THC antas å reduseres for B7, men gitt lite antall studier og sterkt sprikende funn i litteraturen anbefales det ikke å korrigere utslippsfaktorene for disse komponentene i utslippsrapporteringen.

For HVO30 i personbiler (case 2) viser de fleste studiene reduksjon i utslipp av NO_x , CO, PM og THC, men variabiliteten og usikkerheten er stor. For NO_x kan korreksjonsfaktor settes konservativt til +1,3 %, tilsvarende endringen funnet av Prokopowicz et al. (2015). Alternativt kan utslippsfaktorer for NO_x for HVO30 settes til tilsvarende faktorer for fossil diesel. For CO, PM og totale hydrokarboner er rapporterte utslipp for HVO30 i de gjennomgåtte studiene lavere enn for autodiesel, men ettersom resultatene er sprikende og basert på et fåtall studier, anbefales det foreløpig ikke å bruke negative korreksjonsfaktorer for CO, PM og THC. EMEP guidebook angir også reduksjoner i utslipp for CO, PM og THC for 20 % biodieselblandinger, men det spesifiseres ikke at disse faktorene gjelder for HVO.

Ettersom det ikke ble funnet studier som spesifikt har undersøkt utslipp for HVO20 i anleggsmaskiner (case 3a) eller marine fartøy (case 3b), kun for HVO100, foreligger det ikke grunnlag for å sette opp korreksjonsfaktorer for case 3. Funnene for 50 % HEFA i luftfart (case 4) er basert på kun to studier, og viser for NO_x forskjellige resultater, både sterk økning og reduksjon sammenlignet med standard Jet A-1. Flere studier trengs dermed for å kunne sette opp tallfestede korreksjonsfaktorer for case 4.

Utslippsmålinger ved bruk av bioetanol-drivstoff viser stor variasjon. Ettersom det kun ble funnet en studie som sammenligner utslipp fra E5 i personbiler (case 5a) med ren bensin, er det ikke grunnlag for å anbefale korreksjonsfaktorer for E5. For E10 (case 5b) er det gjennomsnittlig forholdsvis stor reduksjon i utslippene av NO_x , men ettersom det er stort sprik i resultatene mellom de ulike studiene, med opp til 19,2 % økning, anbefales det å få identifisert flere relevante studier for rapporterte utslipp ved bruk av bioetanol justeres ned. For CO og THC ser det ut til at det kan brukes negative korreksjonsfaktorer; det anbefales foreløpig å konservativt bruke maks. endringsprosenten på hhv. -8,8 og -4,3 % (ikke gjennomsnittlig endring på hhv. -19,1 og -28,0 %).

For ED95 i lastebiler (case 6) er det ikke funnet studier som gir grunnlag for korreksjonsfaktorer. Ved LBG-innblanding i LNG i skip (case 7) påvises ingen endring i utslippstallene, og det anbefales derfor ikke å bruke korreksjonsfaktorer for LBG i fartøy.

Det er mangel på utslippsdata tilgjengelig i forskningslitteraturen for flere av casene og komponentene inkludert i prosjektet. Av tester det er behov for å få gjennomført kan nevnes:

- ✓ 7 % FAME i personbil; gjennomført for komponentene NO_x, CO, THC og PM, for både B7 og B0 for å muliggjøre sammenligning, og under standardiserte testforhold, dvs. ved bruk av WLTP-testsyklusen
- ✓ HVO30 i personbil, for NO_x, CO, THC, og både PM, partikkelantall og toksiske komponenter og/eller OC/EC. For både HVO30 og kontrolldiesel, med WLTP
- ✓ HVO20 i diverse anleggsmaskiner (ikke-veigående kjøretøy og annet utstyr), og i større skip, for NO_x, CO, THC og PM, sammenlignet med kontrolldrivstoff
- ✓ Bioetanol i personbiler, for E10, og særlig E5, sammenlignet med ren bensin, for NO_x, CO, THC og PM. ED95 i lastebiler, for samme utslippskomponenter, sammenlignet med kontrolldrivstoff

Innføringen av WLTP som testsyklus for veggående kjøretøy vil trolig bidra til standardisering av testmetodikk, slik at utslippsresultater fra ulike studier bedre vil kunne sammenstilles framover: WLTP ble implementert som standard i EU fom. 1.9.2017 for godkjenning av nye personbiler (European Commission, 2017). Implementeringen av WLTP gjelder imidlertid kun for testing av drivstofforbruk og CO₂-utslipp; for målinger av utslipp av andre komponenter enn CO₂ er det ikke krav om bruk av WLTP. Det må også tas i betraktning at testsyklus kun er en av flere årsaker til den store variabiliteten i utslippsdata særlig for veigående kjøretøy; parametrene som type kjøretøy, etterbehandlingssystem og drivstoffadditiver har stor betydning. Med hensyn på utslippsfaktorer spesifikt for biodrivstoff til utslippsrapportering, er det sannsynligvis mest realistisk at det i videre arbeid bygges videre på de prosentvise korreksjonsfaktorene fra denne rapporten og tilføres nye for case som mangler. Det anbefales at arbeidet med innhenting av informasjon om utslipp ved bruk av biodrivstoff videreføres, og at prosessen koordineres med tilsvarende arbeider i Europa/EU.

