

Slutrapport

HUR KAN ALKOHOLER BIDRA TILL EN FOSSILOBEROENDE ARBETSFORDONSFLOTTA?

Juni 2020

Gunnar Larsson, Sveriges Lantbruksuniversitet SLU

Per-Ove Persson, Persson f.N.B. AB

FÖRNYBARA DRIVMEDEL OCH SYSTEM 2018-2021

Ett samverkansprogram mellan Energimyndigheten och
f3 Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel

FÖRORD

Detta projekt har genomförts inom ramarna för samverkansprogrammet Förnybara drivmedel och system, projektnummer 46986-1. Projektet har finansierats av Energimyndigheten och f3 – Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel.

Energimyndigheten arbetar på regeringens uppdrag med energiomställningen till ett modernt, hållbart, fossilfritt välfärdssamhälle och stödjer forskning om förnybara energikällor, smarta elnät och framtidens fordon och bränslen.

f3 är en nätverksorganisation som fokuserar på utveckling av miljömässigt, ekonomiskt och socialt hållbara förnybara drivmedel. f3 finansieras gemensamt av centrets parter och Västra Götalandsregionen. Chalmers Industriteknik fungerar som värd för centret. Kansliet vid f3 utgör programkansli för samverkansprogrammet Förnybara drivmedel och system. (se www.f3centre.se)

Projektpartners var Sveriges Lantbruksuniversitet, SLU och Persson f.N.B. AB.

En referensgrupp bestående av personer från Energifabriken AB, Malte Fuel & Wash AB, Scandinaos AB, SEKAB och Skogforsk har deltagit på två möten samt via enskilda telefonkontakter och givit ovärderlig information och funderingar till gagn för projektet.

Vidare har ett stort antal aktörer inom aktuella kompetensområden kontaktats och givit värdefulla bidrag.

Denna rapport ska citeras enligt följande:

Larsson, G. & Persson, P-O. (2020) *Hur kan alkoholer bidra till en fossiloberoende arbetsfordonsflotta?* Rapport nr FDOS 03:2020. Tillgänglig på <https://f3centre.se/sv/samverkansprogram/>

SAMMANFATTNING

Arbetsfordon som t.ex. traktorer och hjullastare använder årligen 13,9 TWh fossilt bränsle. Det finns många alternativ till fossila bränslen. Dessa varierar i teknikmognad, liksom i dess potential att minska de totala utsläppen, med hänsyn tagen till t.ex. produktionen av bränslet. Denna rapport studerar hur förutsättningarna för att använda alkoholer med avseende på praktisk hantering, affärsmässiga förutsättningar, miljömässig nytta och framtida tekniklösningar genom information erhållen via samtal, vetenskapliga rapporter och aktuella marknadslösningar. Alkoholer studeras eftersom det redan finns en stor befintlig produktion i Sverige och potentialen att öka den är mycket stor samtidigt som det existerande underlaget är mindre omfattande än för andra biodrivmedel. Både metanol och etanol är testade som drivmedel i praktiken med gott resultat och motorforskningen pekar ut alkoholer som intressanta även för framtiden. Praktiskt och miljömässigt fungerar metanol och etanol väl och samhället har stor erfarenhet av att hantera dessa alkoholer.

Alkoholer är flexibla energibärare som kan produceras från biomassa och restprodukter från skogs- och jordbruk samt framställas som elektrobränsle. De kan också användas både i bränsleceller och i förbränningsmotorer, där de är väl lämpade för nya motorkoncept under utveckling. Alkoholerna har undersökts dels som rena bränslen, dels blandade med andra bränslen för optimal användning i olika motortyper och bränsleceller. Tre produktionsfall av alkoholer har studerats: metanol från skogsbiomassa, etanol från vete samt etanol från skogsbiomassa. Dessa har jämförts med fossil diesel och biodiesel (HVO) från Preems raffinaderi i Göteborg. Tre användningsfall har studerats: jordbruk (användningsplats Skara), skogsbruk (Skellefteå) och entreprenad (Stockholm).

På organisatorisk nivå har drivmedels- och åkerinäringen omfattande kunskaper om att hantera alkoholer och andra drivmedel. Även andra sektorer som exempelvis reningsverk har god kunskap och kompetens om att hantera alkoholer däribland metanol. Samtidigt ställer användning av ett nygammalt drivmedel krav på utbildning på individnivå. De flesta människor har stött på och kanske hanterat alkoholer. Detta gäller kanske främst etanol, men även metanol används i vardagssituationer, i exempelvis spritkök. Det finns därför en fara att man överskattar sin egen kunskap och missar riskerna förknippade med hantering av stora volymer och krav på annorlunda hantering än t.ex. diesel.

Vid användning i arbetsfordon påverkas kostnaderna, jämfört med diesel och jämfört med andra användningsområden. Även om transportavståndet och logistikens utformning mellan produktion och användning skiljer sig åt så överstiger dock transportkostnadens andel aldrig 8 % av drivmedlets totalpris i de studerade fallen. Kostnaden för tillstånd och tillsyn utslaget per kWh är mellan 0,01-0,034 SEK/kWh. Dessa kostnader utsätts inte för någon prispress, då det är kommunal handläggning av regelsystem som främst består av personkostnader som inte kan rationaliseras på samma sätt som produkter. Kostnaden är inte hög, men eftersom det är en initial kostnad kan den medföra en tröskeffekt. Fordonskostnaden kan öka, men i så fall sannolikt marginellt, p.g.a. dyrare komponenter. Då detta är känslig information har vi inte lyckats kvantifiera denna kostnad. Totalt blir det ökade drivmedelskostnader för alla de undersökta scenarierna jämfört med diesel, med som mest nästan 2,5 gånger för den enskilde entreprenören. En fördyring som samhället på något sätt måste hantera och idag delvis gör med energi- och koldioxidskatt för att alternativa

drivmedel ska bli konkurrenskraftiga. För lantbruket och skogsbruket blir fördyringen större eftersom dessa näringar erhåller återbetalning av del av koldioxidskatten.

Klimatpåverkan styrs av drivmedelsproduktionen och verkningsgrad i motorn/bränslecellen. Transporter av drivmedlet ger upphov till relativt låga utsläpp. Produktion påverkar genom effekterna av odling och bearbetning och är lika eller lägre utsläpp än HVO. Lägst klimatpåverkan sker vid användning i motorkoncept under utveckling samt fastoxidsbränsleceller, då dessa har högst verkningsgrad.

Baserat på klimatnyttan av ett drivmedelsbyte samt den ökade kostnaden går det att räkna ut en kostnad per kilogram koldioxid. Denna är högre än de aktuellt värdet på utsläppsrätter, men i nivå med den prissättning som Trafikverket använder vid sina utvärderingar.

Baserat på dessa resultat är slutsatserna:

- Miljönyttan av och den ekonomiska kostnaden för att använda alkoholer i arbetsfordon styrs till stor del av produktionen av drivmedlen. Åtgärder som påverkar alkoholernas generella attraktionskraft som drivmedel, såsom en billigare produktion med lägre miljöpåverkan har därför ofta större påverkan än arbetsfordonsspecifika åtgärder.
- För användning i arbetsfordon tillkommer ekonomiska kostnader vilket gör det motiverat att fokusera på de användningsfall där drivmedlet används mest intensivt, detta innebär framförallt skogsbruk och entreprenad. Miljönyttan skiljer sig enbart marginellt mellan de olika användningsfallen.
- De skillnader som finns mellan metanol och etanol vad gäller praktisk hantering, ekonomi och miljö är begränsade. Trenderna tenderar att gälla bägge drivmedlen.
- Högst verkningsgrader och därmed störst miljönytta är möjligt med partialt förblandad förbränning och fastoxidsbränsleceller. Dessa är dock tekniker som kräver relativt mycket fortsatt utveckling för att bli kommersiellt tillgängliga. Tändstiftsmotorer kan vara ett intressant alternativ på kortare sikt, då de kombinerar hög verkningsgrad med mindre behov av teknisk utveckling.

SUMMARY

Work vehicles such as tractors and wheel loaders use 13.9 TWh of fossil fuel annually. There are many alternatives to fossil fuels. These vary in technological maturity as well as in their potential to reduce total emissions. This report studies the conditions for using alcohols to replace fossil fuel with respect to practical handling, business conditions, environmental benefits and future technology solutions based on personal communication, scientific reports and assessment of current market solutions. Alcohol fuels are of interest as there is already produced in large quantities in Sweden, with a potential to increase the production further, whilst the literature is less extensive compared to other biofuels. Both ethanol and methanol have been evaluated in field trials with good result and engine researchers consider alcohols of interest for the future.

Alcohols are flexible energy carriers that can be produced from biomass and waste products from forestry and agriculture, as well as produced as an electrofuel. They can also be used in both fuel cells and internal combustion engines and are well suited for new engine concepts under development. They have been investigated both as pure fuels and as mixed with other fuels for optimal use in different engine types and fuel cells. Three production cases have been studied: methanol from forest biomass, ethanol from wheat and ethanol from forest biomass. They have been compared with fossil diesel and biodiesel (HVO) from Preem's refinery in Gothenburg. Three use cases have been studied: agriculture (used in Skara), forestry (Skellefteå) and construction (Stockholm).

At organizational level, the fuel and freight industries have extensive knowledge of dealing with alcohols and other fuels. Other sectors, such as wastewater treatment plants, also have good knowledge and expertise in handling alcohols, including methanol. At the same time, the use of a new propellant requires guidance at the individual level. Most people have encountered and may have handled alcohols, mainly ethanol but also methanol in, for example, portable stoves. There is a danger that people overestimate their knowledge and miss risks associated with handling large volumes and the demands for different handling compared to diesel.

Although the transport distance and the logistics chain varies depending on production and use site, the transport cost never exceeds 15% of the total price of the propellant in our calculation examples. The cost of permits and supervision is 0.01 – 0.034 SEK/kWh. These costs are not subject to any price pressure, as they are associated with municipal administration, and mainly consists of personal costs that cannot be rationalized in the same way as products. The cost is not high, but since it is an initial cost, it can have a threshold effect. Vehicle costs may increase, but in this case probably marginally, due to components that are more expensive. As this is sensitive information, we have not been able to quantify this cost. A shift to alcohol fuels results in a fuel cost of about 2.5 times today's fuel cost for diesel, slightly more than for HVO. It means an extra cost which society must handle for alcohols to be competitive. For agriculture and forestry, the cost is greater, as entrepreneurs in these industries receive a refund of the carbon dioxide tax for fossil fuels.

The climate impact is mainly influenced by fuel production and engine/fuel cell efficiency. The fuel transport gives rise to relatively low emissions. Production affects through the effects of cultivation and processing and is equal to or lower than emissions from HVO production. The

lowest climate impact occurs when alcohols are used in engine concepts under development and in solid oxide fuel cells, as these have the highest efficiency.

Based on the climate benefit of a fuel change and the increased cost, it is possible to calculate a cost per kilogram of carbon dioxide. This is higher than the current value of emission rights, but lower than the pricing used by the Swedish Transport Administration in its evaluations.

Based on these results, the conclusions are:

- The environmental benefit and the economic cost of using alcohols in non-road machinery depends to a large extent on the production of the fuel. Measures that affect the general attractiveness of alcohol as a fuel, such as cheaper production with lower environmental impact, therefore often have greater impact than measures specific for non-road machinery.
- Using alcohols in non-road machinery add costs that makes it justified to focus on the use cases where the fuel is used most intensively, this mainly means forestry and construction. Environmental benefits differ only marginally between different use cases.
- The differences that exist between methanol and ethanol in terms of practical handling, economy and environment are limited. Trends that exist tend to apply to both propellants.
- The highest efficiency and thus the greatest environmental benefit can be reached with partially premixed combustion and solid oxide fuel cells. However, these are technologies that require relatively substantial further development to become commercially available. Spark plug motors can be an interesting alternative in the short term, as they combine high efficiency with less need for technical development.

INNEHÅLL

1	INTRODUKTION	10
2	BAKGRUND	11
2.1	BRÄNSLEBLANDNINGAR.....	11
2.2	DRIVLINEALTERNATIV	11
2.3	BRÄNSLECELLSALTERNATIV.....	13
2.4	TEKNIKMOGNAD FÖR OLIKA ALTERNATIV	16
3	TEKNISKA KONSEKVENSER AV ALKOHOLANVÄNDNING I FORDON	19
3.1	FÖRBRÄNNINGSEGENSKAPER	19
3.2	INTERAKTION MED METALLER.....	20
3.3	INTERAKTION MED PLASTER (PACKNINGAR M.M.)	20
4	SYSTEMBESKRIVNING OCH IDENTIFIERING AV TYPFALL	22
4.1	BRÄNSLEN	23
5	UTVÄRDERING AV PRAKTISKA FÖRUTSÄTTNINGAR.....	25
5.1	TYPFALL	26
5.2	SÄKERHET	29
5.3	BRANDRISK.....	30
5.4	HUMANTOXICITET.....	30
5.5	EKOTOXICITET	31
5.6	PRAKTISK HANTERING.....	31
6	EKONOMISK UTVÄRDERING	33
6.1	BAKGRUND/SCENARIER	33
6.2	ICKE MONETÄRA ASPEKTER	33
6.3	ANVÄNDA PRISER.....	33
6.4	RESULTAT	40
7	LIVSCYKELANALYS.....	43
7.1	SYSTEMBESKRIVNING.....	43
7.2	LIVSCYKELINVENTERING/DELSYSTEM	43
7.3	RESULTAT	48
7.4	DISKUSSION.....	56
8	SAMMANFATTNING OCH DISKUSSION.....	58
	REFERENSER	63

1 INTRODUKTION

Arbetsfordon står för mellan 5 och 10 procent av Sveriges utsläpp av fossil koldioxid (Naturvårdsverket, 2019a). Arbetsfordonens totala energiförbrukning är omkring 13,9 TWh per år. De är även en betydande källa till andra utsläpp, inte minst av kvävoxider. Dessa utsläpp beror till stor del på att arbetsmaskiner nästan uteslutande använder fossil diesel som drivmedel. För att få ner dessa utsläpp är det viktigt att undersöka alternativ till diesel.

I denna rapport undersöks möjligheterna för alkoholer att medverka till en omställning till en hållbar fordonsflotta och drivmedelsanvändning. Alkoholer är intressanta då det finns existerande storskalig produktion i dagsläget, samtidigt som det finns potential för en ännu större produktion via gasifiering av biomassa och syntetisering av alkoholer från denna.

Rapporten består av åtta kapitel. Kapitel 2-4 beskriver förutsättningar för användning. I kapitel 2 beskrivs bakgrundsförutsättningar vad gäller bränslens egenskaper, vanligt förekommande blandningar och alternativ för drivlinor. Kapitel 3 beskriver de tekniska konsekvenser av alkoholanvändning i fordon. Kapitel 4 beskriver de system för användning av alkoholer i jord- och skogsbruk som studerats. Kapitel 5-8 beskriver konsekvenserna av användning av alkoholer. I kapitel 5 utvärderas de praktiska konsekvenserna av användning av alkoholer, t.ex. vad gäller hantering och säkerhet. I kapitel 6 undersöks de ekonomiska konsekvenserna av användning av alkoholer medan de miljömässiga konsekvenserna av alkoholanvändning utvärderas i kapitel 7. I kapitel 8 sammanfattas och diskuteras resultaten.

2 BAKGRUND

2.1 BRÄNSLEBLANDNINGAR

Även om alkoholer har många användbara egenskaper för användning i förbränningsmotorer, t.ex. högt oktantal vid användning i Ottomotorer och ett syreinhåll som medför låga utsläpp av partiklar i alla motortyper, har de även egenskaper som inte är optimala. Därför förekommer vanligen inblandning av andra bränslen i alkoholbränslen. Omvänt kan alkoholbränslen blandas in i fossila bränslen för att minska dess påverkan på klimatet. Halten alkoholer som blandas in i fossila bränslen är dock relativt låg då dessa bränslen även med inblandade alkoholer måste bete sig på samma sätt som innan, utan att påverka förbränning eller de komponenter som bränslet kommer i kontakt med negativt. Även alkoholblandningar med vatten kan vara intressanta för vissa tillämpningar som t.ex. bränsleceller. Detta då det under produktionsprocessen av alkoholer även bildas vatten som behöver destilleras bort, vilket kostar både pengar och energi. Slutligen finns det också studier på blandningar av alkoholer, som t.ex. metanol och etanol. I dessa blandningar kan även kolväten och vatten ingå.

Det finns väldefinierade standarder för kommersiellt tillgängliga bränslen. I Europa finns EN228 för bensin, som tillåter inblandning av 3 % metanol eller 5 % etanol. Låginblandning med 10 % etanol i bensin (E10) är också vanligt förekommande och många fordonstillverkare garanterar att bilmodeller kan köra på E10. ACEA har publicerat en lista över dessa (Acea, 2018). För arbetsmaskiner är dock bensin ett ovanligt bränsle då det används i tändstiftsantända motorer. Av samma skäl är E85, som innehåller upp till 85 % etanol och för vilken standarden ASTM D4806 finns, ovanligt i arbetsmaskiner.

För att kunna använda etanol i dieselmotor har SEKAB, Scania m.fl. utvecklat ett mer lättantändligt bränsle baserat på etanol, ED95. Genom att tillföra additiv kan detta användas i kompressionsantända motor, vilka dominerar arbetsmaskinssektorn. Bränslet består av 93.6 % etanol, 3.6 % funktionsförbättrande tillsatser och 2.8 % denaturent, där etanoldelen är reglerad enligt standarden SS 15 54 37.

2.2 DRIVLINEALTERNATIV

Alkoholer kan användas för att driva fordon på en mängd olika sätt. Utöver en stor mängd olika motorer är det även möjligt att använda alkoholer i bränsleceller. Då alkoholer är svåra att antända är de traditionellt förknippade med tändstiftsmotorer. För att använda dem i kompressionsmotorer krävs att ett annat bränsle antingen sprutas in tidigare och ger upphov till antändning (dual fuel-drift) alternativt att bränslet/bränslena blandas med alkoholer för att ge upphov till ett nytt bränsle som kan användas i en kompressionsmotor (de tillförda bränslekomponenterna beskrivs ofta som "tändförstärkare"). Utöver traditionella tändstifts- och kompressionsmotorer finns det även motorer under utveckling som på olika sätt försöker kombinera dessa för att samtidigt dra nytta av kompressionsmotorns höga verkningsgrad och tändstiftsmotorns låga utsläpp av partiklar och NO_x. Exempel på dessa typer av motorer är HCCI ("homogenous charge compression ignition", homogenförbränning) och PPC ("partially premixed combustion", partiellt förblandad förbränning). Dessa motorer är dock inte kommersialiserade än.

De mer futuristiska användningskoncepten, som PPC/HCCI och bränsleceller, delar flera egenskaper. De har hög verkningsgrad och låga utsläpp, men är relativt svåra att reglera. Det senare är en extra utmaning för arbetsfordon, som ofta arbetar över ett stort vridmoments och varvtalsintervall. En möjlig lösning skulle vara att använda dem som del i en mer omfattande drivlina. De skulle t.ex. kunna utgöra ett första bränslebaserat steg för en i övrigt elektrisk drivlina. Motorn skulle i det fallet kunna fungera som en generator som levererar el. Elen som generatorn/bränslecellen genererar skulle kunna lagras i ett batteri som sedan levererar effekt i lämplig takt för elmotorer att driva fordonet. Nedan följer en genomgång av hur alkoholer fungerar med de olika drivlinealternativen, först de baserade på förbränningsmotor och därefter de baserade på bränsleceller.

2.2.1 Inblandning i diesel

Alkoholernas låga cetantal gör att blandningar med diesel i allmänhet har sämre förbränningsegenskaper, som t.ex. verkningsgrad, i en dieselmotor än rena dieselbränslen. Verkningsgraden är något lägre med etanol jämfört med metanol.

2.2.2 Antändning med hjälp av tändförstärkare i dieselmotorer

De vanligaste alkoholbränslena (metanol och etanol) har som beskrivits ovan egenskaper som gör att de inte självantänder i dieselmotorer vid vanlig drift och utformning. Ett alternativ är att blanda in en mindre del av ett bränsle som självantänder, så att blandningen kan självantända och därigenom användas i dieselmotor.

2.2.3 Dual fuel-drift av dieselmotorer

Vid dual drift används som namnet antyder två bränslen. Liksom är fallet med tändförstärkare är ett av dessa lättantändligt. Detta bränsle, t.ex. diesel eller biodiesel, injiceras för att starta förbränningen. Därefter injiceras det bränsle som står för huvuddelen av energihållet, som t.ex. alkoholer.

2.2.4 Ottomotorer

Alkoholernas höga oktantal gör att de i allmänhet har bättre förbränningsegenskaper, som t.ex. verkningsgrad, än rena bensenbränslen. En förutsättning för att kunna utnyttja dessa är att motorn är byggd för enbart alkoholdrift och ej behöver kunna använda bensen som bränsle. Om den ska kunna använda bensen (d.v.s. vara flexifuel) så behöver motorn anpassas efter bensenens egenskaper, vilket medför en lägre verkningsgrad.

Det finns ett motsatsförhållande mellan bränsleflexibilitet och tekniskt optimala drivlinor. Om en drivlina är anpassad för ett bränsle kan motorn producera maximal verkningsgrad för det bränslet, även om det innebär att andra bränslen inte fungerar i motorn. Vid produktionen av drivlinan kan komponenter väljas som passar det valda bränslet, utan att behöva ta hänsyn till att andra bränslen med annorlunda kravprofiler.

Då alkoholer är svårantändliga kan bränsleblandningen komprimeras mer än en bensinblandning. Detta gör att det går att få ut en högre verkningsgrad för en Ottomotor som är optimerad för

alkoholdrift än för en flexifuelmotor som kan gå både på alkoholer och på bensin. Den kan då få en verkningsgrad som väl konkurrerar med en dieselmotor. En flexifuelmotor skulle däremot få en betydligt lägre verkningsgrad, varför detta alternativ inte undersökts.

2.2.5 Avancerade förbränningsmotorkoncept (PPC/HCCI)

Både ottomotorer och dieselmotorer är förknippade med motortekniska problem. Ottomotorn begränsas av att bränsle/luft-mixen är antändbar i ett tidigt skede, varför för hög kompression kan medföra oavsiktlig antändning. Då den maximala verkningsgraden för en förbränningsmotor beror på kompressionsgraden medför detta en längre verkningsgrad. Utsläppen av kolmonoxid är relativt höga då motorn inte körs med ett luftöverskott (som effektivt kan oxidera kolmonoxiden till koldioxid). I gengäld har dieselmotorn problem med att den sena injiceringen av bränslet medför att det inte är väl blandat med luften och att det därför bildas mycket sot och partiklar. Det stora luftöverskottet medför att utsläppen av NO_x också är höga. För att i möjligaste mån komma tillrätta med dessa utmaningar har flera motorkoncept utvecklats som försöker att kombinera de bägge motorkonceptet i syfte att maximera deras respektive fördelar och minimera dess nackdelar.

De exempel som utvärderas i rapporten är HCCI och PPC. Bägge baseras på att ett relativt svårantändligt bränsle (som alkoholer) injiceras tidigt i en kompressionsantänd motor. Vid HCCI sker injektionen i början av kompressionstakten, vilket medför att bränsle och luft blir väl blandade. Vid PPC sker injektionen relativt sent i kompressionstakten, men fortfarande tidigare än vid vanlig kompressionsantändning. Detta medför att bränsle och luft bara blivit delvis blandade (därav namnet). Dessa två koncept är inte de enda motorkoncept som det forskas kring för att öka verkningsgrad och minska utsläpp, men de tillhör de mer betydande. Alkohlernas höga oktantal gör dem väl lämpade för dessa motorkoncept då antändning sker långt efter att bränslet injiceras.

Vad som främst har hindrat HCCI att ta steget från forskning till kommersiell tillämpning är problem att kunna styra när förbränningen startar tillräckligt väl samt att kunna variera dess drift, d.v.s. vridmoment och varvtal, tillräckligt bra (Vander Sande, 2018). Vid låg belastning kan bränslet bli såpass utspädd att det inte sker någon antändning, vilket gör motorn svårstyrd och minskar verkningsgraden. Vid hög belastning kan förbränningen ske för snabbt, vilket ger upphov till knock-liknande tryckvågor, verkningsgradsförlust och höga NO_x utsläpp (Vander Sande, 2018).