REFERANSER

- Aakko-Saksa, P. T., Rantanen-Kolehmainen, L., & Skyttä, E. (2014). Ethanol, isobutanol, and biohydrocarbons as gasoline components in relation to gaseous emissions and particulate matter. *Environmental Science and Technology*, 48(17), 10489–10496. https://doi.org/10.1021/ES501381H/SUPPL_FILE/ES501381H_SI_001.PDF
- Atzemi, M., Lois, E., & Kosyfologou, I. (2019). Effects of biodiesel and Hydrotreated Vegetable Oil on the performance and exhaust emissions of a stationary diesel engine. *IOSR Journal of Applied Chemistry (IOSR-JAC)*, 12, 44–54. <https://doi.org/10.9790/5736-1201014454>
- Betha, R., Russell, L. M., Sanchez, K. J., Liu, J., Price, D. J., Lamjiri, M. A., Chen, C. L., Kuang, X. M., da Rocha, G. O., Paulson, S. E., Miller, J. W., & Cocker, D. R. (2017). Lower NOx but higher particle and black carbon emissions from renewable diesel compared to ultra low sulfur diesel in at-sea operations of a research vessel. *Aerosol Science and Technology*, 51(2), 123–134. https://doi.org/10.1080/02786826.2016.1238034/SUPPL_FILE/UAST_A_1238034_SM9693.ZIP
- Brynnolf, S., Fridell, E., & Andersson, K. (2014). Environmental assessment of marine fuels: liquefied natural gas, liquefied biogas, methanol and bio-methanol. *Journal of Cleaner Production*, 74, 86–95. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2014.03.052>
- Dimaratos, A., Toumasatos, Z., Triantafyllopoulos, G., Kontses, A., & Samaras, Z. (2020). Real-world gaseous and particle emissions of a Bi-fuel gasoline/CNG Euro 6 passenger car. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 82, 102307. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2020.102307>
- Dobrzyńska, E., Szewczyńska, M., Pośniak, M., Szczotka, A., Puchałka, B., & Woodburn, J. (2020). Exhaust emissions from diesel engines fueled by different blends with the addition of nanomodifiers and hydrotreated vegetable oil HVO. *Environmental Pollution*, 259, 113772. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2019.113772>
- EMISIA SA. (2021). *COPERT*. <https://www.emisia.com/utilities/copert/>
- European Commission. (2017). *Commission Implementing Regulation (EU) 2017/1153*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32017R1153>
- European Environment Agency (EEA). (2019). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019*. <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>
- Folkehelseinstituttet. (2011). *Biodrivstoff og helse. Utarbeidet av Folkehelseinstituttet på oppdrag fra Miljøverndepartementet og Helse- og omsorgsdepartementet, januar 2011*. <https://www.fhi.no/globalassets/dokumenterfiler/rapporter/arkivert-rapporter/notat-om-biodrivstoff-og-helse-januar-2011.pdf>
- Folkehelseinstituttet. (2015). *Biodrivstoff og helse. Utarbeidet av Folkehelseinstituttet på oppdrag fra Miljødirektoratet, datert 19.01.2015*.
- Gaffney, J. S., & Marley, N. A. (2009). The impacts of combustion emissions on air quality and climate – From coal to biofuels and beyond. *Atmospheric Environment*, 43(1), 23–36. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOENV.2008.09.016>
- Gangwar, J. N., Gupta, T., & Agarwal, A. K. (2012). Composition and comparative toxicity of particulate matter emitted from a diesel and biodiesel fuelled CRDI engine. *Atmospheric Environment*, 46, 472–481. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOENV.2011.09.007>
- Gawron, B., & Białecki, T. (2018). Impact of a Jet A-1/HEFA blend on the performance and emission characteristics of a miniature turbojet engine. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 15(7), 1501–1508. <https://doi.org/10.1007/S13762-017-1528-3/FIGURES/4>
- Gawron, Bartosz, Białecki, T., Janicka, A., & Suchocki, T. (2020). Combustion and Emissions Characteristics of the Turbine Engine Fueled with HEFA Blends from Different Feedstocks. *Energies* 2020, Vol. 13, Page 1277, 13(5), 1277. <https://doi.org/10.3390/EN13051277>
- Godri Pollitt, K. J., Chhan, D., Rais, K., Pan, K., & Wallace, J. S. (2019). Biodiesel fuels: A greener diesel? A review from a health perspective. *The Science of the Total Environment*, 688, 1036–1055. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.06.002>
- Gramsch, E., Papapostolou, V., Reyes, F., Vásquez, Y., Castillo, M., Oyola, P., López, G., Cádiz, A., Ferguson, S., Wolfson, M., Lawrence, J., & Koutrakis, P. (2018). Variability in the primary