2.3 BRÄNSLECELLSALTERNATIV

Ett alternativ till förbränningsmotorer är bränsleceller. Dessa har generellt högre verkningsgrad och lägre lokala utsläpp (Carrette et al, 2001). Då en bränslecell producerar el passar de bra samman med en allmän utveckling mot elektrifiering av fordonssektorn och kompletterar batterier på ett bra sätt genom att ha en hög energidensitet, vilket är batteriernas akilleshäla. Det finns flera olika typer av bränsleceller som varierar i uppbyggnad, de som är aktuella för alkoholer är främst PEM-bränsleceller, direktbränsleceller och fastoxidsbränsleceller (Badwal et al, 2015). I tabell 1 listas de kemiska reaktionerna som sker i bränslecellerna.

Det finns ett stort antal typer av bränsleceller. Dessa varierar avseende t.ex. temperatur, verkningsgrad, behov av katalytiska element och känslighet för föroreningar.

Lågtemperatursbränsleceller fungerar i allmänhet genom att bränslet reformeras så att vätgas bildas. Vätgasen används i bränslecellen vid relativt låga temperaturer, vilket bidrar till en hög

verkningsgrad. För att trots den låga temperaturen få tillräckligt hög effekt används katalytiska material. De medför dock att bränslecellen blir känslig för föroreningar som kan skada bränslecellens katalytiska element. Bränsleceller kan kategoriseras på flera sätt baserat på deras uppbyggnad och val av bränsle.

Etanolbränsleceller tenderar att vara långsammare än metanolbränsleceller då fler elektroner behöver ha tid att frigöras (12 för etanol mot 6 för metanol, och 2 för vätgas) och C-C bindningen behöver brytas upp (Badwal et al, 2015). En utmaning för alkoholbränsleceller är att uppnå fullständiga reaktioner, där 6 (metanol) eller 12 (etanol) elektroner överförs. För etanol bildas ättiksyra istället för koldioxid, vilket medför att bara 4 elektroner överförs, vilket drastiskt minskar verkningsgraden (Badwal et al, 2015). I indirekta bränsleceller omvandlas alkoholerna till vätgas och kolmonoxid. För lågtemperaturbränsleceller behöver kolmonoxidhalten vara mycket låg (<10 ppm), varför vattensplitsreaktionen används för att istället bilda CO₂. (Badwal et al, 2015).

Tabell 1. Reaktioner i de olika bränslecellstyperna (Badwal et al, 2015).

Typ av bränslecell		PEM	Polymer	SOFC
Temperatur (°C)		20-120	20-120	600-800
Anod-reaktion	Metanol	$\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 6 \text{H}^+ + 6 \text{e}^-$	$\text{CH}_3\text{OH} + 6 \text{OH}^- \rightarrow \text{CO}_2 + 5 \text{H}_2\text{O} + 6 \text{e}^-$	$\text{CH}_3\text{OH} + 3 \text{O}^{2-} \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 6 \text{e}^-$
	Etanol	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{CO}_2 + 12 \text{H}^+ + 12 \text{e}^-$	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 12 \text{OH}^- \rightarrow 2 \text{CO}_2 + 9 \text{H}_2\text{O} + 12 \text{e}^-$	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 6 \text{O}^{2-} \rightarrow 2 \text{CO}_2 + 3 \text{H}_2\text{O} + 12 \text{e}^-$
Jon		H ⁺ (anod → katod)	OH ⁻ (katod → anod)	O ²⁻ (katod → anod)
Katod-reaktion	Metanol	$1.5 \text{O}_2 + 6 \text{H}^+ + 6 \text{e}^- \rightarrow 3 \text{H}_2\text{O}$	$1.5 \text{O}_2 + 3 \text{H}_2\text{O} + 6 \text{e}^- \rightarrow 6 \text{OH}^-$	$1.5 \text{O}_2 + 6 \text{e}^- \rightarrow 3 \text{O}^{2-}$
	Etanol	$3 \text{O}_2 + 12 \text{H}^+ + 12 \text{e}^- \rightarrow 6 \text{H}_2\text{O}$	$3 \text{O}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} + 12 \text{e}^- \rightarrow 12 \text{OH}^-$	$3 \text{O}_2 + 12 \text{e}^- \rightarrow 6 \text{O}^{2-}$

Lågtemperaturbränsleceller har bättre lastföljning än högtemperaturbränsleceller, som vill ha jämn belastning (Ridell, 2019). Förutom att använda bränslecellerna i fordonen är det också möjligt att tänka sig alternativ, med t.ex. en stationär reformer som producerar vätgas från alkoholerna och där den producerade vätgasen sedan används av vätgasbränslecell i fordonen (Ridell, 2019). På detta sätt går det att utnyttja att alkoholerna är enklare att transportera och lagra, medan vätgasen fungerar bättre i bränslecellerna.

2.3.1 PEM-bränsleceller

PEM-bränsleceller (förkortningen kan stå för både ”proton-exchange membrane” och ”polymer electrolyte membrane”) är den vanligast förekommande typen av bränsleceller. Genom att reformera andra bränslen kan ett stort antal bränslen användas, dock med en betydande verkningsgradsförlust jämfört med vätgas, 35–40 % jämfört med 60–70 % för vätgas. Vanliga metoder för reformering är ångreforming och partiell oxidering. Ångreforming är en endoterm process där bränslet reagerar med ånga, medan partiell oxidering är en exoterm process där bränslet reagerar med luft eller rent syre (Joensen & Rostrup-Nielsen, 2005).

PEM-bränsleceller kan starta snabbt då de körs vid relativt låga temperaturer, 80–100 °C (Ridell, 2019). För att bränslecellerna ska kunna användas vid de relativt låga temperaturerna (jämfört med förbränning som kan nå temperaturer av ungefär 2 000 °C i en motor) används katalytiska element för att öka reaktionshastigheten. Ett problem med dessa är att molekyler, som CO, kan konkurrera

med vätgas och ta deras plats. Detta är problematiskt då CO, till skillnad från H₂, adsorberas på ytan och därigenom lägger beslag på denna (tills ytan spolas med O, som kan reagera med CO till CO₂) (Li et al., 2003). Detta problem förstärks av behovet att reformera grundbränslet, en process som lätt leder till att CO bildas.

För metanol är förutsättningarna relativt fördelaktiga och välkända. Det är betydligt lättare att genomföra ångreforming av metanol än kolväten. Det går att uppnå 99 % omvandling, vid 200-300 °C genom att använda kopparbaserade katalysatorer. Det är svårare med etanol (och längre kolväten), då dessa har C-C bindningar som behöver brytas. I dessa fall finns en betydande risk att fast kol bildas (Joensen & Rostrup-Nielsen, 2005).

För närvarande är tillgången på PEM-bränsleceller som använder alkoholer begränsad och främst på forskningsnivå. Dock börjar det komma kommersiell tillverkning. I Danmark finns Serenergy och Blue World som säljer bränsleceller baserade på metanol. Användningen av metanol har studerats mer än etanol. Sedan den amerikanska energimyndigheten bestämt sig för att satsa på ren vätgas har intresset för användning av reformerade andra bränslen i PEM-bränsleceller minskat (Ridell, 2019). Ett tidigt exempel på forskning är Daimler Chryslers Necar-serie, där både Necar 3 och Necar 5 använde metanol som reformerades ombord på fordonet (Lindälv, 2017). Jämfört med vätgasbränsleceller kräver PEM-baserade etanolbränsleceller större mängd katalytiska element (Badwal et al, 2015). Dess utvinning är förknippad med en betydande miljöpåverkan.

2.3.2 Direktbränsleceller

Direktbränsleceller har lägre verkningsgrad än PEM-bränsleceller (även med hänsyn tagen till omvandlingsförluster i reformern). Verkningsgraden med etanol är lägre än för metanol (Ridell, 2019). Etanolomvandling sker mycket långsamt, där reaktionerna inte sker fullständigt utan lämnar aldehyder, ättiksyra m.m. som biprodukter (Badwal et al, 2015). För alkoholer har det skett mer forskning på direktbränsleceller än på PEM-bränsleceller.

Användningen av katalytiskt material för dessa är liknande dem för PEM-bränsleceller för vätgas. I allmänhet används olika ädelmetaller. Ett motsatsförhållande finns mellan låg mängd katalytiskt material (fördelaktigt ur kostnads- och resurssynpunkt) och lång livslängd (Badwal et al, 2015).

2.3.3 Fastoxidsbränsleceller (SOFC)

Fastoxidsbränsleceller har betydligt högre verkningsgrad än PEM- och direktbränsleceller. Den kan vara över 60 % och är i regel över 50 %. Till skillnad från de ovan nämnda bränslecellerna behöver de inte katalytiska element. Detta beror på att de har en hög arbetstemperatur, 500 - 900 °C. Detta gör att de tar lång tid att starta (en halvtimme eller mer), vilket gör att de inte används i fordon. En fördel med avsaknaden av katalytiskt material är att fastoxidsbränsleceller generellt tål mer orenheter i bränslet, som t.ex. kolmonoxid. De ställer dock krav på att bränslets svavelhalt ska vara låg. Även på ppm-nivå kan svavel reagera med nickel och bilda resistent nickelsvavel-föreningar (Badwal et al, 2015).

Även om fastoxidsbränsleceller som använder alkoholer har hög potential är den tekniska utvecklingen inte lika lång kommen som för vätgasanvändning inom samma bränslecellstyp. De kräver högre temperaturer och har en lägre effekttäthet (Yang et al, 2019).

2.3.4 Hållbarhet

Det finns ett antal processer som kan vara problematiska vid användning av alkoholer i bränsleceller, utöver de som skadar katalytiska element, beskrivet ovan. Det gäller bland annat reaktioner som bildar kol i fast fas (Joensen & Rostrup-Nielsen, 2005). Dessa kan då stanna kvar i bränslecellerna som beläggningar och minskar dess livslängd. Det är inte unikt för alkoholbränslen, som beskrivits ovan kan orenheter generellt vara problematiska i bränsleceller.

2.4 TEKNIKMOGNAD FÖR OLIKA ALTERNATIV

De olika alternativ som beskrivits ovan varierar i hur väl de kan utnyttja bränslets energi och i de utsläpp de ger upphov till. Dessa är dock inte de enda faktorerna av vikt. En annan viktig faktor är hur pass mogna de olika teknikerna är. En mogen teknik kan medföra reduktioner i utsläpp med omedelbar verkan, medan en omogen teknik kräver forskning och utveckling innan en eventuell högre potentiell utsläppsminskning och verkningsgradsökning kan uppnås. Ett vanligt sätt att beskriva och mäta teknikmognad är genom NASA's "Technology Readiness Level" (Héder, 2017). Denna beskriver tekniker från nivå 1 – grundforskning, till nivå 9 – införd teknik. Tabell 2 visar hur skalan används av Energimyndigheten och Tabell 3 en uppskattning av var användning av alkoholbränslen ligger för olika drivlinor.

Tabell 2. Energimyndighetens beskrivning av TRL-nivåer.

Technology Readiness Level				
Fas	TRL	Er nivå (x)	Kännetecken för uppnådd nivå	Exempel på den mognadsnivå som ska uppnås
Införande	9	☐	Produkten används med framgång	Produkten har visat sig fungera i verklig användning.
Experimentell utveckling	8	☐	Färdigutvecklat system är verifierat	Tekniken har nått sin slutliga form och dess funktion har verifierats i förväntade driftsförhållanden. Test- och demonstrationsfasen har avslutats.
	7	☐	Demonstration av prototyp i driftsmiljö	Funktion hos prototyp har verifierats vid test och demonstration i verklig driftsmiljö. Överlämning till produktutveckling.
	6	☐	Demonstration av modell eller prototyp i simulerad miljö	Modell eller prototyp av systemet har testats och demonstrerats under verklighetsliknande förhållanden.
	5	☐	Validering av komponent/delsystem i simulerad miljö	Komponenter eller delsystem har testats under verklighetsliknande förhållanden. Systemets livskraft är verifierad.
Industriell forskning	4	☐	Teknisk validering i laboratoriemiljö	Komponenter eller delsystem har testats i labbmiljö. Konzeptets relation till andra system har bestämts.
	3	☐	Experimentella bevis på konceptets potential finns	Analytiska eller experimentella studier har genomförts. Karakteristiska drag hos tekniken är kända.
	2	☐	Teknikkoncept formulerade	Möjliga applikationer har identifierats. Grundläggande principer studeras. Förfinad beräkning av prestanda.
Grundforskning	1	☐	Grundläggande principer observerade	Vetenskapliga resultat finns som tyder på en möjlig praktisk tillämpning. Prestanda kan uppskattas.

Att blanda in lägre halter alkoholer i diesel är något som undersökts i en stor mängd studier (t.ex. Khalifeetal et al., 2017). Dess beteende i motorer är därför väl belagt. Vid låga halter alkoholer blir deras påverkan på drivmedlets egenskaper begränsad. Då alkoholernas förbränningsegenskaper är mer lika de för bensin än för diesel (och i motortermer, bättre anpassade för en typisk ottomotor än en typisk dieselmotor), förekommer kommersiell låginblandning tillsammans med bensin istället för diesel.

Användning av etanol tillsammans med tändförstärkare i dieselmotorer har förekommit sedan 1985. Dessa har använts framförallt i bussar, men även lastbilar (Tunér, 2018). De motorer som används i arbetsfordon är vanligtvis samma som för tung trafik, däremot kan anpassningar behöva göras p.g.a. olika körcykler vid användning i arbetsfordon.

Inom Summeth-projektet undersöktes även användning av MD95, där metanol ersätter etanol. De undersöktes för mindre fartyg, med motorer på 250 to 1200 kW maxeffekt (250-700 kW för de motorer för vilka fysiska tester genomfördes), vilket innebär att de minsta motorerna de undersökta motsvarar relativt stora motorer för arbetsfordon. Effektnivåerna förväntas generellt vara likadana som för dieselmotorer, med viss påverkan från det höga kompressionsförhållandet för MD95 (Tunér, 2018).

Vid körning i tändstiftsmotor och sen injektion (som bidrar till en stratifierad blandning i motorcylinder) var det möjligt att uppnå en indikerad effektivitet på över 51%, dock inom ett smalt intervall. Överlag var slutsatsen att på kort sikt var användning i tändstiftsmotorer, mer lämpligt än PPC (Tunér, 2018).

Dessa testades i en Scania EEV Ethanol DC9 270 hk-motor. Överlag resulterade användning av MD95 i ren förbränning, med bäst prestanda för samma tändförstärkare som medförde bra prestanda för ED95. De kom fram till att MD95-konceptet har potentiell, förutsatt att ett antal problem kopplade till bl.a. motormaterial kan lösas (Tunér, 2018).

Det finns ett relativt stort antal motorvarianter som på olika sätt försöker kombinera otto- och dieselmotorns fördelar. Detta sker genom att bränslet injiceras tidigare än i en dieselmotor för att därigenom få en bränsleblandning som är mer (men inte nödvändigtvis helt) homogen, vilket bidrar till lägre utsläpp av partiklar. Samtidigt är maxtemperaturen relativt låg, vilket bidrar till låga utsläpp av NOX. Då blandningen har ett luftöverskott, som i fallet med diesel, kan den komprimeras i samma grad som i en vanlig dieselmotor, och därigenom uppnå höga verkningsgrader. En stor utmaning är att kunna kontrollera processen över ett stort effektintervall.

Då det är eftersträvänsvärt med antändning relativt långt tid efter injicering passar typiska drivmedel för ottomotorer, som korta alkoholer, bra för dessa typer av motorer. Studier på PPC med metanol har genomförts av Lund Universitet (Tunér, 2018).

Mazda blev 2019 den första tillverkaren som släppte ett fordon baserat på något av dessa koncept kommersiellt genom sin SkyActive-X motor (det har tidigare funnits relativt många fordon konceptnivå). Denna motor kompletterar den tidiga injiceringen beskriven ovan med en andra, senare, bränsleinjektion som antänds av ett tändstift.

Bränsleceller som använder extern reformering av metanol för att producera vätgas för användning i PEM-bränsleceller finns kommersiellt tillgängliga för vissa tillämpningar. Blue World redogör på deras hemsida för en plug-in drivlinelösning baserad på 15–25 kWh batteripack, 10–20 kW metanolbränsleceller och 50–80 l tank. Detta gör det möjligt att tanka på ungefär tre minuter och ger en räckvidd på över 1 000 km.

I flera fall direktmetanolbränsleceller använts i hybridsystem med där metanol använts om baskraft och batteriet hanterar effektvariationer använts. bl.a. har Oorga Protonics byggt en gaffeltruck med detta upplägg, där bränslecellen ser till att batteriet alltid har mellan 50–80 % laddning. I dessa fall

kan bränslecellen köra vid lämplig belastning för att uppnå hög verkningsgrad (Joghee et al., 2015). DMFC har använts i ett antal olika vägfordon, dock i allmänhet med relativt låg uteffekt (ibid). Forskning kring fordon som använder DMFC bränsleceller har mest fokuserat på mindre fordon, medan vätgas dominerar för större fordon (ibid).

Ett vanligt problem med direktbränsleceller är "cross over", vilket innebär att bränslet går över till fel sida av bränslecellen, vilket begränsar utnyttjandet av bränslet (och därför minskar verkningsgraden). Detta är ett större problem för metanol än för etanol (Kamarudin et al., 2013; Joghee et al., 2015).

DMFC begränsas också av degradation över längre tid. Kallstart är ett problem, framförallt vid temperaturer under $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. (Joghee et al., 2015) Kostnad, effekttäthet och verkningsgrad för DMFC bränsleceller är för närvarande de viktigaste faktorerna som begränsar dess spridning inom transportsektorn (ibid). DEFC är fortfarande på forsknings- och utvecklingsnivå, med ett fåtal system byggda på prototypnivå (Kamarudin et al., 2013) DEFC har främst används för flyttbar elektronik (ibid).

Det finns inte fastoxidsbränsleceller som använder alkoholer direkt på marknaden. Däremot förekommer det sådana fastoxidsbränsleceller där etanol först omvandlas till vätgas i en reformer och den vätgas som bildas sedan används i en fastoxidsbränslecell. (Yang et al., 2019) Ett exempel på detta är Nissans prototyp e-Bio Fuel-Cell, vilken körs på antingen 100 procent etanol eller etanolblandat vatten och har en räckvidd på över 600 km.

Hinder för kommersialisering av fastoxidsbränsleceller körda direkt på alkoholer är för närvarande effektdensitet, livslängd samt kolkoksning (där en fast rest lämnas som avsevärt ökar förlusterna) (ibid).

Tabell 3. Teknikmognad för olika drivline- och bränslealternativ.

Alternativ	TRL-Nivå	
	Metanol	Etanol
Inblandning i diesel	3-4	3-9
Tändförstärkare	6	9
Dual fuel	3-9*	3-4
I Otto-motor	9	9
PPC	4	4
HCCI	4	4
PEM-bränslecell	9**	2-4
Direktbränslecell	2-4	2-4
Fastoxidsbränsleceller	2-4	2-4***
* För större motorer, Stena Germanica		
** För mindre bränsleceller.		

3 TEKNISKA KONSEKVENSER AV ALKOHOLANVÄNDNING I FORDON

Det finns en stor mängd alkoholer. Som fordonsbränsle är det de alkoholer där en hydroxylgrupp ersätter en väteatom i kolväte (d.v.s. som har den kemiska formeln $C_nH_{2n+1}OH$) som är intressant och då främst de korta: metanol (CH_3OH), etanol (C_2H_5OH) och till viss del n-butanol (C_4H_9OH) och n-oktanol ($C_8H_{17}OH$). De bränslen som studerats i denna rapport är metanol och etanol, viktiga kemiska och fysiska data för dessa bränslen finns beskrivna i Tabell 4.

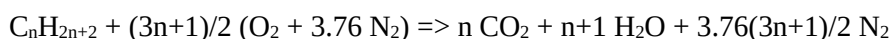
Tabell 4. Alkoholbränslen av intresse. Baserat på Sarathya et al. (2014) och Engineering Toolbox (2003a, 2003b & 2005).

Sammansättning (%)	CH_3OH	C_2H_5OH
- C	37.5	52.2
- H	12.5	13.1
- O	50.0	34.7
Densitet (kg/l)	0,792	0,794
Cetantal	2-5	2-12
Oktantal	109	109
Värmevärde (MJ/l)	15,8	21,4
Värmevärde (kWh/kg)	6.39	8.25
Brännbarhetsgräns (%)	7.3-36.0	4.3-19
Stökiometrisk luft/bränsleknot	6,45	8,98
Löslighet i vatten (mass-%, vid 25 °C)	100 %	100 %
Kokpunkt (°C)	64.7	78
Förångningsentalpi (kJ/kg from 25 °C)	1168	919,6

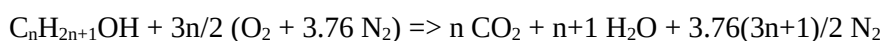
3.1 FÖRBRÄNNINGSEGENSKAPER

Alkoholer är organiska kemiska föreningar som innehåller en hydroxylgrupp (-OH) som funktionell grupp. Hydroxylgruppen är det som gör att alkoholernas egenskaper skiljer sig från andra liknande molekyler. Inte minst medför det att alkoholer blir polära samt att dess energiinnehåll minskar, liksom deras syrebehov vid förbränning.

För kolväten är reaktionsformeln:



För motsvarande alkohol blir istället reaktionen



Från detta noteras att:

- Motsvarande alkohol kommer att väga mer (då den innehåller en syreatom extra), men producera samma produkter. Detta medför att energitätheten kommer att bli lägre. Per kg bränsle kommer ett fordon längre på ett kolväte än på en alkohol med samma antal kolatomer. Då densiteten för kolväten och alkoholer tenderar att bli samma (när bägge är i flytande fas) gäller detta även när energidensiteten är uttryckt per liter.
- Syreatomen i bränslet gör att behovet av syre från luften minskar. Detta underlättar styrning av motorer då det vanligen är problematiskt att snabbt förse motorn med stora

mängder luft (då luften är i gasfas, medan bränslet vanligen är i flytande fas med avsevärt högre densitet).

Längden på kolvätekedjan påverkar bränslets egenskaper på flera sätt: dels blir krafterna mellan molekyler starkare, dels späds den funktionella gruppens egenskaper ut. Att krafterna mellan molekylerna blir starkare beror på att de får mer yta mot varandra. Att krafterna blir större gör att det blir svårare för molekylerna att röra sig relativt varandra. Detta påverkar en mängd egenskaper. Det gör att viskositeten blir högre, likaså kokpunkten.

3.2 INTERAKTION MED METALLER

Korrosion är en nedbrytningsprocess som orsakas av att metaller varierar i förmåga att locka elektroner, d.v.s. elektrisk potential. Detta kan få metall att oxidera (korrodera) om en laddning kan transporteras mellan dem (med joner). Korrosionen beror inte bara på metallernas egenskaper, utan även på transportmediet. I en drivlina är detta transportmedium drivmedlet. Eftersom polära vätskor, som etanol och i högre grad metanol, leder elektricitet mycket bättre än icke-polära, är de mycket mer benägna att orsaka korrosion. För att undvika korrosion behöver lämpliga material användas i drivlinan. Korrosionsprodukter kan hamna som fasta ämnen i bränsleflödet. Som alla fasta ämnen i drivmedlet kan de täppa till filter, orsaka fel på injektorer, öka motorns slitage och skada katalysatorer.

3.3 INTERAKTION MED PLASTER (PACKNINGAR M.M.)

Löslighet med andra vätskor och material i drivlinan är oönskade eftersom det innebär att: 1) dessa material kommer in i bränsleströmmen och 2) komponenterna som de används i kommer att förändras (t.ex. svälla eller krympa). Ett exempel på det förstnämnda är att smörjolja kan lösas upp och lakas ut, medan ett exempel på det senare är att alkoholer (i synnerhet metanol) kan påverka plast som sväller, krymper, hårdar, mjukar, spricker etc. om materialet inte är valt med omsorg.

En grundläggande tumregel är att "lika löser lika". Detta innebär att polära molekyler lättast löses i en polär lösning och vice versa. Anledningen till detta är att de intermolekylära dipolkrafterna är starkare mellan polära föreningar. Den negativa delen av en molekyl kommer att dras till den positiva delen av en annan molekyl. Icke-polära molekyler kommer inte att ha dessa intermolekylära krafter. Om en lösning endast består av icke-polära molekyler kommer de fortfarande att blandas eftersom de inte har några dipolkrafter att konkurrera med. Om en lösning emellertid innehåller både polära och icke-polära delar kommer dessa vanligtvis inte att blandas, eftersom de polära delarna dras till varandra men inte till de icke-polära delarna.

Tätning består av elastomerer (från elastiska polymerer, i dagligt tal "gummi"). Bränsle samverkar med fasta ämnen på samma sätt som med vätskor, d.v.s. blandning med liknande. Tätningen sväller om de tar upp bränsle. Vatten i bränslet kan orsaka kraftig svullnad. Ett brett utbud av elastomerer finns tillgängligt, vilket innebär att det är möjligt att hitta lämpliga elastomerer för vilket biodrivmedel som helst.

Det är viktigt att bränslet inte blandas med andra vätskor och material, men det är också viktigt att komponenterna i bränslet blandas. Om så inte är fallet kan de olika komponenterna separeras. Detta kan vara problematiskt vid förvaring av bränslet. Om bränslet har separerats i en tank kommer

bränslet som pumpas ut ur tanken att ha egenskaper som skiljer sig från de som förväntas eftersom det inte längre är representativt för allt bränsle.

Ett fall som är särskilt viktigt är vatten i blandningar med kolväten och alkoholer. Kolväten och alkohol är blandbara (den icke-polära delen av alkoholerna är tillräckligt lik kolväten för att möjliggöra blandning). Vatten och alkoholer är också blandbara (de polära delarna av molekylerna är tillräckligt lika). Kolväten och vatten är däremot inte blandbara (eftersom kolväten är icke-polära och vatten polärt). En blandning kolväten och alkoholer kommer alltså att fungera väl, medan en blandning av kolväten, alkoholer och vatten kommer att resultera i att alkoholen tenderar att blanda sig med kolvätena och att vatten kommer att separeras.

Som en konsekvens av ovanstående faktorer behöver flera komponenter som används i alkoholdrivlinor använda andra material jämfört med de komponenter som används för fossila drivmedel. Detta omfattar munstycke, doseringsstråle, flytande axel, tätningar packningar, O-ringar och bränslefilter. Större komponenter som bränsletanken och avgasrör kan behöva beläggas inuti (Joseph, 2007).

4 SYSTEMBESKRIVNING OCH IDENTIFIERING AV TYPFALL

Antalet möjliga kombinationer av alkoholbränsle (även i koncentrationer och kombinationer med andra bränslen), drivlineutformningar, fordonstyper- och storlekar samt användningsområden är mycket stort. För att göra studien praktiskt genomförbar har ett antal typfall valts ut i syfte att ge så bred representation som möjligt med ett begränsat antal fall.

För närvarande dominerar diesel bränsleförsörjningen till arbetsmaskiner. Därför har fossil diesel samt hydrogenerad vegetabilisk olja (HVO) valts som referens. HVO är en biodiesel som har en kemisk struktur och sammansättning som är mycket lik fossil diesel och som därför relativt enkelt kan ersätta denna. De nya drivmedlen som undersöks är HVO, ED95 och MD95 (metanoldiesel 95, metanol i stället för etanol) som ska jämföras med konventionell diesel. Dessutom utvärderas ren metanol och etanol samt dessa båda alkoholer i låginblandning. Metanol är också utmärkt till bränsleceller.

I syfte att uppnå resultat som är konsekventa vid jämförelser mellan olika bränslen har underlaget främst bestått av studier som jämför flera olika bränslen/produktionsvägar baserat på samma antaganden och systemgränser. Detta då konsekvenserna av olika antaganden annars kan vara svåra att överblicka. Detta gör att alternativa anläggningar används i vissa fall. Om så är fallet har detta kommenterats och förväntade konsekvenser utvärderats.

Ett antal olika drivlinor har studerats med olika grad av teknikmognad och behov av förändring/(efter)konvertering av existerande drivlinor. Då dieselmotorer har hög verkningsgrad och redan dominerar bland arbetsfordon utgår analysen från att de ingår i drivlinan (den del av ett fordon som driver det). Analysen baserar sig dock på nya fordon, inte av konvertering av existerande fordon. De undersökta användningsområdena är:

- som inblandning i diesel
- som ”dual fuel” i en dieselmotor. I denna agerar diesel tändförstärkare, men alkoholbränslen står för huvuddelen av bränsleenergin
- som huvudkomponent i MD95/ED95 för användning i dieselmotorer anpassade för dessa bränslen
- som bränsle för motorer byggda för tändstiftsdrift i enlighet med ottocykeln
- som bränsle för ännu ej kommersiella motorkoncept som partiellt förblandad förbränning (PPC) och homogenförbränning (HCCI)
- som bränsle för bränsleceller i elfordon

För produktionen av bränslena har utgångspunkten varit existerande anläggningar:

- Fossil diesel och biodiesel (HVO) från Preems raffinaderi i Göteborg
- Södras massabruk i Mönsterås, ur vilken metanol utvinns från pappersmassaprocessen (skog)
- Agroetanols anläggning i Norrköping för produktion av etanol från spannmål
- SEKABs förädling av etanol från Aditya Birla – Domsjö för produktion av ED95 från skogsråvara

För användning av bränslena har utgångspunkten varit att dels finna geografiska platser som är typiska för var maskiner inom jord- och skogsbruk samt entreprenadverksamhet används, dels att

uppnå en geografisk spridning så att hela landet i möjligast mån täcks in. Baserat på detta har följande platser valts:

- Jordbruk: Skara i Västra Götalands län. Västra Götalands län är det län som har flest jordbruksföretag (Jordbruksverket, 2018) och Skara ligger relativt centralt i länet.
- Skogsbruk: Skellefteå i Västerbottens län. Av de tre landsdelarna står Norrland för det största samlade uttaget (Skogsstyrelsen, 2019). Dessutom är Götaland (som har ett uttag av samma storleksordning) redan representerat under jordbruk.

Entreprenadverksamhet: Södertälje i Stockholms län. Vid en sökning på Blocket stod Stockholm och Södermanlands län för över 37 % av alla entreprenadmaskiner som var utannonserade till försäljning. Dessutom är inte Svealand representerat i någon av de övriga kategorierna.

Södertälje representerar transportmässigt bra förhållande med närhet till hamn och annan distribution. Skellefteå representerar ett område som ofta har mer ofördelaktigt transportförhållande. Medan Skara transportmässigt får representera stora delar av södra och mellersta Sverige, inte speciellt nära till någonting, men i ett område där transporter kan samordnas eftersom det finns en relativ stor kundpotential. Orter och avstånd framgår av tabell 5.

Tabell 5. Avstånd (km) mellan produktionsort och användningsplats.

Användning	Bränsle Produktion: Användningsorter	Diesel/HVO Göteborg	Metanol Mönsterås	Etanol Örnsköldsvik	Etanol Norrköping
Jordbruk	Skara	128	290	743	266
Skogsbruk	Skellefteå	1 113	1128	245	926
Entreprenad	Södertälje	469	364	526	163

4.1 BRÄNSLEN

De bränslen som utvärderats i olika tillämpningar finns beskrivna i tabell 6, vilken är baserad på existerande standarder. Fossil diesel omfattas av standard EN590 och HVO av EN 15940. För låginblandning av alkoholer har utgångspunkten varit de halter som är tillåtna i standarden för bensin, EN 228. Diesel med låga halter av alkoholer uppfyller EN590 sånär som på dess flampunkt (Torres-Jimenez et al., 2011). För MD95 har utgångspunkten varit att samma tändförstärkare används som för ED95, då de tester som utförts funnit att de tändförstärkare som fungerat bäst för ED95 också gjort det för MD95 (Tunér, 2018).

Vid dual-fuel drift används både diesel och respektive alkohol. Halten av respektive drivmedel vid praktisk drift kommer därför att variera beroende på användningsområde och hur styrningen av motorn sker. För att göra en uppdelning har Dierickx et al (2019) och Bernardes Pedrozo (2017) används som grund.

Eftersom etanol bildar en azeotrop tillsammans med vatten som maximalt kan destilleras till en masskoncentration på 95,629 %, är de blandningar som står som 100 % etanol (eller ED95) i tabellen ”våt” etanol, d.v.s. en azeotrop blandning av etanol och vatten. Metanol är inte en azeotrop och innehåller därför inget vatten (mer än de spårmängder som relevanta standarder tillåter).

Tabell 6. Sammansättningar av de studerade bränsleblandningarna.

Alkoholens användning	Alternativ	Bränslesammansättning (massbasis)	Diesel	HVO	Metanol	Etanol	MD95	ED95
Inblandning i diesel	Diesel (fos.)		100%					
	Diesel (HVO)			100%				
	Metanol		97%		3%			
	Etanol		95%			5%		
Med tändförstärkare	MD 95						100%	
	ED 95							100%
Som Dual fuel	Metanol			35%	65%			
	Etanol			43%		57%		
Ren (flera områden)	Metanol				100%			
	Etanol					100%		

5 UTVÄRDERING AV PRAKTISKA FÖRUTSÄTTNINGAR

Som utgångspunkt till att utvärdera de praktiska förutsättningarna användes tre typfall eller scenarios, se kapitel 4, av drivmedelsförsörjning till arbetsfordon för tre olika arbets-, och geografiska områden och entreprenadverksamhet, skogsbruk och jordbruk.

Mycket av hanteringsförhållande styrs av flampunkt och explosionsrisk. Flampunkt är den lägsta temperatur där det avgår ånga från en vätskas yta i sådan mängd att ångan tillsammans med luft kan börja brinna. Brandfarliga vätskor är enligt svensk lag sådana vätskor som har en flampunkt under eller lika med 100 °C. De delas in i fyra klasser 1, 2a, 2b och 3. De båda första klasserna avger tillräckligt mycket ångor för att kunna antändas redan vid rumstemperatur. Bensin, etanol och metanol återfinns i klass 1 som går upp till 23°C. Dieselbränsle, dieselolja, gasolja eller eldningsolja (lätt) inklusive syntetiskt framställda produkter med flampunkt över 60°C upp till högst 100 °C räknas som klass 3. Flampunkt för några av drivmedlen är: Bensin: - 20°C, Etanol: 9 °C, Metanol: 12°C, Diesel: >60°C, HVO: >60°C. Brandklass 2 a-b omfattar lösningsmedel med flera ämnen, men idag inga drivmedel. RME och andra FAME drivmedel har en flampunkt överstigande 100°C och anses inte som brandfarliga. Dessa brandskyddsklasser betyder mycket för regelsystem som styr hantering och lagring.

Metanol är mycket svårare att antända än bensin och brinner cirka 60 % långsammare. En metanolbrand frigör per tidsenhet energi till cirka 20 % av hastigheten för en bensineld, vilket resulterar i en mycket svalare flamma. Detta resulterar i en mycket mindre farlig brand som är lättare att kontrollera. Till skillnad från bensinbränder är vatten acceptabelt som ett branddämpande medel för metanolbränder, eftersom detta både kyler elden och snabbt späder bränslet under koncentrationen där det bibehåller självantändlighet. Detta innebär att metanol som fordonbränsle har stora säkerhetsfördelar jämfört med bensin. Etanol delar många av dessa fördelar.

För långa vägtransporter är utgångspunkten tankbil med totalvikt om maximalt 64 ton. Om bilen väger 13 ton och släpet 6 ton blir den maximala lasten 64 minus 19 ton för bil med släp. Det ger möjlighet att lasta 45 ton och volymen beror på densiteten och som är temperaturberoende. Varje transportekipage är individuellt konstruerat, men exempelvis kan en bil med släp frakta en volym om totalt 57,5 kubikmeter (kbm) om inte vikten sätter stopp. Exempel på praktiska transporter är 48 kbm enligt Helm Skandinavien A/S och SEKAB, 54 kbm enligt Malte Fuel & Wash AB och 50 kbm enligt Energifabriken. Transporterad volym per transport skiljer sig åt mellan olika aktörer och deras transportfordon. I denna rapport räknar vi med den lägre nivån, 48 kubikmeter, även om en transport teoretiskt kan transportera ca 57 000 liter HVO och ca 56 000 liter etanol/ED 95 och ca 56 000 liter metanol/ MD95.

Idag transporteras stora mängder metanol och etanol runt om i Sverige. Bland annat metanol till reningsverk. År 2011 förbrukades 5 831 ton eller ca 7 362 kbm i 6 av 36 undersökta avloppsreningsverk runt om i landet. Metanol används som kolleverantör till mikroorganismerna, alltså foder. Det finns ca 1 700 reningsverk i Sverige och ca 431 tillståndspliktiga, så volymen metanol som används torde vara betydligt större. En stor transportör och aktör är Helm Skandinavien A/S. De transporterar 60 000 ton metanol med lastbil per år i Sverige. Totalt hanterar företaget ca 6 miljoner ton (ca 7,6 miljoner kbm) metanol per år. Helm som är ett företag med stor erfarenhet av att transportera kemikalier anser att metanol är en enkel ("very easy") kemikalie att hantera (Adrian Klage, HELM A/S). Infrastruktur för och erfarenheter av att transportera metanol

är relativt stor. Även etanol finns stor erfarenhet av att hantera eftersom det när förbrukningen på drivmedelsmarknaden, läs E85, var som störst i Sverige hanterades drygt 600 000 kbm per år. Förutom E85 finns också stor erfarenhet av ED95 från SEKAB och Agroetanol.

5.1 TYPFALL

Tre typfall används för att exemplifiera olika arbetsplatser och förutsättningar. De olika arbetsmaskinerna är exempel på typmaskiner under redovisade förhållanden. Det effektintervall som valts för de olika arbetsmaskinerna är 75-130 KW, vilket var vanligast förekommande för alla tre maskintyperna förutom lantbruk 2007 (Wetterberg et al, 2007). Siffrorna från 2007 är den senaste sammanställningen där alla tre branscherna och maskintyperna finns med i en likartad sammanställning. Det storleksintervall som är vanligast inom lantbruk är mindre än det som används i rapporten. Det beror främst på att gamla traktorer finns kvar i drift under lång tid även om driftstiden för dem är mycket låg. Tabell 7 redovisar typmaskiner för de olika fallen.

Tabell 7. Typmaskiner för de olika användningsfallen. Data från Wetterberg et al (2007). Tabellen redovisar maskinvikt i ton (t) och effekt i hästkrafter (hk) eftersom det är brukligt inom skogsbruk och entreprenadverksamhet respektive inom jordbruk.

Bransch/Maskin	Geografisk plats	Typfall	L diesel per tim	kWh per tim	Effekt kW	Vikt, t, resp, effekt, hk
Skogsbruk/Skotare	Skellefteå	Fall 1, småskaligt	8,76	91	75-130	10-15 t
Jordbruk/Traktor	Skara	Fall 2, mellanskala	7,52	78	75-130	100-174 hk
Entreprenad/Hjullastare	Södertälje	Fall 3, storskaligt	11,22	116	75-130	8-9,5 t

Typfall 1 är relativt småskaligt i avseende på den sista delen av drivmedelsförsörjningen, alltså ut till aktuellt arbetsfordon och kan passa skogsbruk där entreprenören tar med sig drivmedel på sin pickup ut till skotare i skogen. Det kan också passa mindre entreprenad och jordbruk. Sett till den totala energiförbrukningen per enskild arbetsmaskin är skotare det exempel som förbrukar mest drivmedel på grund av många timmar per dygn och år, 2 550 drifttimmar per år eftersom maskinen i exemplet körs i tvåskift.

Typfall 2 är tänkt att passa lite mindre entreprenad samt jordbruk. Exemplet jordbruk är den drift som förbrukar minst drivmedel. Främst på grund av få drifttimmar, 500 timmar per år.

Typfall 3 är tänkt att passa för större entreprenad och ett större lantbruk. Här ska man tänka sig flera arbetsmaskiner. En ny hjullastare som används i exemplet har en drifttid på ca 1 400 timmar per år.

Bransch har inkluderats dels för att påvisa vilka maskintyper som finns med och vilka arbeten de utför, dels för att tydliggöra vilka möjligheter som finns att ställa om till förnybara drivmedel. Geografisk plats påverkar kostnaden och miljöpåverkan för den storskaliga försörjningskedjan för drivmedel, t.ex. lastbilstransporter. Typfallen används för att påvisa hanteringskedjan från den övergripande försörjningskedjan till arbetsmaskinens arbetsplats. Det för också med sig olika kostnader samt lagar och rekommendationer för hantering av drivmedlen i de olika fallen.

5.1.1 Typfall 1: Småskaligt – Skogsbruk, Lantbruk, Entreprenad

I detta typfall körs drivmedlet med konventionell tankbil från produktionsplats till drivmedelsstation (bensinstation) eller gårdscistern. Därifrån hämtas drivmedlet i mindre förpackning av entreprenör som transporter ut det till sin arbetsplats och tankar sitt arbetsredskap. Detta är en typisk hantering av drivmedelsförsörjningen till skogsmaskiner, men förekommer också till entreprenadmaskiner.

För transport till arbetsplats används egen transportkapacitet i form av pick-up/flakbil. Tankning i fält från 450-liters dieseltank för diesel och HVO eller 333-liters cistern för ED/MD95 och andra alkoholbränslen i brandklass 1. I figur 1 ses exempel på tankutformningar.



Figur 1. Varianter på bränsletankar. Foton © PK produkter.

En transporttank om 333 liter för alkoholbränslen räcker till förbrukningen under ca 14 timmar som kan beräknas till ca 221-287 liter om inte skotaren körs med större effektuttag. Maskinens bränsletank är i storleksordningen 145 liter. Marginalerna blir ganska små och det borde vara lönsamt att genomföra en tredagars ADR-kurs¹ för att kunna transportera en större mängd drivmedel än 333 liter. En genomförd ADR-utbildning berättigar till att transportera upp till 3000 liter drivmedel. Sedan sätter lastkapaciteten på exempelvis pickup en begränsning, men det finns flera som lastar upp till 1 000 kg. Transporteras det med långsamgående fordon, typ traktor, finns undantag. Då får man utan intyg transportera 3 000 l förpackat gods.

Om skotaren enbart körs under ett skift så borde även en hårt belastad arbetsmaskin, upp till motsvarande drygt 20 liter diesel per timma kunna försörjas med en 330 liters alkoholtank och metanol/etanol som drivmedel.

¹ ADR är ett Europa-gemensamt regelverk för transport av farligt gods på väg. Det är en förkortning för European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road. Den svenska versionen av regelverket heter ADR-S och ges ut av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB).

5.1.2 Typfall 2: Medelstor skala – Lantbruk och entreprenadverksamhet

Från drivmedelsproducent transporteras drivmedlet till större buffertdepå i fält alternativt direkt till fast etablerad gårdscistern rymmande 10 000 liter. Det innebär att en tankbil fördelar sin last till flera, kanske ca fem stycken olika gårdscisterner. Där tankas arbetsredskapen.²



Figur 2. Flyttbart 10 kbm tankställe. Foto © Ann-Louise Larsson.

5.1.3 Typfall 3: Storskaligt – Större lantbruk samt entreprenadverksamhet

Från drivmedelsproducent transporteras drivmedlet till tillfällig buffertdepå. Buffertdepån och tillfällig tankplats i form containerbaserat tankställe som rymmer 27 000 – 33 000 liter. I ekonomiberäkningen räknas med en cistern om 32 000 liter. Arbetsmaskiner tankas vid denna buffertdepå. En sådan anläggning kan försörja en stor arbetsplats med drivmedel. En tankbil om 54 kbm fördelar lasten till två buffertdepåer. En större arbetsplats som ska försörjas från en tankplats behöver en drivmedelsbuffert om ca 20 %.



Figur 3. Malte Fuel & Wash AB. Foto © Magnus Persson.

² En film på ett praktiskt exempel kan ses här:
<https://www.youtube.com/watch?v=m1lUt2eoyEI&feature=youtu.be>

5.2 SÄKERHET

Drivmedlens säkerhetsaspekter berör alla delar av hanteringskedjan. Från produktion till förbränning i motorn samt de emissioner som de ger upphov till. De allvarligaste är ämnets toxicitet, biologisk giftighet för människor, så kallad farobedömning, kemisk o miljömässig giftighet och brand- och explosionsrisker.

En hög flampunktstemperatur ger generellt sett ett ofarligare drivmedel sett ur explosions- och brandrisk. För att på något sätt utöva kontroll av hanteringen av dessa ämnen finns det lagar, förordningar, föreskrifter och allmänna råd. Framför allt är det MSB och SNV som ansvarar för dessa men också branschorgan. Tillsyn sker generellt sett av respektive kommun men också av Räddningstjänsten. Behållare för volymen 3 000 liter eller mindre betraktas som förpackningar. Överstiger volymen 3 000 liter är det en tank.

För att icke yrkesmässigt transportera drivmedel behövs inget ADR-tillstånd om volymerna i förpackningen understiger 450 liter HVO/diesel eller 333 liter bensen/etanol/metanol. Används långsamtgående fordon, 30 km/tim, är gränsen 3000 liter.

ADR-tillstånd erhålls efter en grundutbildning på tre dagar. Därefter får man transportera 3 000 liter bensen/etanol/metanol. För gårdscisterner om 3 000 liter eller mindre behövs inget ADR-tillstånd.

Vid hantering av brandfarliga varor krävs tillstånd enligt MSBFS 2013:3 för:

- > 100 liter brandfarliga vätskor med flampunkt högst 60 °C vid publik hantering
- > 500 liter brandfarliga vätskor med flampunkt högst 60 °C vid ej publik hantering inomhus
- > 3 000 liter brandfarliga vätskor med flampunkt högst 60 °C, ej publik utomhus eller öppen byggnad
- > 50 000 liter för brandfarliga vätskor med frampunkt 60-100 °C, ex. vis HVO (Räddningstjänsten Östra Skaraborg)

Tillstånd för brandfarlig vara söks hos respektive kommun, hos Räddningstjänsten alternativt kommunens samhällsbyggnadskontor eller liknande.

Det krävs även anmälan till kommunens miljökontor (Miljöprövningsförordning 2013:251) samt (NFS 2017:5) för installation av cisterner som rymmer mer än 1 kbm brandfarlig vätska enligt NFS 2017:5 om verksamheten inte är tillståndspliktig. Det kan krävas bygglov för att inrätta, flytta eller väsentligt ändra vissa fasta cisterner och andra fasta anläggningar. Se också ”Kategorisering av verksamheter” i miljöprövningsförordningen. Så kontakt med kommunens bygglovsenhet är nödvändigt (Plan- och byggförordning 2011:338).

Besiktning av cisterner för diesel sker vart tredje (3), sjätte (6) eller tolfte (12) år beroende på om tanken är målad invändigt, och står i ett vattenskyddsområde eller inte. Om den är omålad i vattenskyddsområde ske besiktning ske vart tredje år. Är den omålad utanför vattenskyddsområde sker besiktningar vart sjätte år och är den målad utanför vattenskyddsområde sker det vart 12 år.

För alkoholblandningar, som t.ex. ED95 och E85, så gäller att deras egenskaper kommer att påverkas både av den ingående alkoholen och av övriga ingående bränslen. Sambanden mellan halt och egenskaper är dock inte nödvändigtvis linjära. Ett exempel, där detta avsiktligt är fallet, är att användningen av tändförstärkare i ED95 drastiskt påverkar dess antändlighet.

5.3 BRANDRISK

Både metanol och (i högre grad) etanol i gasfas har högre densitet än luft, men mindre än diesel och bensin i gasfas. De kommer alltså att, i avsaknad av andra gasrörelser som t.ex. turbulens, att lägga sig längs underlaget, med ökad risk för antändning m.m. Dock är deras förångningsentalpi (1 104 kJ/kg för metanol, 941 kJ/kg för etanol) tämligen höga, vilket medför att enbart en mindre mängd är i gasfas vid rumstemperatur. Antändningsenergierna för alkoholer (0.14 mJ för metanol och 0.28 mJ för etanol) är jämförbara med de för diesel/bensin (~0.3 mJ).

Ur säkerhetssynpunkt är en viktig skillnad mellan alkoholer och diesel/bensin att alkoholer brinner med lågor som är svåra att se (etanol) eller i stort osynliga (metanol). Detta beror på att alkoholernas syreinhåll för med sig att de producerar mindre mängd sot jämfört med bränslen som inte innehåller syre. Sotets svartkroppsstrålning producerar ett tämligen starkt ljus med gult sken, som är betydligt starkare än det ljus som frigörs när de gasformiga förbränningsprodukterna bildas. Detta behöver dock inte vara något större problem då det räcker att tillsätta något som producerar en synbar flamma till alkoholbränslena (ett skäl till användningen av E85 snarare än E100 är att bensinen bidrar till en synbar flamma).