- emissions and secondary gas and particle formation from vehicles using bioethanol mixtures. *https://doi.org/10.1080/10962247.2017.1386600*, 68(4), 329–346.
<https://doi.org/10.1080/10962247.2017.1386600>
- Gysel, N. R., Russell, R. L., Welch, W. A., Cocker, D. R., & Ghosh, S. (2014). Impact of Sugarcane Renewable Fuel on In-Use Gaseous and Particulate Matter Emissions from a Marine Vessel. *Energy and Fuels*, 28(6), 4177–4182. <https://doi.org/10.1021/EF500457X>
- INFRAS. (2021). *The Handbook Emission Factors for Road Transport (HBEFA)*.
<http://www.hbefa.net/e/index.html>
- Ka, L. C., Polidori, A., Ntziachristos, L., Tzamkiozis, T., Samaras, Z., Cassee, F. R., Gerlofs, M., & Sioutas, C. (2009). Chemical characteristics and oxidative potential of particulate matter emissions from gasoline, diesel, and biodiesel cars. *Environmental Science and Technology*, 43(16), 6334–6340.
https://doi.org/10.1021/ES900819T/SUPPL_FILE/ES900819T_SI_001.PDF
- Karavalakis, G., Boutsika, V., Stournas, S., & Bakeas, E. (2011). Biodiesel emissions profile in modern diesel vehicles. Part 2: Effect of biodiesel origin on carbonyl, PAH, nitro-PAH and oxy-PAH emissions. *Science of The Total Environment*, 409(4), 738–747.
<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2010.11.010>
- Khan, M. A. H., Bonifacio, S., Clowes, J., Foulds, A., Holland, R., Matthews, J. C., Percival, C. J., & Shallcross, D. E. (2021). Investigation of Biofuel as a Potential Renewable Energy Source. *Atmosphere* 2021, Vol. 12, Page 1289, 12(10), 1289.
<https://doi.org/10.3390/ATMOS12101289>
- Klima- og miljødepartementet. (2004). *Forskrift om begrensning av forurensning (forurensningsforskriften) FOR 2004-06-01*. For-2004-06-01-931. <http://www.lovdata.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-20040601-0931.html#map040>
- Klima- og miljødepartementet. (2021). *Meld. St. 13 (2020–2021) Klimaplan for 2021-2030. Melding til Stortinget*. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-13-20202021/id2827405/>
- Lopes, M., Serrano, L., Ribeiro, I., Cascão, P., Pires, N., Rafael, S., Tarelho, L., Monteiro, A., Nunes, T., Evtyugina, M., Nielsen, O. J., Gameiro da Silva, M., Miranda, A. I., & Borrego, C. (2013). Emissions characterization from EURO 5 diesel/biodiesel passenger car operating under the new European driving cycle. *Atmospheric Environment*, 84, 339–348.
<https://doi.org/10.1016/J.ATMOENV.2013.11.071>
- Miljødepartementet, K. (2004). *Forskrift om begrensning i bruk av helse- og miljøfarlige kjemikalier og andre produkter (produktforskriften) FOR-2004-06-01-922. Ikraftttredelse 01.07.2004, sist endret: FOR-2021-11-05-3159*.
<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-922>
- Muñoz, M., Heeb, N. V., Haag, R., Honegger, P., Zeyer, K., Mohn, J., Comte, P., & Czerwinski, J. (2016). Bioethanol Blending Reduces Nanoparticle, PAH, and Alkyl- and Nitro-PAH Emissions and the Genotoxic Potential of Exhaust from a Gasoline Direct Injection Flex-Fuel Vehicle. *Environmental Science & Technology*, 50(21), 11853–11861.
<https://doi.org/10.1021/ACS.EST.6B02606>
- Pelkmans, L., Lenaers, G., Bruyninx, J., Scheepers, K., & De Vlieger, I. (2011). Impact of biofuel blends on the emissions of modern vehicles:
<http://dx.doi.org/10.1177/0954407011407254>, 225(9), 1204–1220.
<https://doi.org/10.1177/0954407011407254>
- Prokopowicz, A., Zaciera, M., Sobczak, A., Bielaczyc, P., & Woodburn, J. (2015). The Effects of Neat Biodiesel and Biodiesel and HVO Blends in Diesel Fuel on Exhaust Emissions from a Light Duty Vehicle with a Diesel Engine. *Environmental Science and Technology*, 49(12), 7473–7482. https://doi.org/10.1021/ACS.EST.5B00648/SUPPL_FILE/ES5B00648_SI_001.PDF
- Sakthivel, P., Subramanian, K. A., & Mathai, R. (2020). Experimental study on unregulated emission characteristics of a two-wheeler with ethanol-gasoline blends (E0 to E50). *Fuel*, 262, 116504. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2019.116504>
- Serrano, L., Lopes, M., Pires, N., Ribeiro, I., Cascão, P., Tarelho, L., Monteiro, A., Nielsen, O., da Silva, M. G., & Borrego, C. (2015). Evaluation on effects of using low biodiesel blends in a EURO 5 passenger vehicle equipped with a common-rail diesel engine. *Applied Energy*, 146, 230–238. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2015.01.063>