Olika bränder ställer olika krav på det medel som används för att släcka branden. Alkoholer räknas till klass B. Dessa bränder är olämpliga att försöka släcka med vatten eftersom temperaturen är så pass hög att vattnet förångas. Ångan expanderar snabbt, vilket medför att elden kan spridas. Därför används istället medel som bildar en film som separerar bränsle och luft, så att dessa inte längre kan reagera och upprätthålla branden. För att de ska kunna göra detta ställs krav på skummets förmåga att separera bränsle och luft, att vara stabilt vid uppvärmning och att ha en låg ytspänning för effektiv spridning. Att alkoholer är polära är ytterligare en faktor att beakta (FFFM, 2016). Det finns skum framtagna för att vara motståndskraftigt vid alkoholbränder ("Alcohol-resistant aqueous film-forming foams", AR-AFFF). Hos dess reagerar en sampolymer med bränslet och bildar ett polymeriskt membran som separerar bränsle och luft/ånga (Volkert, 2015).

Även om rena alkoholer är mycket brandfarligt så kan det släckas med vatten och räknas som säkrare än till exempel bensin. Men där alkoholer är utblandat med exempelvis bensin så används skum som lägger sig som ett täcke och kväver elden (Räddningstjänsten Östra Skaraborg). På traktorer nyregistrerade efter den 1 januari 1996 finns krav på pulversläckare (Brandskyddsföreningen).

5.4 HUMANTOXICITET

Metanol metaboliseras i levern, där det bryts ner till formaldehyd och myrsyra. Dessa kan orsaka acidos (blodets pH sjunker till farligt låga nivåer), ögonskador och skador på centrala nervsystemet. (Janusinfo, 2019). Även relativt små mängder kan vara farliga vid direkt konsumtion, det finns fall där 10 ml orsakat blindhet och 30 ml kan vara potentiellt dödligt (Vale, 2007). Även diesel är potentiellt dödligt vid direkt konsumtion (Cheng & Keong, 2017).

Både metanol och etanol är vanliga kemikalier som används brett i samhället, med väl utarbetade lagar, regler och riktlinjer. Risken för att någon dricker bränslet, eller på annat sätt använder det olämpligt, ökar dock sannolikt p.g.a. att drivmedelsstölder är relativt vanligt förekommande i dagsläget. Det anmäls årligen ungefär 3 000 stölder av diesel ur fordon och drygt 300 stölder från större tankar (Bodensjö, 2018). Till detta tillkommer sannolikt ett relativt stort antal stölder som inte anmäls. Genom att tillsätta denatureringsmedel och färgsätta drivmedlet går det att motverka och avskräcka mänsklig konsumtion.

Människor kan känna lukten av etanol vid koncentrationer på 100 ppm eller mer i luft. Hälsoeffekter är kända vid luftkoncentrationer på över 3 000 ppm, varför risken för hälsoeffekter genom lufttransporten generellt bör vara liten. Gränsvärdet för långvarig exponering (1 000 ppm) är högre för etanol än för metanol (200 ppm) och bensin (300 ppm). Vid etanolspillolyckor skall andningsskydd (SCBA) användas (Stoker, 2015 och Shaw, 2011).

5.5 EKOTOXICITET

Alkoholer är till skillnad från diesel och bensin lösliga i vatten. Metanol och etanol bryts ner snabbt i mark, grund- och ytvatten (Stokes, 2005). Halveringstiden för etanol i dessa miljöer uppskattas till mellan 0,1 och 10 dagar. Om det finns risk för spridning till känsliga miljöer är det därför viktigt med snabba åtgärder.

Nedbrytningen av etanol konsumerar syre om det finns tillgängligt och producerar metan om syre inte finns tillgängligt. Detta kan leda till syrebrist i vatten och en explosionsrisk om processen sker i slutna områden under jord, där metankoncentrationerna kan nå höga nivåer. Vid spillolyckor med etanol har det vanligen tagit flera månader innan syrebrist (och metanproduktion) detekterats, det finns dock exempel på fall där utsläpp till ytvatten orsakat fiskdöd p.g.a. syrebrist. Om det finns risk för detta kan åtgärder vidtas för att syresätta vattnet (Shaw, 2011). Metanol och etanol anser inte vara toxiska i sig för vattenlevande djur och växter (Stokes, 2005).

Om etanol ingår i en blandning med bensin (som t.ex. E85) kan den bidra till att minska viskositeten hos bensinen och därmed bidra till att den lättare sprids. Den kan även påverka den hastighet med vilken bensinen bryts ner, dock är existerande studier motsägelsefulla, med stöd både för minskad och ökad nedbrytning (Shaw, 2011).

5.6 PRAKTISK HANTERING

Metanol och etanol har låga fryspunkter (-97.5 respektive -114 °C). De kan därför lagras och användas även i kalla klimat. För FAME kan dess relativt höga fryspunkt (varierande beroende på råvara, men kan närma sig 0 °C) vara ett problem och inblandning av alkoholer användas för att minska fryspunkten.

Även om erfarenhet av och kunskap om hantering av alkoholer som metanol och etanol är utbredd i samhället finns det risker som behöver beaktas om drivmedelshanteringen av alkoholer ökar. En är att invanda normer rörande hantering av diesel inte kan tillämpas på hantering av alkoholer som drivmedel eftersom alkoholer har andra egenskaper och större brandrisk än diesel. Det är också stor skillnad på att hantera små mängder av alkohol, t.ex. i spritkök, som att göra det i större volymer,

t.ex. i bränsletankar. Det är därmed viktigt med relevant, tydlig och praktisk information om hantering av alkoholer och skillnaderna gentemot diesel.

Även tillståndssidan behöver kunskaper om hantering av nya drivmedel. Med bara ett litet antal ärenden gällande tillstånd för alkoholer som drivmedel hinner rutiner inte upparbetas utan varje ärende blir unikt. För handläggare skapas ingen erfarenhets- och kunskapsbas. Vid en bredare introduktion av alkoholer behöver information, utbildning och vägledning riktas till tjänstemän som praktiskt hanterar eller ska hantera dessa ärenden. Det kan vara befogat med en viss förenkling och samordning av de olika tillståndsärenden som behövs, inte för att minska kontrollen utan för att öka förståelsen av vad som krävs och hur det ska uppnås. Detta kan omfatta både handläggare och de som ansöker om tillstånd. Totalt sett kan det gynna införande och användning av förnybara drivmedel, och göra processen billigare.

6 EKONOMISK UTVÄRDERING

6.1 BAKGRUND/SCENARIER

Den ekonomiska utvärderingen utgår från de tre typfallen som tidigare presenterats. Typfallen representerar olika transportförhållande men också maskintyper och användningsområden. Södertälje har goda transportförhållande, Skara ligger ganska bra till men inte riktigt nära till något medan Skellefteå får representera en plats med långa lastbilstransporter för drivmedelsförsörjning.

Eftersom marknadsaktörer kontaktats och bidragit med information samt prisuppgifter och dessa ofta är känslig affärsmässig information utelämnas direkta referenser till uppgiftslämnare. De källor/organisationer som bidragit med faktauppgifter finns med i rapportens referenslista.

6.2 ICKE MONETÄRA ASPEKTER

Alkoholer är på olika sätt naturligt förekommande i naturen och bryts därför lätt ned. Som exempel används metanol, men också i viss mån etanol, vid reningsverk för att förse nedbrytande mikroorganismer med kol som energikälla. Denna positiva miljöaspekt jämfört med diesel är svår att sätta generella monetära termer på om det inte utförs direkta fallstudier.

En annan aspekt är flexibilitet och försörjningstrygghet. Etanol och metanol kan användas parallellt i motorer även om det kanske inte är optimalt drivmedel tekniskt samt i olika motortyper och kan produceras från olika källor. Källor allt ifrån artificiell fotosyntes och elektrobränsle till biomassa, restprodukter från livsmedels- och skogsindustri, biogas från sopor och till sist från fossilt ursprung som naturgas och kol. Att alkoholer på detta sätt både kan ingå i den cirkulära ekonomin genom användning av restprodukter, recirkulera CO₂, men också nyproduceras från till exempel biomassa samt produceras från fossila källor som kol, olja och gas ger en försörjningstrygghet både för brukare och för samhället. Även denna försörjningstrygghet är svår att sätta monetära termer på utan ett ganska omfattande arbete. Dessutom är metanol en utmärkt energibärare för bränsleceller vilket är något som kan passa bra in i ett framtida el-samhälle. Inget monetärt värde har satts på dessa positiva egenskaper.

6.3 ANVÄNDA PRISER

De priser som används är dels från olika marknadsaktörer, dels från litteratur. Från dessa har sedan aktuella normpriser beräknats och använts. Priserna är exklusive moms. Som beräkningsgrund för drivmedel används priser från Furusjö et al (2018), som sedan framräknats till använda priser.

För ränteberäkning används årsränta om 5 %. Vald räntesats kan alltid diskuteras. Även om räntetillståndet i dagsläget är lågt för att låna till fastighetsköp, får ofta företag betala en jämförelsevis hög ränta, ibland betydligt över vald räntesats.

Avskrivningstid för cisterner är satt till tolv år vilket är detsamma som den längsta möjliga perioden mellan besiktningar av cisterner. Övrig utrustning avskrivs på fem år.

Underhåll beräknas till 2 % av inköpspris för alkoholer och alkoholbaserade drivmedel och för HVO och diesel till 1,5 % eftersom de senare är mindre korrosiva mot material, trots att det enligt företag som arbetar med drifttillsyn och underhåll inte skiljer sig åt mellan drivmedlen vare sig

tidsmässigt och ekonomiskt. Detta beror troligen på att rätt – och kanske dyrare – material använts för hanteringsutrustning till de olika drivmedlen. Då fångas den kostnaden upp genom ränta och avskrivning. Det som generellt ökar kostnaderna för drift och underhåll är användningsfrekvensen, exempelvis antalet tankningar per år.

Kostnaderna för arbetsmaskinernas bränslesystem, bränsletank, ledningar, insprutningssystem och motorer skiljer inte mellan de olika drivmedlen. Om en maskin dedikerad för en viss typ av drivmedel introduceras på marknaden, kommer kostnaden för tekniken delas på många tillverkade och försålda maskiner, därmed också drivmedelssystemet. Därför ställs dessa kostnader lika.

Som beräkningsgrund för drivmedelspriser används de priser som redovisas i Furusjö et al. (2018) eftersom de är relativt färskas och därmed relevanta även om de inte är aktuella marknadspriser. Dessa priser har omarbetats för de olika blandningarna av drivmedel som redovisas (Tabell 8).

Tabell 8. Drivmedelspriser från Furusjö et al 2018, där högre värmevärdet, HHV används. Källa till noterna: Energimyndigheten 2017.

	Scenario 2018		not
	SEK/kg	SEK/MWh	
Fossil diesel	4,53	356	*
HVO 100	8,72	713	*
Etanol	6,72	810	**
Metanol	5,15	810	**
* Referenspris Sverige 2016 inkl. bruttomarginal, exkl. skatter.			
** Medelpris etanol T" FOB ARA 2016 metanol antas ha samma pris på energibäsa.			

Konventionell diesel används som referensbränsle på grund av sin dominerande användning. De i rapporten använda drivmedelspriserna redovisas i **Fel! Hittar inte referensskälla..** Aktuella marknadspriser från Circle K och Metanex redovisas i tabell 9. Marknadspriserna vid publika tankställen inkluderar både handelsmarginaler och full kostnadstäckning. Därför är de ungefär fördubblade jämfört med de i rapporten använda priserna.

Tabell 9. Marknadspriser på bränsle. Priser från Circle K gäller för 16-22 december 2019. Publika tankställen, Miles Diesel är 7 % RME samt MK1. Metanol, Methanex Europapris hösten 2019.

Produkt	Marknadspriser		
	kWh/L	SEK/kWh	SEK/L
Miles Diesel	9,45	1,39	13,12
HVO 100	9,45	1,43	13,55
ED 95	5,9	1,94	11,45
Metanol	4,4	0,53	2,32

Eftersom det av marknadsskäl inte tillgängliggjorts något pris för de funktionsförbättrande tillsatserna i ED95 är det priset beräknat. Samma additiv används för MD95, vilken verifierats fungera i projektet SUMMETH (Ellis et al 2018; Tuner 2017; Tunér et al 2018). Det finns flera olika beskrivningar av vad ED95 innehåller. Enligt Scania består ED95 av 94 % m/m eller 95,5 % v/v vät etanol innehållande ca 6 % vatten och 6 % m/m eller 4,5 % v/v funktionsförbättrande tillsatser/additiv. Från Agroetanols säkerhetsdatablad: >90 % etanol, 1-5 % av vardera MTBE och polyetylenglykol och <1 % av vardera 1-butanol, morfolin och etoxyleradfettamin.

I etanolen som används till ED95 ska vattenhalten vara mellan 4,5–7,54 % m/m enligt SS 155437:2015 och densiteten 807–815 kg/m³. I rapporten räknas med 6 % vattenhalt och densiteten 811 kg/m³. Det beräknade priset för additiven är ca 28 kr/liter alternativt ca 25,5 SEK/kg eller ca 1,26 SEK/liter ED95. I beräkningarna är både ED95 och Etanol 100 % våt etanol som innehåller 6 % vatten. Övrig etanol liksom metanol är torr, och innehåller inget vatten.

Tabell 10. Sammanställning av de i rapporten använda drivmedelspriserna. (Grundvärden är från tabell 7 ovan.).

Drivmedel	SEK/kg	SEK/KWh	Kg/L	SEK/L	kWh/L
Diesel	4,53	0,356	0,810	3,67	10,31
HVO 100	8,72	0,713	0,780	6,80	9,54
Etanol låginblandning 5%, 95% fossil*	4,64	0,379	0,809	3,75	9,91
Metanol låginblandning 3%, 97 % fossil*	4,55	0,370	0,809	3,68	9,96
Etanol 100 %, 6 % vatten **	6,32	0,862	0,811	5,12	5,95
Metanol 100 % **	5,15	0,810	0,792	4,08	5,04
ED95 Etanol 88 %, vatten 6 % + additiv ***	7,44	0,920	0,820	6,10	5,59
MD 95 Metanol, 94 % + additiv ***	6,37	0,862	0,810	5,16	4,73
* Beräknat värde från diesel och metanol/etanol.					
** Här används våt etanol innehållande 6 % vatten och torr metanol.					
*** Beräknade värden från etanol 100 respektive metanol 100 och samma energivärde som dessa. Additiv inte givits något energivärde och priset beräknat.					

Kostnaderna för drivmedelstransporter i tankbilar är generellt sett lika per transporterad volym. Däremot skiljer sig kostnaden åt per transporterad mängd energi, beroende på drivmedlets energitäthet (se tabell 12). Därför ökar priset per transporterad kilowattimme ju lägre energidensitet energibäraren har.

Eftersom transportörer använder medelpriser för transporter till kund för att utjämna transportkostnader, är transportpriserna räknade på tankbilstransport till respektive Skellefteå, Skara och Södertälje. För transport till cisterner om 10 m³ är frakten i Mellansverige (Skara/Södertälje) ca 0,3 SEK/L och i norr (Skellefteå) ca 0,65 SEK/L för ca 1 000 km transport. Tre olika prisintervall beräknas; mindre än 400 km, över 900 km och mellan 400-900 km (se tabell 11). För transport där hela lasten, ca 48 000 liter, går till en plats, sjunker priset något. Även då en och samma köpare köper hela lasten, men lossar på några få näraliggande platser, sjunker priset något men ändå marginellt.

Tabell 11. Beräknat pris (SEK/L) för drivmedelstransporter. Tre prisklasser, >400, 400-900, 900<km, enligt tabell 5. Transport från olika produktionsplatser till olika förbrukningsplatser.

Användning	Bränsle Ort (anv.\prod.)	HVO Göteborg	Metanol Mönsterås	Etanol Örnsköldsvik	Etanol Norrköping
Jordbruk, traktor	Skara	0,3	0,3	0,45	0,3
Skogsbruk, skotare	Skellefteå	0,65	0,65	0,3	0,65
Entreprenad, hjullastare	Stockholm	0,45	0,3	0,45	0,3

För den vidaretransport som sker vid typfall 1 från drivmedelsdepå ut till maskin inkluderas den kostnaden inom normal verksamhet, arbetstid och transportkostnad och är relativt lika för alla drivmedel, även om det transportarbetet ökar med ca 2,2 gånger för det energifattigaste drivmedlet jämfört med det energirikaste. För exemplet skotare ökar transportbehovet från 22 m³/år till

49 m³/år eller med drygt 26 m³/år. Endast kostnaden för utrustningen, ränta, avskrivning och underhåll för den småskaliga pickuptanken tas med.

För den som vill transportera större volym drivmedel än 450/333 liter per transport behövs certifiering. Tre dagars ADR-utbildning plus ca 3,5 timmars webbutbildning för att transportera mer än 333 liter klass 1-vara kostar ca 5 700 SEK plus deltagarens tid och uppehälle.

Tabell 12. Produktprisets andel av totalpriset (produkt och transport) för olika drivmedel och transportavstånd enligt tabell 10.

Drivmedel	kWh/L	kWh/48 m ³	0,3 SEK	0,45 SEK	0,65 SEK
Diesel	10,31	494 880	92%	89%	85%
HVO 100	9,54	457 920	96%	94%	91%
Etanol låginblandning 5%, 95% fossil	9,91	475 680	93%	89%	85%
Metanol låginblandning 3%, 97 % fossil	9,96	478 080	92%	89%	85%
Etanol 100 %, 6 % vatten	5,95	285 600	94%	92%	89%
Metanol 100 %	5,04	241 920	93%	90%	86%
ED95 Etanol 88 %, vatten 6 % + additiv	5,59	268 320	94%	92%	89%
MD 95 Metanol, 94 % + additiv	4,73	227 040	93%	90%	86%

Cisterner för lagring av olika drivmedel har ganska stora kostnadsskillnader på grund av att de olika kemikalierna är klassade i olika riskkategorier samt är korrosiva på olika sätt. Det finns en många olika leverantörer av cisterner. Cisterner är gjorda i olika material samt med olika ytbehandlingar. Prisskillnaderna är därför relativt stora mellan olika leverantörer.

Generellt så är det en ökande kostnadsnivå från konventionella diesalcisterner till cisterner för metanol, Diesel < HVO < Etanol < Metanol. De använda prisnivåerna redovisas i tabell 13.

Tre exempel på anläggningar med aktuella priser som levererades under 2019 redovisas. Till de redovisade priserna tillkommer grundarbete och framdragnings av el. Det är containermoduler som levereras nyckelfärdiga på plats. Exempel på anläggningar är:

- Buffertdepå och tankställe, brandfara klass 2 (diesel, HVO). Volym 32,8 m³ drivmedel, diesel alternativt HVO och 4 m³ adblue. (L 9,2 m x B 2,99 x H 3,39 m). Pris ca 1,35 MSEK.
- Buffertdepå och tankställe för drivmedel i brandfara klass 1 (bensin, alkoholer) ca 1,5 MSEK. (L 10 m x B 2,99 x H 3,39 m). Exempel tankställe för 7,2 m³ ED95, 9,2 m³ HVO/RME och 17,6 m³ diesel. Pris ca 1,5 MSEK.
- ICB tankställe 1 m³ plus pump för alkoholer i låsbar plåtlåda 215 000 SEK.

För enklare cisterner finns en mängd leverantörer, material och utförande att välja mellan. För cisterner som redovisas i form av använda priser bedöms vara av god kvalitet och därmed inte de absolut billigaste på marknaden. Gällande HVO fanns en del osäkerhet bland leverantörer eftersom det är relativt okänt hanteringsmässigt. Detsamma gäller skillnaden mellan etanol och metanol. Eftersom etanol förekommer på ett helt annat sätt genom E85 och E95 finns det en betydligt djupare kunskap än vad som gäller metanol. Därför är prisnivån för metanalcisterner troligen i den dyrare halvan av prisintervallet.

Tabell 13. Använda priser för cisterner i ekonomiberäkningar. Pumputrustning för drivmedlen är indelade i två grupper, en för diesel/HVO och en för alkoholer metanol/etanol. Priserna som använts är 5 495 SEK respektive 7 172 SEK.

Använda priser, SEK, Cisterner				
Storlek liter	Diesel	HVO	Etanol	Metanol
333			90 000	119 000
450	31 200	31 200		
10 000	159 000	159 000	236 000	266 000
32 000	336 000	336 000	498 000	561 000

6.3.1 Tillstånd

Tillstånd för att lagra brandfarliga vätskor söks hos räddningstjänsten som organisatoriskt ligger som en kommunal verksamhet. Därför skiljer sig priserna åt beroende på kommunen. I exempelvis är grundavgiften 3 000 SEK. Till det tillkommer en handläggningskostnad på 910 SEK/h för hantering av ärendet. Oftast räcker åtta timmar om ansökan är korrekt ifylld. Tillståndsansökan ska redovisa alla brandfarliga ämnen, inklusive gasolflaskor och andra drivmedel. Ansökan ska också ange en anläggningsföreståndare och inkludera områdes- och riskplan.

Enligt NFS 2017:5 ska anläggningsägaren informera tillsynsmyndigheten, kommunens miljökontor, minst fyra veckor innan installationen påbörjas av cisterner som rymmer mer än 1 m³ brandfarlig vätska eller spillolja (inom vattenskyddat område går gränsen för C-anläggningar vid 250 liter). Handläggningsavgift kan variera om anläggningen ligger inom eller utanför vattenskyddsområde. Skövde kommun har en fast handläggningsavgift inom vattenskyddsområde på 1 009 SEK och utanför vattenskyddsområde på 3 027 SEK. För handläggning av anmälan om miljöfarlig verksamhet beror avgiften på hur lång tid handläggningen tar, timtaxan är 1 009 SEK.

Generellt krävs byggnadstillstånd för att etablera en fast cistern. Undantaget är om det är för fastighetens behov, som en cistern för drivmedel till ett lantbruk. Inte heller en entreprenadplats för en tillfällig cistern behöver byggnadstillstånd. Kostnaden för en bygglovsansökan uppgår generellt till kostnaden för tiden för handläggning. Taxan varierar mellan olika kommuner. I Skövde tar ett typiskt handläggningsärende ca fyra timmar, vilket ger en kostnad på mellan 3000–4000 SEK (uppgift från Skövde kommun).

6.3.2 Besiktning av cisterner

Cisterner besiktigas vart tredje, sjätte eller tolfte år. I tillståndet står hur ofta cisternerna måste besiktigas. Man kan via materialval eller epoxibehandling förlänga tiderna upp till tolv år mellan besiktningarna. Det är dock inte samma epoxibehandling för diesel, HVO, etanol, metanol eller för blandningar. Eftersom ingen idag vet vilka drivmedel som kommer användas om tre eller sex år kan det vara lönsamt med en cistern utan epoxibehandling, vilket innebär kortare besiktningsintervall. Besiktningen tar ca fyra timmar att genomföra, förutsatt att cisternen är tömd.

Som framgår av tabell 14 är tillstånds- och tillsynskostnaderna betydligt högre för alkoholer än för diesel (kostnaden är ca 320 % högre). Dessutom finns hos handläggare en stor osäkerhet när det gäller handläggning och tillståndsgivning för andra drivmedel än diesel. Det grundar sig i ovana och bristande rutiner i handläggningen för drivmedel som inte är dagens konventionella.

Tabell 14. Exempelkostnader för tillstånd och tillsyn i SEK.

	<u>Diesel</u>	<u>HVO</u>	<u>Etanol</u>	<u>Metanol</u>
Tre dagars ADR-utbildning			5 700	5 700
Räddningstjänsten, grundavgift			3 000	3 000
Räddningstjänsten, handläggning*			7 280	7 280
Anmälan miljöfarlig verksamhet (anläggningar <5 000 t) **	3 027	3 027	3 027	3 027
Byggnadstillstånd***				
Cisternbesiktning vart 12:e år, 10 m ³ (kostnad per besiktning) ****	6 580	6 580	11 740	11 740
Cisternbesiktning vart 12:e år, 32 m ³ (kostnad per besiktning) ****	11 680	11 680	17 130	17 130
Exempel, sammanräknat för 10 m³	9 607	9 607	30 747	30 747
* Räknat med 8 timmar. ** Enbart handläggning av anmälan, beräknat 3 timmar. Timavgift vid eventuell tillsyn. *** Byggnadstillstånd behövs inte för använda typfall. **** Troligtvis fler besiktningar per 12-årsperiod för alkoholer, beroende av tillstånd.				

6.3.3 Drivmedelsförbrukning

Drivmedelsförbrukningen och antalet arbetade timmar totalt och per dag ger underlag för belastningen på drivmedelsförsörjningen. För att få samma källa för indata användes en och samma rapport till bakgrund för dessa även om det för enskild maskintyp finns nyare indata.

- Traktor 75–130 KW = 3 760 l/år. Drifttid ny traktor 500 timmar/år. Ger ca 7,52 l/tim
- Skotare 75–130 KW = 22 340 l/år. Drifttid ny skotare 2 550 tim/år. Ger ca 8,76 l/tim
- Hjullastare 75–130 KW = 15 713 l/år. Drifttid ny hjullastare 1 400 tim/år. Ger ca 11,22 l/tim

Flest sålda maskiner under perioden 2000–2006 var inom intervallet 75–130 KW utom för lantbrukstraktorer där de flesta var inom effektintervallet 37–75 KW. Men inom lantbruket sker övergången till större traktorer mycket snabbt och under 2018 var 76 % av sålda traktorer över 72 KW samtidigt som gamla traktorer finns kvar mycket länge i maskinparken.

Tabell 15. Energiförbrukning från rapporten *Utsläpp från större dieseldrivna arbetsmaskiner* (Wetterberg et al 2017).

	<u>Diesel</u>		<u>HVO</u>	<u>Etanol</u>	<u>Metanol</u>
Energiinnehåll, kWh/l:	10,31		9,54	5,95	5,04
	<u>l/h</u>	<u>kWh/ tim</u>	<u>l/h</u>	<u>l/h</u>	<u>l/h</u>
Skotare:	8,76	90,32	9,5	15,2	17,9
Hjullastare:	11,22	115,71	12,1	19,4	23,0
Lantbrukstraktor:	7,52	77,53	8,1	13,0	15,4

Som visas i tabell 15 blir drivmedelsförbrukningen i liter ungefär dubbelt så stor för alkoholer som för diesel vilket naturligtvis påverkar hela distributionskedjan. Det finns en tendens att arbetsmaskinernas effektsegment och därmed drivmedelsförbrukning ökar över tid. Ökningen för skotare var 9 % mellan åren 2009–2012. Observera att drivmedelsförbrukningen i tabell 14 är genomsnittlig förbrukning för det totala antalet årstimmar maskiner i den storlekskategorin är använd. Det innebär att det vid enskilda arbetsmoment och för enskilda maskiner kan förbrukas

betydligt mer eller mindre. Ett exempel är om en skotare skotar virke över mossmark eller om det sker över fasta tallhedrar.

Tabell 16 visar en sammanställning över de olika arbetsmaskinerna, årsarbetstid, energiförbrukning, cisternvolym samt hur många dagar en cistern räcker uttryckt som dagar per tank. Årsförbrukningen av drivmedel skiljer sig markant åt främst beroende av årsarbetstiden medan förbrukningen per arbetstimme har ett snävare intervall.

Tabell 16. Grunddata för energiåtgång som bakgrund till ekonomiberäkningar för de olika typfallen.

	<u>Timmar</u>	<u>Liter/h</u>	<u>Dagar</u>			
Drift Skotare	2550	8,76	182	<u>Årsförbrukning kWh:</u>		230 305
OBS 2skift=14 tim/dag	<u>kWh/år</u>	<u>L/år</u>	<u>L/dag</u>	<u>L/h</u>	<u>Cisternvolym</u>	<u>Dagar per cistern</u>
Diesel	230 305	22 338	123	8,8	450	3,7
HVO 100	230 305	24 141	133	9,5	450	3,4
Etanol 100	230 305	38 707	213	15,2	333	1,6
Metanol 100	230 305	45 695	251	17,9	333	1,3
ED 95	230 305	41 199	226	16,2	333	1,5
MD 95	230 305	48 690	268	19,1	333	1,2
Drift Hjullastare	1 400	11,22	200	<u>Årsförbrukning kWh:</u>		161 949
	<u>kWh /år</u>	<u>L /år</u>	<u>L/dag</u>	<u>L/h</u>	<u>Cisternvolym</u>	<u>Dagar per cistern</u>
Diesel	161 949	15 708	79	11,2	32 000	407
HVO 100	161 949	16 976	85	12,1	32 000	377
Etanol 100	161 949	27 218	136	19,4	32 000	235
Metanol 100	161 949	32 133	161	23,0	32 000	199
ED 95	161 949	28 971	145	20,7	32 000	221
MD 95	161 949	34 239	171	24,5	32 000	187
Drift Lantbrukstraktor	500	7,52	60	<u>Årsförbrukning kWh:</u>		38 766
	<u>kWh /år</u>	<u>L /år</u>	<u>L/dag</u>	<u>L/h</u>	<u>Cisternvolym</u>	<u>Dagar per cistern</u>
Diesel	38 766	3 760	63	7,5	10 000	160
HVO 100	38 766	4 063	68	8,1	10 000	148
Etanol 100	38 766	6 515	109	13,0	10 000	92
Metanol 100	38 766	7 692	128	15,4	10 000	78
ED 95	38 766	6 935	116	13,9	10 000	87
MD 95	38 766	8 196	137	16,4	10 000	73

I hjullastarexemplet är scenariot att det ska gå flera stycken arbetsmaskiner som utnyttjar samma drivmedelscistern på en större entreprenad även om det i de ekonomiska kalkylerna endast avser en maskin. I tabellerna 18–20 för typfall 1–3 redovisas kostnaden för ränta, avskrivning och underhåll för de olika maskinerna i respektive typfall per kWh och per liter.

För den enskilde företagaren för användning av alkoholbaserade drivmedel med sig både större drivmedelsvolymmer att hantera och större kostnader för bränslehantering jämfört med diesel. Skatter och avgifter utjämnar dessutom en del av kostnaderna gällande själva drivmedlet (se tabell 17).

Tabell 17. Skattesatser.

<u>Drivmedel</u>	<u>Energiskatt (SEK/liter)</u>	<u>Koldioxidskatt (SEK/liter)</u>	<u>Summa skatt (SEK/liter)</u>
Diesel miljöklass 2	2,694	2,236	4,930
	Skatteavdrag i %		
ED95, avdrag för etanol, andel som kommer från biomassa	100%	100%	
HVO höginblandning	100%	100%	
Etanol från biomassa i E85	100%	100%	
Etanol låginblandat i bensin	0%	0%	Finns ej i diesel
För jord- och skogsbruket återbetalning, del av CO ₂ -skatt		1930 SEK (gäller 2020)	

6.4 RESULTAT

Resultaten i form av ekonomiskt utfall för de olika scenarierna och drivmedel kan användas som en slags känslighetsanalys och som slutligen sammanfattas som en kostnad per borttaget kilo koldioxidekvivalent. De olika maskinerna har olika antal driftstimmar, energiförbrukning och kostnader för sin drivmedelsförsörjning. Det innebär att det är svårt att jämföra de olika maskinerna med varandra medan drivmedlen kan jämföras sinsemellan för varje arbetsmaskin och scenario.

I tabellerna 18-20 redovisas kostnaden för ränta, avskrivning och underhåll för de olika maskinerna i respektive typfall per kWh och per liter.

Typfall 1: Småskaligt – Skogsbruk, lantbruk, entreprenad

Från drivmedelsproducent transporteras drivmedlet till drivmedelsdepå (mack/bensinstation). För transport till arbetsplats används egen transportkapacitet i form av pick-up/flakbil.

Tabell 18. Kostnad (SEK) för ränta, avskrivning, underhåll gällande typfall 1 (Småskaligt, pickup, cisterner).

	Diesel	HVO	Etanol 100	Metanol 100	ED 95	MD 95
Skotare SEK/kWh	0,02	0,02	0,05	0,07	0,05	0,07
Skotare SEK/L	0,18	0,17	0,31	0,35	0,29	0,33
Hjullastare SEK/kWh	0,02	0,02	0,07	0,10	0,07	0,10
Hjullastare SEK/L	0,25	0,24	0,44	0,50	0,41	0,47
Traktor SEK/kWh	0,10	0,10	0,31	0,41	0,31	0,41
Traktor SEK/L	1,06	0,99	1,84	2,08	1,73	1,95

Tankning av 450 liter diesalcistern för HVO/diesel, brandklass 3 eller 333-liters cistern för ED/MD 95 för brandklass 1. Bränsletanken på skotare har en volym på 120–220 liter vilket innebär att drivmedelsvolymen gällande alkoholer knappt räcker en hel arbetsdag. I detta typfall kan det uppträda två kostnader för lagring; lagring på drivmedelsdepå alternativt gårdscistern om 10 m³, och lagring i småskalig transporttank på en pick-up. För en entreprenör med gårdscistern adderas kostnaderna för småskalig förpackning och gårdscistern. Exempel för skotare och metanol: 0,07 SEK (metanol 100, tabell 18) + 0,16 SEK/kWh (Metanol 100, tabell 19) = 0,23 SEK/kWh eller 1,16 SEK/L.

Typfall 2: Medelstor skala – Lantbruk och entreprenadverksamhet

Från drivmedelsproducent transporteras drivmedlet till drivmedelsdepå alternativt direkt till gårdscistern/containercistern rymmande 10 000 liter. Tabell 19 visar kostnad gällande en gårdscistern om 10 m³.

Tabell 19. Kostnad (SEK) för ränta, avskrivning, underhåll gällande typfall 2 (Mellanstorlek, gårdscistern 10 m³).

	Diesel	HVO	Etanol 100	Metanol 100	ED 95	MD 95
Skotare SEK/kWh	0,09	0,09	0,14	0,16	0,14	0,16
Skotare SEK/L	0,95	0,88	0,85	0,81	0,80	0,76
Hjullastare SEK/kWh	0,13	0,13	0,20	0,23	0,20	0,23
Hjullastare SEK/L	1,35	1,25	1,20	1,15	1,13	1,07
Traktor SEK/kWh	0,55	0,55	0,85	0,95	0,85	0,95
Traktor SEK/L	5,63	5,21	5,03	4,78	4,73	4,49

Typfall 3: Storskaligt – Större lantbruk samt Entreprenadverksamhet

Buffertdepån och tillfällig tankplats som rymmer 32 000 liter. Arbetsmaskiner tankas vid denna buffertdepå. Detta exempel är tänkt för en större entreprenad som avseende maskiner motsvarande tio hjullastare i energiåtgång.

Tabell 20. Kostnad (SEK) för ränta, avskrivning, underhåll gällande typfall 3 (Storskalig 32 m³ cistern).

	Diesel	HVO	Etanol	Metanol	ED 95	MD 95
Skotare SEK/kWh	0,19	0,19	0,31	0,34	0,31	0,34
Skotare SEK/L	2,00	1,86	1,82	1,73	1,71	1,62
Hjullastare SEK/kWh	0,28	0,28	0,44	0,49	0,44	0,49
Hjullastare SEK/L	2,85	2,64	2,59	2,46	2,43	2,30
Traktor SEK/kWh	1,16	1,16	1,82	2,04	1,82	2,04
Traktor SEK/L	11,91	11,02	10,82	10,26	10,17	9,63

Kostnaden för tillstånd och tillsyn för drivmedelscisterner uppgår till mellan 3,5-ca 6 % av kostnaden för cisterner. Sedan slås detta ut på förbrukad mängd drivmedel. Uppgifterna som ligger till grund för dessa beräkningar är mycket osäkra eftersom kommuner har olika grundavgifter och timdebitering för handläggning. Det kan dock betraktas som en generell nivå. Storleksordning på kostnaderna torde dock ändå vara intressanta för den som vill etablera sin användning av förnybara drivmedel i allmänhet och alkoholer i synnerhet.

Tabell 21. Kostnad (SEK/år) för ränta och avskrivning för tillstånd och tillsyn beräknat på avskrivningstiden tolv år.

	Diesel	HVO	Etanol	Metanol
Totalt för 10 kbm cistern:	746	746	1 331	1 331
Totalt för 32 kbm cistern:	1 667	1 667	4 096	4 096

Att sätta de totala kostnaderna i relation till dagens drivmedel är viktigt både för beslutsfattare och för andra berörda aktörer, eftersom företag som verkar på en konkurrensutsatt marknad direkt måste hantera eventuella kostnadsförändringar. En bra indikation på kostnadsförändringar för användaren av drivmedlen åskådliggörs i Tabell 22. Den visar att utöver att hantera större volymer

av drivmedel p.g.a. energitätheten, så ökar kostnaden markant. Totalt sett blir skillnaden mellan alkoholerna marginell. Även om metanol är något billigare som råvara så jämnas skillnaderna ut eftersom utrustning för hantering är något dyrare.

Tabell 22 Relativtal för olika typfall och drivmedel.

Relativtal, totala drivmedelskostnader utan tankbilstransport				Enbart
Exempelmaskin:	Skotare	Hjullastare	Traktor	Drivmedel
Energiförbrukning (kWh/år)	230 305	161 949	38 766	SEK/kWh
Diesel, årskostnad (SEK)	85 993	102 441	34 951	
Diesel relativtal	100	100	100	0,356
HVO 100	196	156	140	0,713
Etanol 5 %, 95% Diesel	106	104	103	0,379
Metanol 3 %, 97 % Diesel	104	102	102	0,370
Etanol 100 % (94%)	245	205	189	0,862
Metanol 100 %	236	205	195	0,810
ED95	260	214	196	0,920
MD95	249	213	201	0,862

Värdet av insatsen i förhållande till uppnådd miljöeffekt är en viktig parameter. Det kan användas för att rangordna insatser som inte ”låser upp varandra”. Resultatet visar inte så överraskande att ju mindre det kostar att ändra drivmedlen jämfört med dagens alternativ, desto mer får man för pengarna. Detsamma gäller för maskinens arbete. Ju mer den arbetar, desto högre blir miljöavkastningen per insatt SEK. Gällande kostnad av insatsen i form av SEK/kg avlägsnad CO₂ visar tabell 23 tydligt att det i alla typfallen är ekonomiskt intressant att introducera de olika drivmedelsalternativen. Minst intressant att introducera nya drivmedel är det för lantbrukstraktorn. Framför allt beror detta på att lantbrukstraktorer används relativt få timmar jämfört med skotare och hjullastare, och de ska ändå täcka kostnaderna. En fördubblad räntesats från 5 till 10 % spelar marginell roll jämfört med ökad eller minskad förbrukad mängd energi.

Tabell 23. Värde för pengarna, SEK/kg borttagen CO₂-ekv.

Inblandning i diesel	Skotare	Hjullastare	Traktor
Etanol 5%, 95% diesel	0,97	0,78	0,75
Metanol 3%, 97 % diesel	1,90	1,10	1,03
HVO	0,93	0,93	0,92
PPC/HCCI			
Etanol 100	1,01	1,17	1,56
Metanol 100	1,22	1,23	1,77
Tändförstärkare			
ED95	1,24	1,41	1,84
MD95	1,49	1,48	2,07

7 LIVSCYKELANALYS

Detta kapitel beskriver den begränsade livscykelanalys som genomförts som del av projektet. Syftet med denna har varit att utvärdera konsekvenserna och miljönyttan av att använda alkoholer i de drivlineutformningar och användningsfall som beskrivits i kapitel 4.

7.1 SYSTEMBESKRIVNING

Det finns flera alternativa sätt att använda alkoholer i förbränningsmotorer. Vid användning av dieselmotor måste åtgärder vidtas för att uppnå självantändning då användning av ren metanol eller etanol inte kommer att ge upphov till självantändning i konventionella dieselmotorer. De alternativ som undersökts och de övergripande antaganden som gjorts är beskrivna i kapitel 3.

En utmaning vid livscykelanalyser som på ett eller annat sätt jämför olika system är att förutsättningarna för jämförelsen ska vara så lika som möjligt. För att minimera skillnaderna i förutsättningarna mellan olika bränslen har målet varit att i högsta möjliga utsträckning använda samma källor för de olika valmöjligheter som finns. För bränsleproduktion (källa till tank) har Hallberg et al. (2013) har använts för etanol (oblandad och ED95) och HVO och Brynolf et al. (2014) för metanol.

För metanolen har huvudalternativet varit produktion från biomassa, med fossil produktion som alternativ. För etanolen har huvudalternativet varit produktion från vete, med sockerbetor och sockerrör som alternativ. För HVO har rapsolja varit huvudalternativet. Den fossila dieseln har antagits vara av MK1 kvalitet.

Den LCA som genomförts är en bokförings-LCA. Allokering har använts och har då varit baserat på energiinnehåll (Hallberg et al. (2013) använder både allokering och systemexpansion, medan Brynolf et al (2014) enbart använder allokering).

Den funktionella enheten har varit MJ energi ut ur fordonets drivlina (d.v.s. direkt efter motor), sett över en arbetscykel. Alla drivlinor är inte lika kapabla att på egen hand leverera en uteffekt som varierar på efterfrågat sätt. Ett system baserat på t.ex. högttemperatursbränsleceller är mindre kapabel än en förbränningsmotor att snabbt variera uteffekt, och behöver därför t.ex. batterier som kan buffra tillräckligt med elenergi för snabba förändringar. Någon hänsyn till detta har inte tagits i beräkningarna.

7.2 LIVSCYKELINVENTERING/DELSYSTEM

I analysen har följande steg inkluderats: produktion av bränsle, regional transport av bränsle från produktionsplats till lokal depå (cistern eller motsvarande), lokal transport från lokalt lager till användning samt användning.

7.2.1 Bränsleproduktion

Då resultaten i denna rapport kommer att vara känsliga för de antaganden som gjorts sker här en genomgång av de antaganden som gjorts i Hallberg et al (2013) samt Brynolf et al. (2014) och som bedöms kunna ha betydande påverkan på resultaten. För HVO har de fossila koldioxidemissionerna antagits vara 0 och för ED95 har det antagits komma fossil koldioxid från tillsatserna, men inte

etanolen. Allokering har gjorts på energibasis. Bägge studierna täcker källa till tank, inklusive de transporter som krävs. Ingen av studierna har inkluderat tillverkning av materialet i fordonet (t.ex. motor, bränslecell och tank).

Brynolf et al (2014) utgår från att biomassan (trä, salix eller GROT) torkas och förvärms för att därefter gasifieras i en tvåstegsprocess som omfattar partiell oxidering och pyrolys. Den resulterande syngasen renas och trycksätts och levereras till en metanolreaktor där drivmedlet produceras. Brynolf et al använder data för "Production of Methanol Using Energy Forest" från SPINE LCI Dataset för processen. De antar att råvara transporteras 200 km från en lokal produktionsanläggning till hamn med hjälp av tankbil med släp som kan transportera 140 m³ metanol (d.v.s. betydligt mycket mer än de ca 50 m³ som utvärderingen i kapitel 5 kommit fram till). För returren går tankbilen tom. Från hamnen transporteras bränslet 500 nautiska mil (926 km) till en regional hamn med en tanker som konsumerar 0.19 MJ MGO (fossilt bränsle)/t km.

7.2.2 Transport

Mängden bränslen som kan transportera i en tankbil kan begränsas av antingen massan (tankbilens maximala vikt, m_{max}) eller dess volym, V_{max} . Den maximala transporterade massan, $m_{transport}$, är därför

$$m_{transport} = \min(m_{max}, V_{max} * \rho_{fuel}),$$

där ρ_{fuel} är bränslets densitet.

Den maximalt transporterade energin blir:

$$E_{transport,f} = m_{transport} ED_f.$$

Utsläppen för transport (CO_{2e}, SO₂, CO, HC, NO_x, PM) har beräknats genom en utsläppskonstant som beror på typen av transport och sträckan (för nationell transport tankbil, för lokal transport pick-up). Värdena är baserade på NTMcalc, baserat på antalet körda kilometer. Körsträckan antas vara dubbla avståndet mellan produktionsställe och användningsställe (d.v.s. körning med bränslet till användningsplats och med tom last tillbaka). De totala utsläppen för en bränsletransport blir då:

$$EMN_{transport,f} = em_{transport} dN_{f,use}$$

Där $em_{transport}$ är utsläppen per körd kilometer och $dN_{f,use}$ antalet körda kilometer. Mätt per kWh transporterat bränsle blir utsläppen:

$$emn_{transport,f} = \frac{EMN_{transport,f}}{E_{transport,f}}$$

7.2.3 Användning

Utsläpp

Utsläpp vid användning antogs för att utsläppen från maskinerna vara desamma som existerande regelverk för mobila arbetsmaskiner som använder dieselmotorer, se tabell 24. Att uppnå

existerande lagkrav med enbart anpassningar är extremt utmanande. För att uppnå lagkraven används därför olika former av katalytisk rening. För en motortillverkare finns det inga drivkrafter för att uppnå lägre utsläpp än lagkraven, då detta skulle kräva mer omfattande avgasrening.

Tabell 24. Steg 5, EU, lag, g/kWh.

- NOX	- PM	- CO	- HC
0.4	0.015	5	0.19

För bränsleceller har det antagits att de lokala utsläppen av annat än CO₂ och H₂O är försumbara. I praktiken skulle det kunna finnas något bränsleutsläpp vid reformern (när sådan användas). Den låga temperaturen gör att ingen NO_x bildas.

En viktig faktor för den totala miljöpåverkan är verkningsgraden när olika bränslen använts i respektive drivlina. Sambandet mellan drivlina, bränsle och verkningsgrad är inte trivialt. Beroende på utformning och styrning kan två motorer av samma typ ha samband mellan bränslesammansättning och verkningsgrad som skiljer sig betydligt.

Verkningsgrad

De använda verkningsgraderna är listade i tabell 24. Att jämföra verkningsgrader för olika drivlinor i praktisk drift är förknippat med ett antal utmaningar:

- Det finns stora variationer inom varje kategori, beroende på motorns storlek, typ av användning, tillverkare o.s.v. Med andra ord finns ingen enskild verkningsgrad som är typisk för alla dieselmotorer. Detta gäller vid en driftspunkt (given av bl.a. varvtal, vridmoment), men också över hela körcykler där motorns driftpunkter eller mindre snabbt över tid.
- Beroende på variationerna ovan kommer ett byte av bränsle att få olika konsekvenser. Förbränningsprocessen i en motor påverkas av förbränningshastighet, turbulens, droppstorlek (injiceringstryck) vilka i sin tur påverkas av temperatur. Olika studier kan därför finna olika samband.
- I denna studie ingår flera koncept som inte är kommersiellt tillgängliga för de aktuella maskinerna. Det är därför nödvändigt att göra uppskattningar av vilken verkningsgrad dessa kan förväntas få om de blir kommersiellt tillgängliga. Generellt blir det svårare att uppnå höga verkningsgrader när motorn behöver anpassas/optimeras för fler variabler. Det kan därför t.ex. vara lättare att uppnå en hög verkningsgrad i en testbänk med konstant varvtal och vridmoment och inga utsläppskrav som behöver uppfyllas. Då utsläppslagstiftningen är gemensam för alla arbetsfordon och baserad på NRTC-cykeln (Non-Road Transient Cycle), som är sammansatt av typiska körcykler för en mängd olika maskiner) är de begränsningar som finns gemensamma för alla arbetsfordon.
- Ofta sker studier av enbart en bränslevariant, t.ex. enbart metanol eller enbart etanol. Detta försvårar relativa jämförelser mellan dessa. I vissa fall kan slutsatser dras baserat på bränsleegenskaper, men de processer som sker är så pass komplexa och beror på så pass många faktorer (som beskrivet ovan) att detta ofta inte är fallet.

För att hantera detta har följande antaganden gjorts:

- För förbränningsmotorer har antagits att dessa varit den enda del av drivlinan som förändrats. För de alternativ som baserats på dieselmotorer kan detta förväntas vara fallet. För alternativet Ottomotor är sambandet mellan varvtal och möjligt effektuttag annorlunda än varför förändringar kan vara motiverade. Det är dock svårt att utvärdera konsekvenserna av dessa för olika tillämpningar. Därför har verkningsgrader direkt efter motorn jämförts. Dessa har gjorts baserat på existerande studier, under en mängd olika förutsättningar (både i testbänk och i maskin). Studierna har använts som grund för i vilken omfattning verkningsgraden för en motortyp förändras vid byte av bränsle (hur många procentenheter denna förändras vid användning).
- För jämförelse mellan olika förbränningsdrivlinor har i huvudsak Tunér 2017, Tunér et al 2018 och Tunér 2019 använts. För bränslecellsdrivlinor har Ridell 2019 använts. Denna har kompletterats med litteraturen nedan.
- För bränsleceller antas dessa driva en elmotor med en verkningsgrad om 95 %.
- I takt med att strömmen tilltar för en bränslecell kommer dess spänning och därför även dess verkningsgrad att sjunka. Då effekten ges av spänningen multiplicerat med strömmen kommer effekten att öka med en ökad ström till dess att den minskade spänningen medför att effekten börjar minska. Ofta är platån vid vilken den högsta effekten kan tas ut ganska begränsad.
- Däremot är olika elmotorer flexibla och kan producera en tämligen stabil effekt över ett stort varvtalsområde.