- Sharma, G. S., Sugavaneswaran, M., Prakash, R., Sugavaneswaran, · M, & Prakash, · R. (2022). Experimental Investigation on Modified Catalytic Converter with Metal Oxide as Catalyst in SI Engine with Gasohol Fuel. Conference paper. *Innovations in Energy, Power and Therman Engineering*, 147–157. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4489-4_14
- Statistisk sentralbyrå. (2021). *Utslipp til luft. Oppdatert 8. juni 2021, endret 30. juni 2021 kl. 08:00*. <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/forurensning-og-klima/statistikk/utslipp-til-luft>
- Suarez-Bertoa, R., Kousoulidou, M., Clairotte, M., Giechaskiel, B., Nuottimäki, J., Sarjovaara, T., & Lonza, L. (2019). Impact of HVO blends on modern diesel passenger cars emissions during real world operation. *Fuel*, 235, 1427–1435. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2018.08.031>
- Sundvor, I., & López-Aparicio, S. (2014). Impact of bioethanol fuel implementation in transport based on modelled acetaldehyde concentration in the urban environment. *Science of The Total Environment*, 496, 100–106. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2014.07.017>
- UN Climate Change. (2021a). *National Inventory Submissions 2021*. <https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2021>
- UN Climate Change. (2021b). *United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)*. <https://unfccc.int/>
- United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). (2021). *The United Nations Economic Commission for Europe (UNECE)*. <https://unece.org/>
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). (2002). *A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions - Draft Technical Report. EPA420-P-02-001 - October 2002*. <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P1001ZA0.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2000+Thru+2005&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=>
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). (2020). *Fuel Effects on Exhaust Emissions from Onroad Vehicles in MOVES3. EPA-420-R-20-016 - November 2020*. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-11/documents/420r20016.pdf>
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). (2021a). *AP-42: Compilation of Air Emissions Factors*. <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors>
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). (2021b). *MOVES and Other Mobile Source Emissions Models*. <https://www.epa.gov/moves>
- United States Environmental Protection Agency (USEPA) Assessment and Standards Division Office of Transportation and Air Quality. (2010). *Renewable Fuel Standard Program (RFS2) Regulatory Impact Analysis. EPA-420-R-10-006 - February 2010*. [https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P1006DXP.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2006 Thru 2010&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=](https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P1006DXP.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2006+Thru+2010&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=)
- Ushakov, S., & Lefebvre, N. (2019). Assessment of Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) Applicability as an Alternative Marine Fuel Based on Its Performance and Emissions Characteristics. *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*, 12(2), 109–120. <https://doi.org/10.4271/04-12-02-0007>

VEDLEGG 1

OVERSIKT OVER STUDIER OG SAMMENSTILLING AV UTSLIPPSFAKTORER

Vedlegg består av et separat dokument i Excel-filformat som inneholder sammenstilling av utslippsfaktorer for bruk av biodrivstoff fra relevante publikasjoner. Hovedkildene til utslippsfaktorene er vitenskapelige artikler og rapporter.

Sammenstillingen inkluderer følgende informasjon om hver av kildene:

- Angivelse av relevans for studien: grønn = svært relevant, gul = delvis relevant, oransje = noe relevant, rød = lite relevant, mørk grå = irrelevant, blå = review-artikkel/oversiktsartikkel/-rapport
- Publikasjonsår
- Forfattere
- Tittel
- Type litteratur (artikkel, rapport, bok, bokkapittel etc.)
- Notatfelt; informasjon om publikasjonen av betydning for studien, kortfattet oppsummering av publikasjonens innhold
- Drivstofftype og -blanding
- Type og spesifikasjoner for kjøretøy
- Motorklasse, motortype
- Drivstoffstandard
- Testmetodikk/-syklus
- Utslippsfaktorer for ulike typer utslippskomponenter (utslippsfaktor, standardavvik, enhet) med kommentarer
- Oppgitte omregningsfaktorer