Som underlag för verkningsgraden har en kombination av intervjuer av experter och vetenskapliga papers använts för att få en så rättvisande bild som möjligt. Khalifeetal et al. (2017) gjorde en omfattande litteraturstudie över påverkan av inblandning av etanol i diesel. I den redogörs dels om en variabel ökat eller minskat, dels görs en subjektiv bedömning om skillnaden varit 1, 2 eller 3 plus eller minustecken. Ett genomsnitt av resultaten vid de olika alkoholhalterna antyder en något ökad verkningsgrad vid lägre etanolhalter ($\Rightarrow$ 20 %) och en minskad verkningsgrad vid högre etanolhalter (30 eller 40 %). Generellt finns det betydande variationer. I litteraturstudien studerades även metanol. I detta fall var antalet studier få, men även dessa hade varierande utslag utan en klar trend.

Vid dual fuel-drift med etanol uppmätte Sayin & Canakci (2009) lägre utsläpp av CO och HC och högre utsläpp av NOX, jämfört med drift på enbart diesel. Verkningsgraden minskade jämfört med körning på enbart diesel. Pedrozo (2016) observerade samma trender som Sayin & Canakci för utsläppen. Däremot ökade verkningsgraden något när de använde etanol. Boretti (2012) utförde både simuleringar och praktiska tester av en 1,6-liters dieselmotor enligt vilka verkningsgraden för dual-fuel etanol och dieseldrift låg nära varandra över hela motorns testsintervall. Tuominen (2016) fann att konsekvenserna en ökad andel metanol berodde på lasten. Vid låg last medförde de lägre verkningsgrad, vid mellanlast var påverkan liten och vid hög last ökade verkningsgraden något jämfört med drift på enbart diesel. Verkningsgraden var högre för etanol än för metanol. Li et al. (2020) fann att verkningsgraden vid dual fuel-drift med metanol/diesel var något högre verkningsgrad än vid RCCI ($\sim$ en procentenhet) vid låg last.

Tunér et al (2018) noterade att verkningsgrad och vridmoment med metanol i en ottomotor var ungefär samma som för diesel i en dieselmotor. Zhen & Wang (2015) redovisar liknande resultat från försök utförda av Balki et al. (2016), som jämförde bensen, metanol och etanol i en ottomotor.

De fann en något högre verkningsgrad för metanol jämfört med etanol (bägge hade dock en lägre verkningsgrad än bensin och verkningsgraderna var låga jämfört med andra studier). Costagliola et al. (2013) fann en högre (~5 %) verkningsgrad med E85 jämfört med bensin.

Tunér et al. (2018) mätte verkningsgraden med PPC för metanol samt etanol i blandningar med diesel-biodiesel-etanol samt diesel-bensin-etanol. De uppnådde en högsta indikerad verkningsgrad på ungefär ~ 53% för metanol, ungefär två procentenheter högre än vad de uppnått med diesel.

Serenergy (2020) hävdar att deras system med extern reformering av metanol som förser en PEM bränslecell med metanol har en verkningsgrad på 42 %. Verkningsgraden påverkas både av verkningsgraden vid reformeringen, vilken enligt Hotz et al. (2010) är 88 % och av bränslecellens verkningsgrad när driven av den producerade vätgas.

För en direktmetanolbränslecell vid 0.5 V med 97 % utnyttjandet av metanolen är den elektriska verkningsgraden vid omvandlingen omkring 40 %. Under optimala förhållanden har en verkningsgrad för en enskild cell uppnått 35 %. Information om verkningsgrader för hela system är inte allmänt tillgänglig, men kommer att vara lägre då fler förluster tillkommer. Joghee et al. (2015) rapporterar en verkningsgrad på 25–35% för metanol i direktmetanolbränsleceller, medan Badwal et al. (2014) rapporterar en verkningsgrad på 22.5 %. Leo et al. (2011) en verkningsgrad på 16 % och An et al. (2015). Verkningsgraden med etanol är lägre, 11 % med sur elektrolyt och 16-23 % med en alkalisk elektrolyt enligt An et al. (2015).

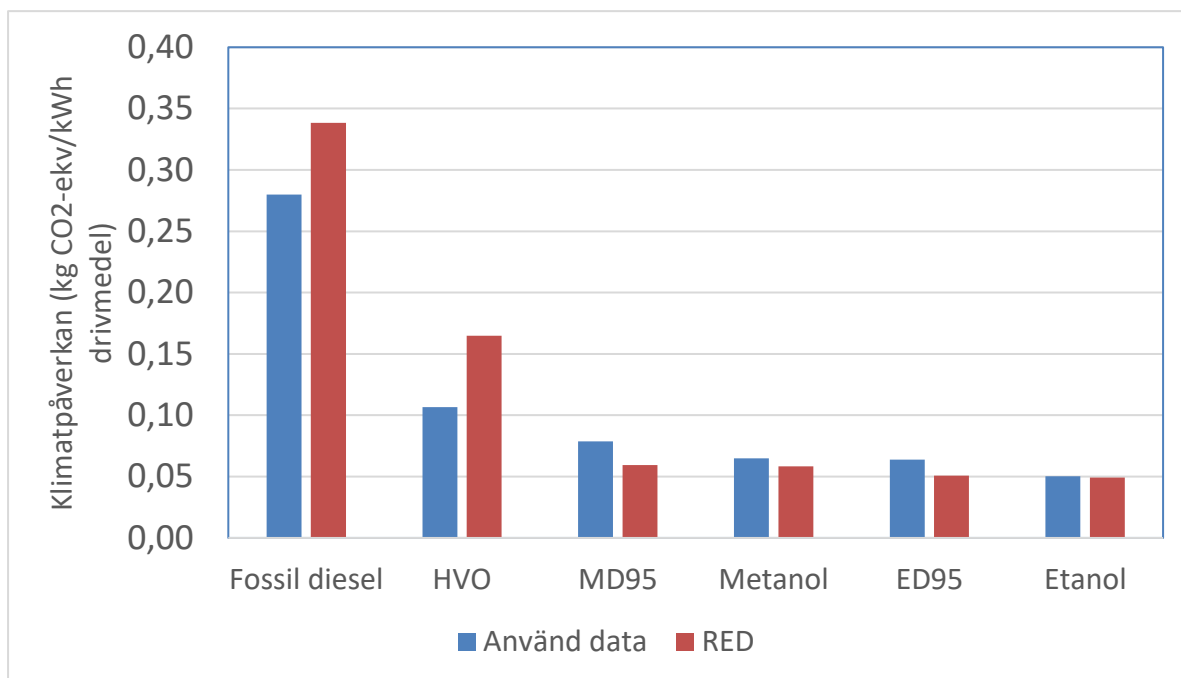
För fastoxidsbränsleceller har en elektrisk verkningsgrad på 60 % uppnåtts för små (1,5 kW) kommersiellt tillgängliga system (Andersson & Sunden, 2017). Sangtongkitcharoen et al. (2008) simulerade en fastoxidsbränslecell som använde metanol, vilken nådde en verkningsgrad på 45 %.

Tabell 25. Verkningsgrader för olika drivlinor och bränslen, baserat på lägre värmevärde.

Drivlina	Bränsle	Verkningsgrad
Inblandning i diesel	Diesel	44.5%
Inblandning i diesel	HVO	44.5%
Inblandning i diesel	Metanol	44.5%
Inblandning i diesel	Etanol	45.0%
Tändförstärkare	Metanol	45.0%
Tändförstärkare	Etanol	45.0%
Dual fuel	Metanol	38.0%
Dual fuel	Etanol	45.3%
PPC/HCCI	Metanol	47.0%
PPC/HCCI	Etanol	47.0%
Otto	Metanol	46.5%
Otto	Etanol	44.5%
Bränsleceller - PEM	Metanol	35.6%
Bränsleceller - PEM	Etanol	28.5%
Bränsleceller - Direk	Metanol	30.9%
Bränsleceller - Direk	Etanol	23.8%
Bränsleceller - SOFC	Metanol	52.3%
Bränsleceller - SOFC	Etanol	52.3%

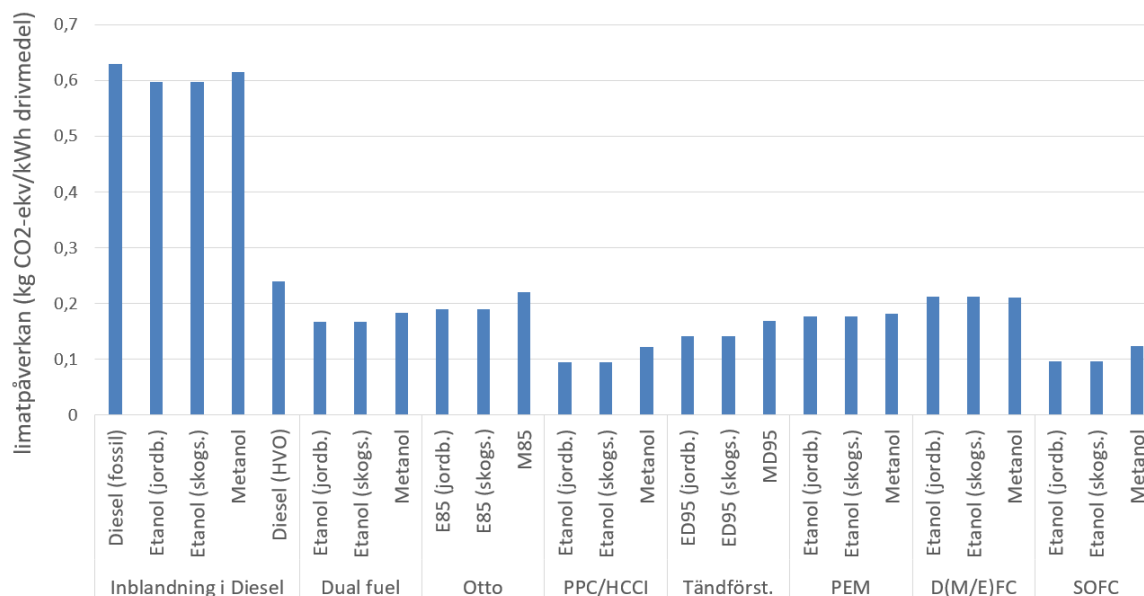
7.3 RESULTAT

Figur 4 visar utsläppen per kWh drivmedel till tank (d.v.s. före användning i motor).



Figur 4. Klimatpåverkan för olika drivmedel baserat på använda papers samt RED II-lagstiftning.

Utgångspunkten är metanol från skogsråvara och etanol från vete, under de förutsättningar som beskrivits ovan. HVO:n kommer från rapsolja. Dessa ligger relativt nära de värden som används i inom EU:s hållbarhetsdirektiv RED II och får bedömas som rimliga, även om de är generella värden, baserade på antaganden som kan vara mer eller mindre korrekta i varje specifikt fall.



Figur 5. Klimatpåverkan per kWh (produktion/användning) för olika drivlinor.

Figur 5 visar utsläppen per kWh effekt ur motorn. Dessa utsläpp styrs utöver av klimatpåverkan kopplad till produktion (figur 4) även av verkningsgraderna för de olika drivlinorna (tabell 23). Dessa utsläpp är, för en given drivline- och drivmedelskombination, samma för samtliga användningsfall

I fallen med inblandning i fossil diesel är klimatpåverkan fortsatt stor då den inblandade delen är begränsat till ett fåtal procent (som syns av tabell 6). I tabellen redovisas också ett fall där den fossila dieseln ersatts av biodiesel (HVO). Klimatpåverkan från alkoholer är i samtliga övriga fall lägre än utsläppen vid användning av HVO. Då metanol och etanol har liknande förbränningsegenskaper (som ses från tabell 23) styrs klimatpåverkan från dem i en given drivlina främst av skillnader i klimatpåverkan från produktion, där metanol har något större klimatpåverkan.

I tabell 26 framgår utsläppen från transport från produktionsplats till lokal depå (regional transport) och transport från depå till fordon (lokal transport). Det lokala transportavståndet antas vara 10 km för jordbruk och entreprenad och 200 km för skogsbruk. Lokal transport kommer i allmänhet att inte medför någon extra transport då bränslet transporteras med föraren, i vilket fall den enda påverkan är ökad vikt p.g.a. den extra lasten. I det fallet kommer skillnaden mellan transporten av olika bränslen att vara försumbar, då viktskillnaden mellan olika bränslen (orsakad av olika värmevärden) kommer att ha låg påverkan på fordonets totalvikt med last och än mindre påverkan på dess bränsleförbrukning.

Tabell 26. Utsläpp av CO₂-eqv./kWh energi ut ur motorn per delsystem, jordbruk.

Användning	Jordbruk		Skog		Entreprenad	
Transport	Regional	Lokal	Regional	Lokal	Regional	Lokal
Bränsleceller - Direktbränsleceller						
Etanol (jordb.)	0.003	0.002	0.011	0.036	0.002	0.002
Etanol (skogs.)	0.009	0.002	0.003	0.036	0.006	0.002
Metanol	0.004	0.002	0.017	0.046	0.005	0.002
Bränsleceller - PEM						
Etanol (jordb.)	0.003	0.002	0.011	0.036	0.002	0.002
Etanol (skogs.)	0.009	0.002	0.003	0.036	0.006	0.002
Metanol	0.004	0.002	0.017	0.046	0.005	0.002
Bränsleceller - SOFC						
Etanol (jordb.)	0.003	0.002	0.011	0.036	0.002	0.002
Etanol (skogs.)	0.009	0.002	0.003	0.036	0.006	0.002
Metanol	0.004	0.002	0.017	0.046	0.005	0.002
Dual fuel						
Etanol (jordb.)	0.002	0.001	0.009	0.029	0.003	0.001
Etanol (skogs.)	0.004	0.001	0.006	0.029	0.005	0.001
Metanol	0.003	0.002	0.012	0.034	0.004	0.002
Inblandning i diesel						
Diesel (fossil)	0.001	0.001	0.008	0.017	0.003	0.001
Diesel (HVO)	0.001	0.001	0.008	0.017	0.003	0.001
Etanol (jordb.)	0.001	0.001	0.008	0.023	0.003	0.001
Etanol (skogs.)	0.001	0.001	0.008	0.023	0.003	0.001
Metanol	0.001	0.001	0.008	0.023	0.003	0.001
Otto						
E85 (jordb.)	0.003	0.002	0.010	0.033	0.002	0.002
E85 (skogs.)	0.007	0.002	0.004	0.033	0.005	0.002
M85	0.003	0.002	0.015	0.040	0.005	0.002
PPC/HCCI						
Etanol (jordb.)	0.003	0.002	0.011	0.036	0.002	0.002
Etanol (skogs.)	0.009	0.002	0.003	0.036	0.006	0.002
Metanol	0.004	0.002	0.017	0.046	0.005	0.002
Tändförstärkare						
ED95 (jordb.)	0.003	0.002	0.011	0.037	0.002	0.002
ED95 (skogs.)	0.009	0.002	0.003	0.037	0.006	0.002
MD95	0.004	0.002	0.017	0.049	0.005	0.002

Utsläppen från transport är betydligt lägre än de förknippade med produktion och användning av drivmedlet. För jordbruk och entreprenadsektorn är det främst transporter av drivmedlet inom Sverige som påverkar. Då förutsättningarna för entreprenad och jordbruket är lika är skillnaderna mellan dessa system små. För skogsbruket ser det annorlunda ut: I detta fall har transporter betydligt större betydelse, framförallt lokala transporter, som är betydligt längre. Även de regionala

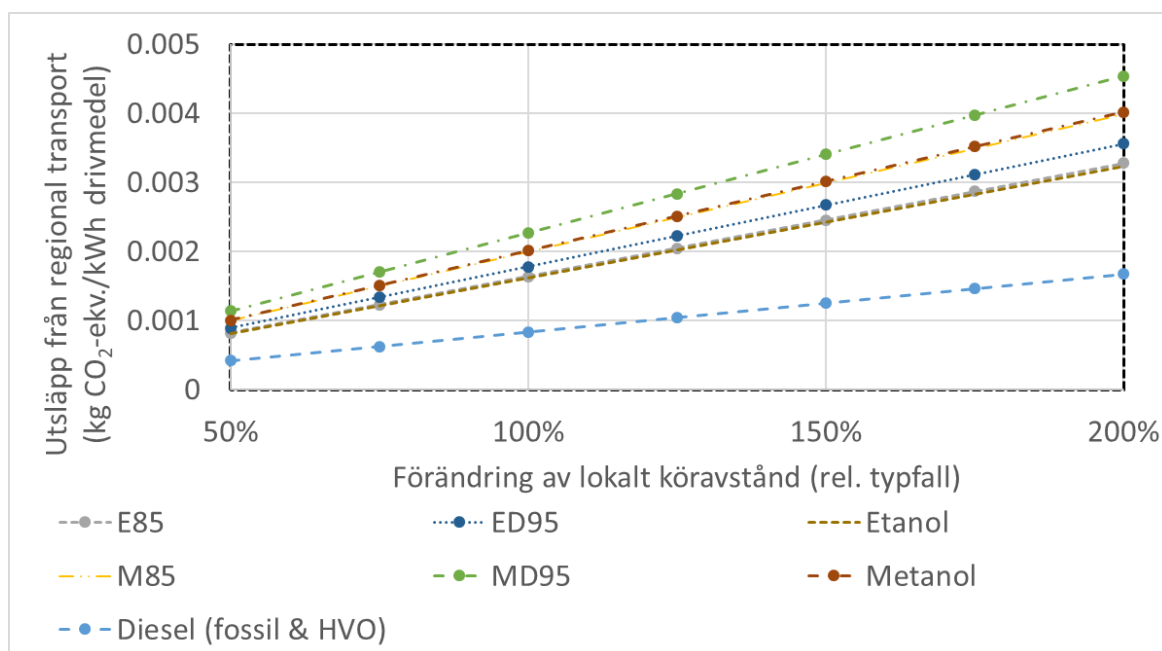
transporterna i allmänhet längre, beroende på placeringarna av antagen produktion och användning, med undantaget etanol från skogsbruk.

7.3.1 Känslighetsanalys

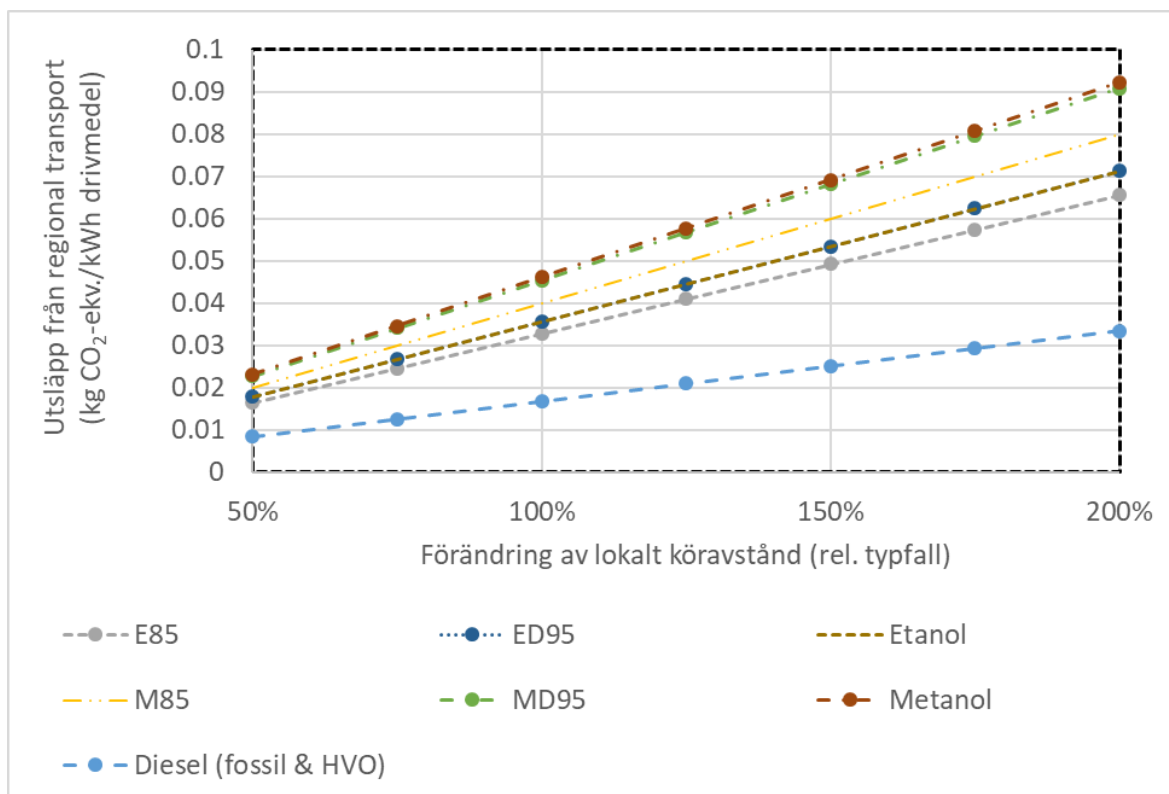
I vår analys görs av nödvändighet ett relativt stort antal antaganden. I denna del undersöks hur de viktigaste av dessa påverkar den totala miljöpåverkan: lokalt avstånd, regionalt avstånd, verkningsgrad för drivlina och råvara för drivmedlet.

Lokalt avstånd

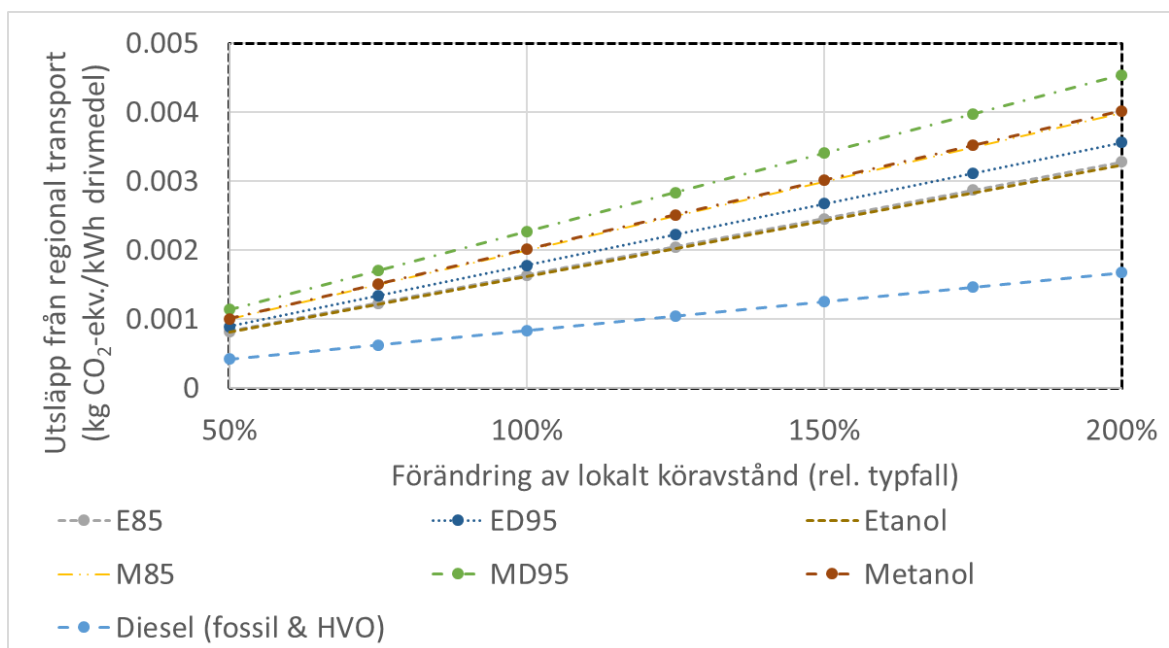
Förändringar av avståndet för att köra ut bränslet, redovisade i figurerna 6-8, påverkar främst miljöpåverkan vid användning i skog. Detta på grund av att det antagna avståndet är störst där. För jordbruk och entreprenadverksamhet är avstånden betydligt kortare och påverkan därför lägre. Skillnader mellan de olika bränslena orsakas främst av skillnader i värmevärde (kWh/l) och tillåten transportmängd (högre för fossil diesel och HVO). Det finns även små skillnader mellan bränslen, p.g.a. att det är snitt för användningar av samma bränslen i olika drivlinor, med olika bränsleblandningar (t.ex. för dual fuel), vilket medför skillnader i mängden bränsle som transporteras. I figurerna sammanfaller M85 och metanol respektive E85 och etanol, då värdena ligger så nära varandra.



Figur 6. Klimatpåverkan av lokal transport för jordbruk.



Figur 7. Klimatpåverkan för lokal transport vid skogsbruk.

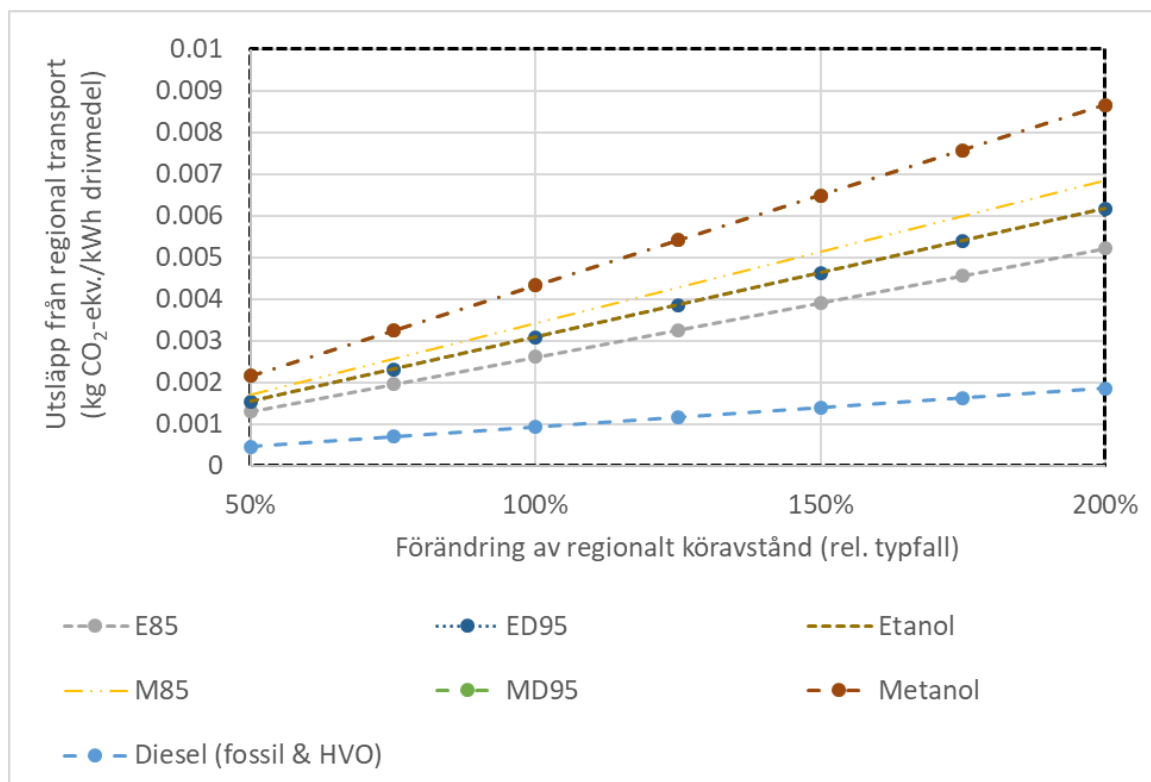


Figur 8. Klimatpåverkan för lokal transport vid entreprenadverksamhet.

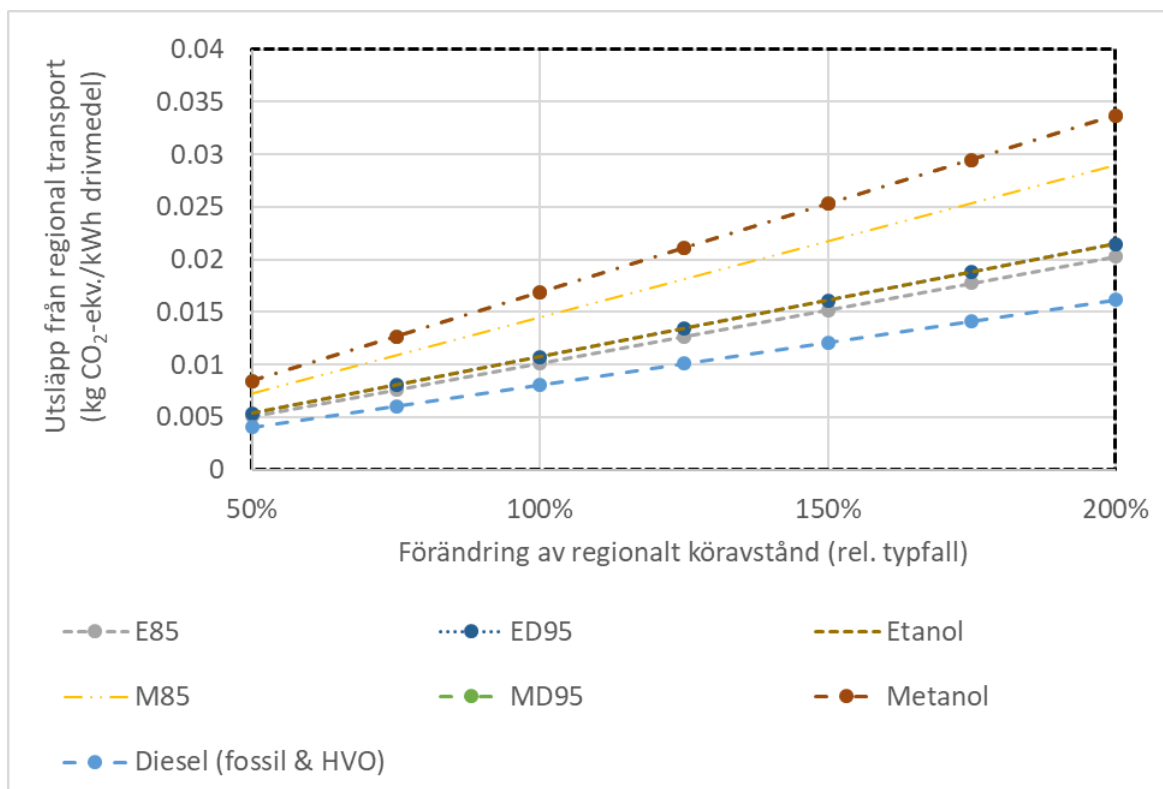
Regionalt avstånd

De regionala avstånden, vars påverkan redovisas i figurerna 9-11, orsakas av transporter mellan de produktions- och användningsplatser som valts. För produktion: Göteborg för fossil diesel och HVO, Mönsterås för metanol och Norrköping resp. Domsjö för etanol. För användning: Skara för jordbruk, Skellefteå för skogsbruk och Skara för entreprenad.

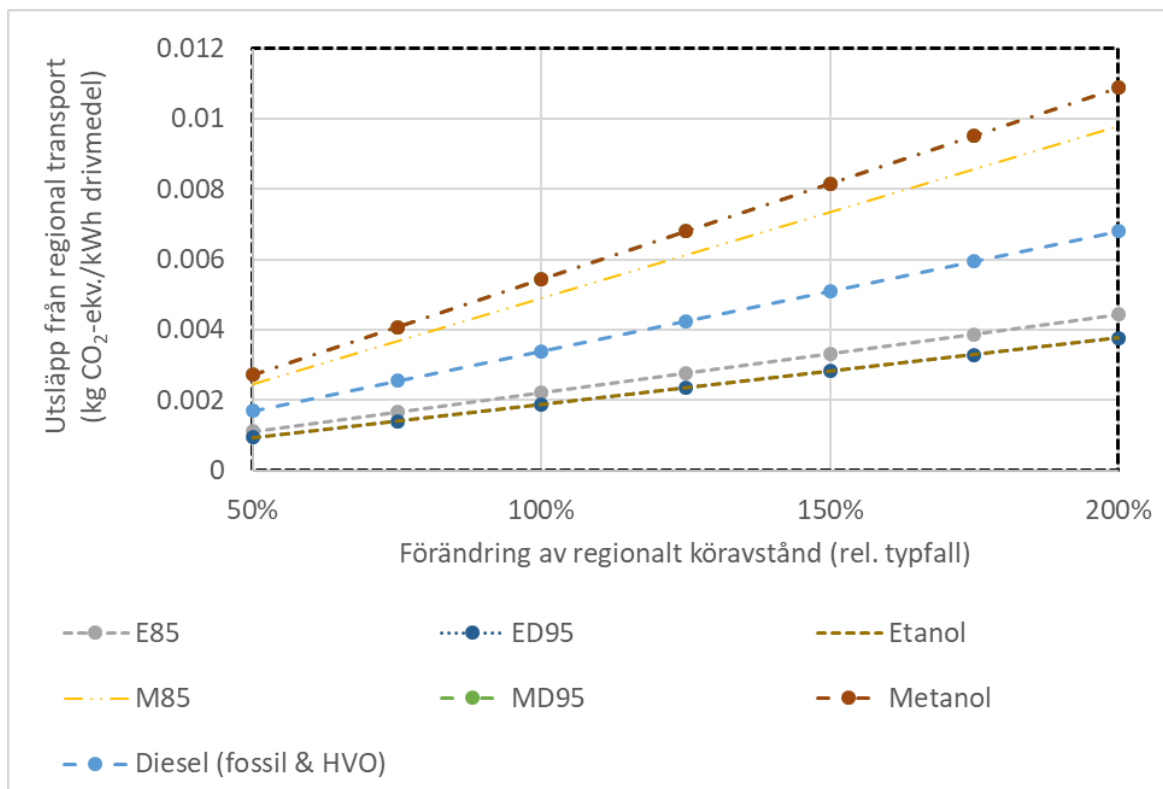
De är därför störst för skogsbruk för metanol samt etanol från jordbruket (liksom fossil diesel och HVO), medan de är störst för jordbruk och entreprenadverksamhet för etanol från skogsbruket. Överlag är påverkan från transport lägre för jordbruk och entreprenadverksamhet då transportavstånden för dessa vanligen är kortare. I figurerna sammanfaller M85 och metanol respektive E85 och etanol återigen med varandra, då värdena ligger så nära varandra.



Figur 9. Klimatpåverkan för regional transport för jordbruket



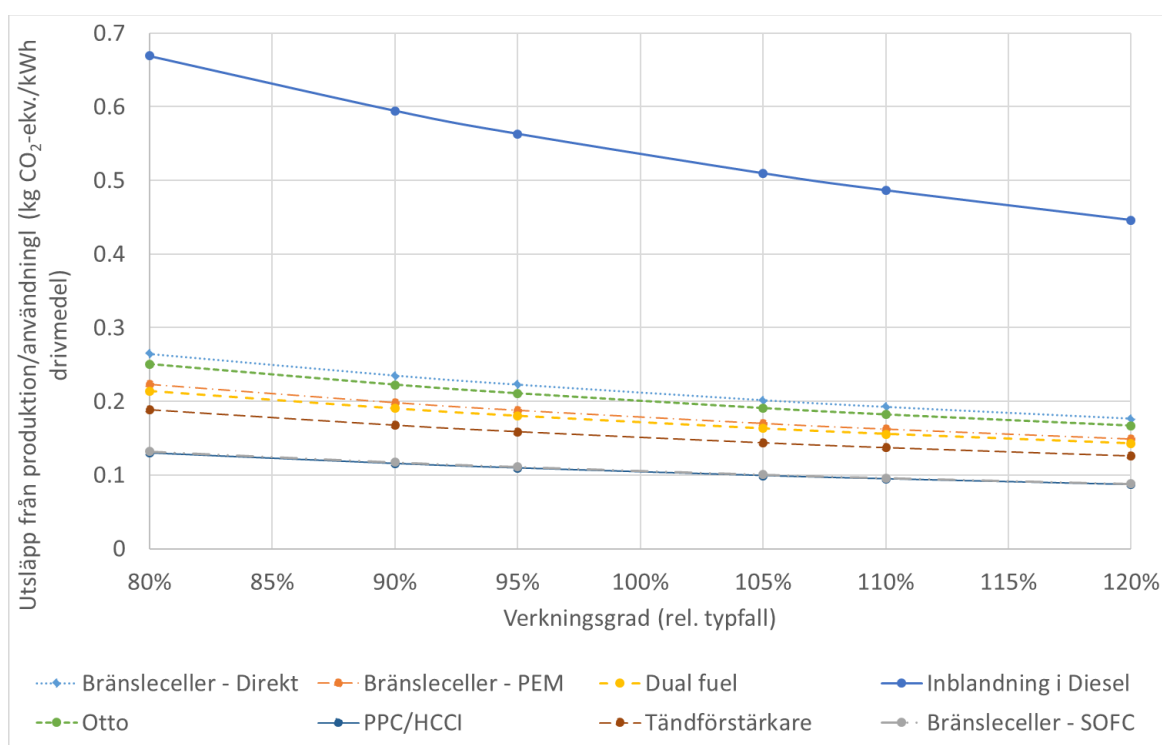
Figur 10. Klimatpåverkan för regional transport för skogsbruket.



Figur 11. Klimatpåverkan för regional transport vid entreprenadverksamhet.

Verkningsgrad

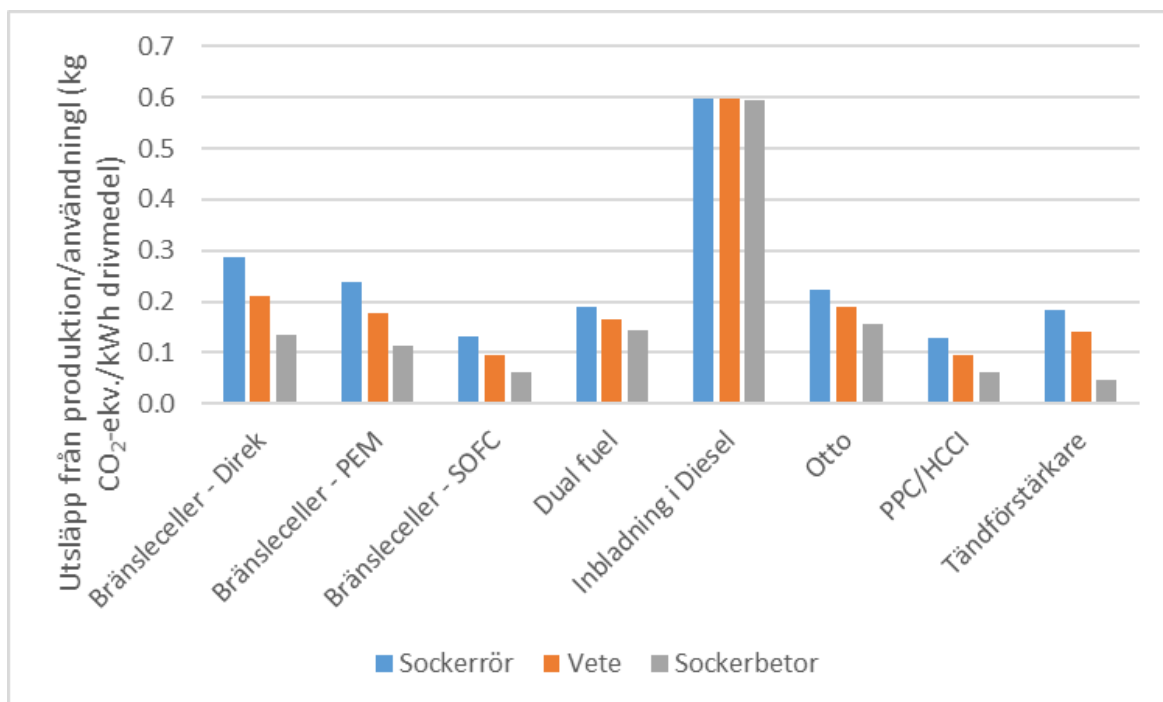
Verkningsgraden vid användning har av naturliga skäl en stor påverkan på den totala klimatpåverkan. I figur redovisas vad som händer om verkningsgraden för de olika drivlinorna förändras relativt det som antas i tabell 24. För användning i dieselmotorer med en antagen verkningsgrad på 44,5 % motsvarar alltså 90 % en verkningsgrad på 40,05 % ($0,9 \cdot 44,5$) och 110 % en verkningsgrad på 48,95 %. För en högttemperatursbränslecell med verkningsgraden 52,3% blir motsvarande värden istället 47,07 respektive 57,53 %. Även en relativt begränsad förändring av verkningsgraden har större påverkan än betydande förändringar vid transporten. Det kan finnas flera skäl till förändrad verkningsgrad. Det kan orsakas av teknisk utveckling, variationer mellan olika motor/bränslecellsutformningar och -fabrikat, olika driftsförhållanden etc. I figuren ligger värdena för högttemperatursbränslecell och PPC/HCCI så nära varandra att de överlappar.



Figur 12. Klimatpåverkan för produktion/användning med olika drivlinor för alkoholbränslet med varierande verkningsgrad på drivlinan (relativt typfallet).

Råvara

Genom att välja råvara går det att påverka utsläpp från produktion/användning i betydande omfattning, som framgår av figur 13. Påverkan blir störst i de fall då alkoholandelen i bränslet är störst (d.v.s. mindre för dual fuel och mycket liten för inblandning) samt då verkningsgraden är låg.



Figur 13. Klimatpåverkan för produktion/användning med olika drivlinor/användningssätt för etanol (inkl. E85 och ED95).

7.4 DISKUSSION

7.4.1 Ej undersökta konsekvenser

I LCA-analysen har utgångspunkten varit att alla maskiner precis uppfyller existerande utsläppskrav. Motivet är att en tillverkare sällan har några ekonomiska skäl att producera en maskin som uppfyller hårdare ställda krav. Ur ett miljöperspektiv dominerar användningsfasen över tillverkningen av komponenter som motor och katalysator. Om dessa anpassas för att nå utsläppskraven kommer därför eventuell extra miljöpåverkan från tillverkning av komponenter att ha relativt begränsad effekt på den totala miljöpåverkan.

Av samma anledning, att lagkrav styr, påverkar inte den aktuella körcykeln utsläppen i de beräknade värdena. I detta fall är det dock rimligt att tänka att det finns en variation mellan olika användningsområden. De körcykler som används för utsläppskravsmätningar är samma för alla arbetsfordon, däremot varierar hur de verkliga fordonen används. Körcykler påverkar på flera sätt. Utsläppen från en motor beror på en mängd faktorer, av vilka de viktigaste är vridmoment och varvtal, dels aktuellt värde och dels hur snabbt de förändras. Vridmoment och varvtal påverkar utsläppen genom att de påverkar hur mycket bränsle som injiceras i förhållande till mängden luft. Snabba förändringar i eftersträvt effekt, framförallt ökningar, kan bidra till problem med att förse motorn med tillräcklig mängd luft. (Lindgren et al, 2010).

Inom jordbruket består många av arbetsoperationer av relativt tungt arbete med begränsade transienter (snabba förändringar av varvtal eller vridmoment). Ett typexempel är plöjning, som står för en stor del av bränsleförbrukningen på fält. Då både hög belastning och små transienter bidrar till låga utsläpp är det rimligt att tänka sig att utsläppen inom jordbruket är relativt låga vid

fältarbete. Vid arbete på gården är användningen mer lik det för entreprenadarbete, varför utsläppen kan förväntas vara högre. Även skogsmaskiner har en relativt jämn belastning (Hansson et al, 2002). Entreprenadmaskiner är oftare mer ojämnt belastade, med betydande transienter i effektuttag. Dessa kan därför förväntas ha högre utsläpp av partiklar och kolmonoxid. (Lindgren et al, 2010).

Alkoholer bidrar till betydligt minskade utsläpp av partiklar (Lindgren et al, 2010) då dessa är starkt korrelerade med lokala överskott av kol. Då metanol innehåller 1 O/C och etanol 0.5 O/C kommer den lokala tillgången på syre aldrig att gå under 1 respektive 0.5 O/C, vilket kan jämföra med att slutprodukten vid fullständig förbränning, koldioxid, innehåller 2 O/C.

Tillverkning av de olika drivlinekomponenterna är inte något som inkluderas i analysen ovan. Rouhento (2018) undersökte i sitt examensarbete miljöpåverkan av att producera en dieselmotor för traktorer, beskrivet i tabell 28. För samtliga studerade kategorier dominerade användningsfasen, med 94.86-99.88 % av den totala påverkan, med en antagen livslängd på 15 000 h och en bränsleförbrukning på 24 l/h.

Tabell 27. Miljöpåverkan från dieselmotor (exklusive användningsfasen).

Påverkanskategori	Värde	Enhet
Klimatförändring	2,65*10 ³	kg CO ₂ -ekv
Förtunning av ozonlagret	2,40*10 ⁻⁴	kg CFC-11-ekv.
Marknära ozon	10,7	kg NMVOC-ekv.
Försurning	13,6	mol H ⁺ -ekv.
Övergödning, land	33,7	mol N-ekv.
Övergödning, sötvatten	1,31	kg P-ekv.
Övergödning, hav	3,07	kg N-ekv.
Abiotiska resurser	0,184	kg Sb-ekv.

I detta arbete är utgångspunkten att fordonen är nyproducerade, varför det är rimligt att anta en liknande fördelning. Om åtgärderna istället skulle ske på existerande fordon, med kortare återstående tid förväntad användning kommer motorns påverkan att vara mer betydande.

7.4.2 Ej studerade föroreningar

Vid förbränning i motorer bildas ett mycket stort antal olika föroreningar. De mest betydande vad gäller total miljöpåverkan täcks av lagstiftning och ingår i resultaten ovan. Det stora antalet förbränningsmotorer och den stora totala effekten av dessa gör dock att även utsläpp som är begränsade från en motor och i förhållande till andra utsläpp trots detta kan ge upphov till en betydande total miljöpåverkan. Dessa kommer att förändras om diesel eller bensin ersätts av alkoholbränslen. Det kommer t.ex. att bli större utsläpp av aldehyder (och andra molekyler som innehåller syre), medan utsläpp av t.ex. aromater kan förväntas minska då dessa är vanliga i fossila bränslen, men inte i alkoholbränslen.

8 SAMMANFATTNING OCH DISKUSSION

Rapporten sammanfattar praktisk hantering, affärsmässiga förutsättningar, framtida tekniklösningar erhållna via samtal, vetenskapliga rapporter och aktuella marknadslösningar.

I denna rapport har användning av alkoholbränslen (metanol och etanol) i arbetsmaskiner studerats. Dessa har undersökts dels som rena bränslen, dels blandade med andra bränslen för optimal användning i respektive motortyp.

Alkoholbränslen kan användas i ett stort antal drivlineutformningar (inkluderande bränslesystemet) för arbetsmaskiner. De som studerats i denna rapport är användning i dieselmotorer, där det kan användas som iblandning i dieselbränsle, som dual fuel (där diesel används som "pilotbränsle" som antänder alkoholbränslet) och som bränsle tillsammans med komponenter som gör bränslet mer lättantändligt. Alkoholerna har även undersökts som bränsle för motorkoncept under utveckling som HCCI ("homogenous charge compression ignition", homogenförbränning) och PPC ("partially premixed combustion", partiellt förblandad förbränning), liksom för användning i tändstiftsmotorer. Alkoholer har även undersökts som bränslen för bränsleceller, där de skulle t.ex. kunna utgöra ett första bränslebaserat steg för en i övrigt elektrisk drivlina. Motorn skulle i det fallet kunna fungera som en generator som levererar el. Elen som generatoren/bränslecellen genererar skulle kunna lagras i ett batteri som sedan levererar effekt i lämplig takt för elmotorer att driva fordonet.

Tre produktionsfall och användningsområden har studerats: metanol från skogsbiomassa (produktionsplats Mönsterås), etanol från vete (Norrköping) samt etanol från skogsbiomassa (Örnsköldsvik). Tre användningsfall har studerats: jordbruk (användningsplats Skara), skogsbruk (Skellefteå) och entreprenad (Södertälje).

För produktionen av bränslena har utgångspunkten varit existerande anläggningar: fossil diesel och biodiesel (HVO) från Preems raffinaderi i Göteborg, metanol från Södras massabruk i Mönsterås, där metanol utvinns från pappersmassaprocessen (skog), etanol från Agroetanols anläggning i Norrköping för produktion av etanol från spannmål samt etanol från SEKABs förädling av etanol från Aditya Birla – Domsjö för produktion av ED95 från skogsråvara

De geografiska områden som jämfördes var Södertälje, Skellefteå och Skara. Södertälje representerar transportmässigt bra förhållande med närhet till hamn och annan distribution. Skellefteå representerar ett område som ofta har mer ofördelaktigt transportförhållande, även om där finns en stor hamn. Skara får transportmässigt representera stora delar av södra och mellersta Sverige, det ligger inte speciellt nära till någonting, men befinner sig i ett område där transporter kan samordnas eftersom det finns en relativ stor kundpotential.

Transporter från olika produktionsplatser till de tre nämnda platser i Sverige har jämförts. Även om transportavståndet och därmed också kostnaden per liter skiljer sig åt, överstiger transportkostnadens andel aldrig 15% av drivmedlets totalpris i vårt räkneexempel. De senare inkluderar ränta, avskrivning och underhåll för cisterner samt pumputrustning, tillstånd och tillsyn. Att avskrivning och underhåll kostar mer än för diesel är ganska naturligt eftersom tillverkare ännu inte massproducerar cisterner för hantering av alkoholdrivmedel. Troligtvis kommer kostnaden för

dessas att sjunka dramatiskt om marknaden och politiken pekar på att dessa drivmedel långsiktigt kommer att finnas på marknaden.

Däremot är tillstånd och tillsyn inte något som utsätts för någon prispress på en marknad utan är en kommunal handläggning av regelsystem och dessutom innehåller det mestadels bara personkostnader som inte kan rationaliseras på samma sätt som produkter. I de olika exemplen ligger kostnaden för detta och de olika drivmedlen mellan 0.01-0,034 SEK/kWh. Det är en enskilt låg kostnad, men eftersom den är initial kan det få en tröskeleffekt. Vidare kan större erfarenhet av hantering av tillstånd för alkoholanläggningar innebära kostnadsminskningar eftersom handläggningstiden kan förkortas. Som jämförelse kan nämnas hur praktisk kunskap och erfarenhet inför utbyggnad av biogasanläggningar utvecklats över tid, och hur det successivt uppstått en effektiv rutin som underlättat bedömningar.

För fordon har utgångspunkten varit att dessa kan produceras utan extra kostnad jämfört med existerande dieselmotor. Detta antagande leder sannolikt till en, relativt begränsad, underskattning av kostnaderna då det i vissa fall kan krävas dyrare komponenter. Jämfört med fossila bränslen behöver materialet i flera komponenter (munstycke, doseringsstråle, flytande axel, tätningar, packningar och O-ringar) bytas ut.

Många motor- och maskinfabrikanter har testat olika typer av drivmedel och förefaller ganska rutinerade gällande tekniska aspekt. Däremot finns en otrygghet gällande vad som händer inom politiken på området. Om och/eller när marknaden för alkoholer i arbetsfordon lossnar kommer troligtvis drivlinor och bränslesystem ha samma kostnader som idag med ett möjligt undantag för underhåll.

Gällande pris på utrustning (cisterner och annan teknisk utrustning) finns en mängd olika uppgifter hos olika leverantörer. I denna rapport har de absolut billigaste lösningarna uteslutits, och det finns ett relativt stort prisintervall. Dessutom fluktuerar dessa priser över tid och priset görs ofta upp mellan köpare och säljare och är konkurrensutsatt.

Det är intressant att jämföra marknadspriserna från Circle K och Methanex i tabell 8 med de i rapporten använda priserna. Priset för diesel är i beräkningarna endast 26 % av priset för miles diesel på drivmedelsstation medan det för HVO är 50 %. För ED95 är det 47% och för metanol är det 153 % av priset på miles diesel. Det borde innebära att beräkningarna ställer diesel i en betydligt bättre ekonomisk situation än alternativen. HVO och ED95 borde vara jämförbara i alla fall med varandra och verkar rimliga beaktat att det på en drivmedelsstation tillkommer skatter, hanteringskostnad och handelsmarginal. Priset från Methanex gäller fossil metanol, vilket inte är fallet i beräkningarna. Jämfört med fossil metanol missgynnar beräkningarna metanol ganska ordentligt även om priset inte är fritt i Sverige. Sett ur ett strikt svenskt perspektiv kanske alkoholer, metanol och etanol, tillverkade i Sverige av svensk skogs- och jordbruksråvara samt restprodukter mer än väl är värda sitt pris. Det gynnar svensk ekonomi, teknologi, handelsbalans och arbetstillfällen.

Från en övergripande praktisk nivå är det fullt möjligt att övergå till alkoholdrivmedel. För den enskilda användaren/entreprenören innebär detta en avsevärd fördyring som inte på kort sikt kan åläggas denne. Det behövs någon typ av hantering från samhället. Ett skifte till 100 % HVO innebär ungefär en fördubbling av drivmedelskostnaden. Ett skifte till alkoholdrivmedel innebär en

dryg fördubbling, ca 2,5 gånger dagens drivmedelskostnad. Totalt ca 0,23 SEK/kWh med HVO jämfört med diesel, HVO minst 3 % dyrare vid pump samt ingen återbetalning av skatt.

För lantbruket och skogsbruket är fördyringen ännu större eftersom företagare inom dessa näringar erhåller återbetalning av koldioxidskatt med 1 930 SEK/m³ fossildiesel. Denna återbetalning gäller inte HVO 100 eller B100 (100 % biodiesel), men däremot fossil diesel med låginblandning. Det motsvarar ca 0,187 SEK/kWh för fossil diesel. För den enskilde företagaren läggs detta ovanpå den fördyring som användning av förnybara drivmedel innebär. Ett positivt och kreativt sätt att omvandla denna återbetalning till en morot för att främja förnybara drivmedel vore bättre.

Drivmedelsbolagen och åkerinäringen har betydande praktiska kunskaper om hantering av alkoholer och andra drivmedel. Kunskapen finns alltså att tillgå om det skulle bli aktuellt med utvidgad användning. Även andra sektorer, exempelvis reningsverk, har goda kunskaper och kompetens att hantera alkoholer, däribland metanol. Däremot finns det ett område mellan den storskaliga professionella hanteringen och användning i motorer där både material, teknik och kompetens behöver utvecklas: från den storskaliga distributionen till bränsletanken på fordonet. Transportfordon kan transportera samma volym, men däremot inte samma energimängd eftersom energitätheten är betydligt lägre för alkoholer.

Att börja använda ett nygammalt drivmedel för med sig ett behov av utbildning för hantering av dessa. Eftersom de flesta människor stött på och kanske hanterat alkoholer, kan det finnas en generell bild av att de inte farliga kemikalier. Dock är det en avsevärd skillnad i och riskökning mellan att hantera små mängder respektive volymer på tusentals liter. Ett exempel är erfarenheterna av metanolanvändning inom racingsporten. Under flera tiotals år användes metanol eftersom det var mindre brandfarligt än bensin i de begränsade volymerna som varje bil har med sig. Vid bränder med små volymer är alkoholer mindre problematiska än exempelvis bensin, men vid stora volymer är de mer problematiska.

Att hantera alkoholer i stor skala finns det stor erfarenhet av i Sverige, både gällande transporter och lagring. Alkoholer som drivmedel har också använts i form av etanol i E85 och ED95; metanol som drivmedel inom racingsport (Sv. Bilsportförbundet) och dual fuel i sjöfartstillämpningar som t.ex. färjan Stena Germanica (Ellis et al, 2018, Ramne et al, 2018). Att försörja arbetsmaskiner med drivmedel via små pickup-lastade cisterner sätter vissa volymbegränsningar om man inte är beredd att gå en ADR-kurs. Mängden energi som får transporteras utan utbildning är knappt 36 % av vad som får transporteras i form av diesel.

Jämfört med diesel innebär övergång till alkoholer att ett brandfarligare drivmedel ska hanteras. Det är i samma brandklass som bensin. Brandklassningen till brandklass 1 innebär att hantering och hanteringsrutiner måste justeras i förhållande till hantering av diesel.

Blandningar mellan alkoholer och andra kemikalier/drivmedel, som t.ex. de existerande E85 och ED95, men även andra framtida bränslekombinationer, har egenskaper som påverkas av både dess alkoholkomponent och dess övriga komponenter. Detta kan göra dess beteende mer svåranalyserat. Många egenskaper är inte en linjär funktion av sammansättningen, utan det kan räcka med en mindre mängd alkoholer eller kolväten för att ändra bränslets egenskaper i betydande omfattning. Detta ställer därför större krav på användare och andra som kommer i kontakt med drivmedlet.

Det finns flera vägar att gå både för användning och framställning av alkoholerna etanol och metanol. Detta innebär en fördel eftersom flexibiliteten är betydande. Möjligheterna för användning i bränsleceller, ottomotorer och dieselmotorer samt i nya motorkoncept ger en stor användningstrygghet. Råvarukällor för produktion är också flexibla med elektrobränsle, biomassa och restprodukter från skogs-, jordbruket, biogas och naturgas. Dessutom kan alkohol pumpas och lagras i cisterner. Negativt är den relativt låga energitätheten. En positiv egenskap är alkoholors miljöaspekter vid bränslespill. Deras lättnedbrytbarhet i naturen är positivt i jämförelse med fossila kolväten.

Klimatpåverkan från användning av alkoholdrivmedel inom de studerade sektorerna domineras av produktionen av bränslet och dess användning i fordonet. Produktion påverkar genom den klimatpåverkan det ger upphov till genom utvinning av fossil kol för fossila drivmedel och genom effekterna av odling och bearbetning för biodrivmedel. Produktion av alkoholer medför för de studerade drivmedlen lika eller lägre utsläpp än HVO.

Användningen påverkar genom att verkningsgraden styr hur mycket drivmedel som krävs för att producera 1 kWh mekaniskt arbete ut ur motorn. Detta gör att verkningsgraden i fordonen får mycket stor betydelse vid jämförelse av användning av alkoholer med olika drivlinekoncept. Med högeffektiva motortyper som PPC och HCCI samt högttemperatursbränsleceller uppnås de största utsläppsreduktionerna. Samtidigt ställer dessa koncept större krav på förändringar av fordonen och är i dagsläget längre ifrån kommersialisering, än drivlinevarianter med mindre förbättringspotential.

Både miljöpåverkan från drivmedelsproduktion och fordonets verkningsgrad är förknippade med relativt stora osäkerheter. Miljöpåverkan från drivmedelsproduktionen beror på en mängd faktorer som bördighet vid odling, hur odlingsarbetet utförs, utnyttjande av biprodukter etc. Den beräknade miljöpåverkan beror även på val vid utförande av livscykelanalyser som t.ex. gjorda allokeringar och systemutformning. Den uppskattning av fordonets verkningsgrad som används är baserad på expertkunskap och litteraturstudier. Även motorer av samma typ kan designas och styras på olika sätt, vilket kommer att ge upphov till en relativt betydande variation i verkningsgrad. Även användningen påverkar. Det är i allmänhet lättast att uppnå hög verkningsgrad vid relativt hög belastning av motorn. Körcykler med betydande användning vid låg belastning kan förväntas ha lägre verkningsgrad (och därmed högre miljöpåverkan). Körcyklerna påverkar också möjligheterna att utnyttja ännu ej kommersialiserade tekniker som motorer som använder PPC eller HCCI, liksom t.ex. högttemperatursbränsleceller. Dessa fungerar bäst vid relativt jämn belastning.

Utgångspunkten för livscykelanalysen har varit att fordon som använder förbränningsmotorer uppfyller existerande lagkrav, men inte mer. Med alkoholbränslen är det lättare att uppnå låga utsläpp av framför allt partiklar. Det finns därför sannolikt en nytta ur ett hälso- och arbetsmiljöperspektiv som inte framgår av livscykelanalysen. Denna är sannolikt störst för maskiner som har relativt "ryckiga" körmönster. Dessa har höga utsläpp av partiklar med kolvätebränslen då det kan vara svårt att tillföra tillräckligt med luft och syre till motorn under hela arbetscykeln. Med bränslen som innehåller syre blir detta lättare.

Alkoholbränslenas höga oktantal gör dem till intressanta bränslen för motorkoncept baserade på tidig injicering i dieselmotorer, såsom PPC och HCCI. Dessa har potentialen att kombinera högre verkningsgrad än traditionella dieselmotorer med låga utsläpp av NO_x och partiklar.

Handelspriset för CO₂-utsläppsrätter ligger idag på ungefär 0,07 SEK/kg, och det finns indikationer på att det inom några år stabiliseras på omkring 0,23 SEK/kg. Den prisnivån motiverar inte en omställning till något av de jämförda drivmedlen.

Används däremot Trafikverkets kalkylvärden som beräkningsgrund för kostnad av koldioxidutsläpp (1,21 SEK/kg CO₂-ekv. (1,14 SEK år 2014)) så faller endast alternativen med låg årlig användning bort samt alternativen med tändförstärkare. Vid känslighetsanalysberäkningar rekommenderar Trafikverket värdet om ca 3,71 SEK/kg (3,5 SEK år 2014), alla exemplen har lägre kostnad än så. Tabellens värden redovisar olika transportavstånd för de olika drivmedlen, hanteringskostnader och driftstimmar för arbetsmaskinen. Därför ska den lämpligen läsas av som en praktisk känslighetsanalys.

REFERENSER

- Acea (2018). ACEA E10 Compatibility list.
https://www.acea.be/uploads/publications/ACEA_E10_compatibility.pdf
- Agroetanol (2019), Personlig kommunikation
- Akhaier, M.A.F, Kamarudin, S.K. (2016) Catalysts in direct ethanol fuel cell (DEFC): An overview. International Journal of Hydrogen Energy 41:4214-4228
- An, H., Yang, W.M., Li, J. (2015). Numerical modeling on a diesel engine fuelled by biodiesel-methanol blends. Energy Conversion and Management 93, 100–108.
- An, L., Zhao, T.S., Li, Y.S. (2015) Carbon-neutral sustainable energy technology: Direct ethanol fuel cells. Renewable and Sustainable Energy Reviews 50 (2015) 1462–1468
- Andersson, M. & Sundén, B. (2017). Technology review – Solid Oxide Fuel Cell. Report 2017:359
- Avgouropoulos, G. Ioannides, T, Kallitsis, J.K., Neophytides, S. (2011) Development of an internal reforming alcohol fuel cell: Concept, challenges and opportunities. Chemical Engineering Journal 176– 177 (2011) 95– 101
- Badwal, S. P. S., Giddey, S., Kulkarni, A., Goel, J., Basu, S. (2015) Direct ethanol fuel cells for transport and stationary applications – A comprehensive review Applied Energy 145, 80-103
- Badwal, S. P. S. Giddey, S. S., Munnings, C., Bhatt, A. I. & Hollenkamp, A. F. (2014) Emerging electrochemical energy conversion and storage technologies. Frontiers in Chemistry 2, 79
- Balki, M. K., Sayin, C., Sarıkaya, M. (2016). Optimization of the operating parameters based on Taguchi method in an SI engine used pure gasoline, ethanol and methanol, Fuel 180 Pages 630-637
- Bernardes Pedrozo, V. (2017), An experimental study of ethanol-diesel dual-fuel combustion for high efficiency and clean heavy-duty engines. PhD Thesis.
- Blomqvist, P., Evegren, F., Willstrand, O. & Arvidson, M (2015) preFLASH - Preliminary study of protection against fire in low-flashpoint fuel. Fire Research SP Report 2015:51
- Boretti, A. (2012) Advantages of converting Diesel engines to run as dual fuel ethanol-Diesel. Applied Thermal Engineering 47 (2012) 1-9
- Brunberg, T (2013) Skogforsk nr. 789–2013. Arbetsrapport bränsleförbrukningen hos skogsmaskiner 2012,
- Brynolf, S., Fridell, E. & Andersson, K. (2014) Environmental assessment of marine fuels: liquefied natural gas, liquefied biogas, metanol and bio-metanol. Journal of Cleaner Production 74, 86-95
- Bodensjö, H. (2018) Inget trendbrott i statistiken om dieselstöld, Tidningen Proffs
<https://www.tidningenproffs.se/nyhet/2018/12/inget-trendbrott-i-statistiken-om-dieselstolder/> (2018-12-17)
- Candan, F., Ciniviz, M. & Ors, I. (2017). Effect of Cetane Improver Addition Into Diesel Fuel, Thermal Science, 21:1B, 555-566

Carrette, L., Friedrich, K. A., Stimming, U. (2001) Fuel Cells – Fundamentals and Applications. Fuel Cells 1:1, 5-39

Chandan, K., Rana, K. B., Tripathi, B., Gupta, P. (2018). Combustion Characteristics of Methanol Blended Diesel Fuel in CI Engine, Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res., 50(1), 101-104

Cheng, L. W. & Keong, B. C. M (2017) Siphoning diesel: a fatal mistake, Med J Malaysia 72:5 (<http://www.e-mjm.org/2017/v72n5/chemical-pneumonitis.pdf>)

Circle K (2019), Personlig kommunikation

Costagliola, M.A., De Simio, L., Iannaccone, S. & Prati, M.V. (2013) Combustion efficiency and engine out emissions of a S.I. engine fueled with alcohol/gasoline blends Applied Energy 111, 1162-1171

Dierickx, J., Sileghem, L. och Verhelst, S. (2019). Efficiency and emissions of a high-speed marine diesel engine converted to dual-fuel operation with methanol. Meeting the Future of Combustion Engines, CIMAC Congress, CIMAC World Congress on Combustion Engine, 29. p.1-14

Ellis, J., Ramne, B., Bomanson, J., Molander, P., Tunér, M., Aakko-Saksa, P., Svanberg, M., Rydbergh, T., Berneblad, B. (2018) SUMMETH –Sustainable Marine Methanol http://summeth.marinemethanol.com/reports/SUMMETH-D6_2-SummaryReport_fnl.pdf

Emiliana Serbatoi (2019), Personlig kommunikation

Energifabriken (2019), Personlig kommunikation

Energimyndigheten (2017). Övervakningsrapport avseende skattebefrielse för flytande biodrivmedel under 2016.

Engineering ToolBox, (2003). *Gases - Explosion and Flammability Concentration Limits*. [online] Available at: https://www.engineeringtoolbox.com/explosive-concentration-limits-d_423.html.

Engineering ToolBox, (2005). *Flash Point - Liquids*. [online] Available at: https://www.engineeringtoolbox.com/flash-point-fuels-d_937.html

Engineering ToolBox, (2003). *Fuels and Chemicals - Autoignition Temperatures*. [online] Available at: https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-ignition-temperatures-d_171.html.

Fadzillah, D.M., Kamarudin, S.K., Zainoodin, M.A., Masdar, M.S. (2019) Critical challenges in the system development of direct alcohol fuel cells as portable power supplies: An overview. International Journal of Hydrogen Energy 44: 3031-3054

FFFM (2016), Fire fighting foam coalition: Best Practice Guidance for Use of Class B Fire Fighting Foams. <https://fluorocouncil.com/wp-content/uploads/2017/06/bestpracticeguidance.pdf>

Furusjö, E., Jafri, Y., Wetterlund, E., Anheden, M., Kulander, I., Wallinder, J. & Håkansson, Å. (2018) Teknoekonomisk utvärdering av kortsiktiga och långsiktiga teknikspår för integrerad biodrivmedelsproduktion – sammanfattningsrapport. Rapport nr 2018:08, f3 Svenskt kunskapscentrum för förnybara transportbränslen. Tillgänglig på www.f3centre.se.

- Goetz, W., Barringer, C. & Thurston, D. (1996) From a dual fuel diesel-ethanol farm tractor to an optimum 4-stroke heavy-duty ethanol engine. http://archive.tpub-products.com/pdfs/Automotive/Alternative_Fuels_1/2506.pdf
- Hallberg, L., Rydberg, T., Bolin, L., Dahllöf, L., Mikaelsson, H., Iverfeldt, E. & Tivander, J., (2013) Well-to-wheel LCI data for fossil and renewable fuels on the Swedish market. Report No 2013:29, f3 The Swedish Knowledge Centre for Renewable Transportation Fuels, Sweden.
- Hansen, A. C., Zhang, Q., Lyne, P.W. L. (2005). Ethanol–diesel fuel blends—a review. *Bioresource Technology* 96,277–285
- Hansson, P.-A., Haupt, D., Holmgren, K., Johansson, B., Lindgren, M., Löfgren, B., Nord, K., Norén, O., Pettersson, O., Wetterberg, C. (2002), Utveckling av relevanta arbetscykler och emissionsfaktorer samt reducering av bränsleförbrukning för arbetsmaskiner (EMMA)/Development of relevant work cycles, emission factors and reduction of fuel consumption for working machines, JTI-rapport Lantbruk & Industri 309
- Héder, M. (2017) From NASA to EU: the evolution of the TRL scale in Public Sector Innovation, *The Innovation Journal: The Public Sector Innovation Journal*, 22:2
- Helm Skandinavien A/S (2019) Adrian Klage, Personlig kommunikation
- Hotz, N., Zimmerman, R., Weinmueller, C., Lee, M.-T., Grigoropoulos, C. P., Rosengarten, G., Poulikakos, D. (2010) Exergetic analysis and optimization of a solar-powered reformed methanol fuel cell micro-powerplant. *Journal of Power Sources* 195 1676–1687
- Identic AB (2019), Personlig kommunikation
- Janusinfo (2019) Metanol
<https://www.janusinfo.se/behandling/akutinternmedicin/forgiftningarspecielldel/preparatgenomgang/forgiftningar/metanol.5.1ea9f2b5161097babdcb730.html>
- Joghee, P., Malik, J. N., Pylypenko, S. & O’Hayre, R. (2015), A review on direct methanol fuel cells – In the perspective of energy and sustainability. *MRS Energy & Sustainability: A Review Journal* 1-31
- Joensen, F., Rostrup-Nielsen, J. R. (2005) Conversion of hydrocarbons and alcohols for fuel cells, in Dr. Nigel Brandon; Dr. David Thompsett (ed.), *Fuel Cells Compendium*. 2005. Elsevier.
- Jordbruksverket (2018). Jordbruksstatistisk sammanställning 2018.
<http://www.jordbruksverket.se/download/18.563019b71642b2ff18eee280/1530098102447/Kapitel%202%20F%C3%B6retag%20och%20f%C3%B6retagare.pdf>
- Joseph, H., (2007). The Vehicle Adaptation to Ethanol Fuel to Ethanol Fuel, Royal Society Multilateral Second Generation Biofuels Event, 23 and 24 April 2007 and 24 April 2007, The Royal Society, London, UK
- Kamarudin, M.Z.F. , Kamarudin, S.K., Masdar, M.S. & Daud, W.R.W. (2013). Review: Direct ethanol fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy* 38:9438-9453

- Khalifeetal, E., Tabatabaei, M., Demirbas, A., Aghbashlo, M. (2017) Impacts of additives on performance and emission characteristics of diesel engines during steady state operation. *Progress in Energy and Combustion Science* 59,32-78
- Kumar, C., Rana, K. B., Tripathi, B., Gupta, P. (2018). Combustion Characteristics of Methanol Blended Diesel Fuel on Diesel Engine. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research* 50(1), 101-104
- Lamy, C., Lima, A., LeRhun, V. Delime, F., Coutanceau, C., Léger, J.-M. (2002). Recent advances in the development of direct alcohol fuel cells (DAFC). *Journal of Power Sources*, 105, 283-296
- Lantbruksnytt.com (2019) Traktorstatistik
- LBK (2016), Brandvarnings system och släckutrustning,
<https://www.brandskyddsforeningen.se/globalassets/lbk/flikar/flik-10.pdf>
- Leo, T. J., Raso, M. A., Navarro, E., Sánchez-de-la-Blanc, E. (2011). Comparative exergy analysis of direct alcohol fuel cells using fuel mixtures. *Journal of Power Sources* 196:3, 1178-1183
- Li, Q., He, R., Gao, J.-A., Jensen, J. O. & Bjerrum, N. J. (2003) The CO Poisoning Effect in PEMFCs Operational at Temperatures up to 200 °C, *Journal of The Electrochemical Society*,150:12, A1599-A1605
- Li, Y., Jia, M., Xu, L., & Bai, X.-S. (2020) Multiple-objective optimization of methanol/diesel dual-fuel engine at low loads: A comparison of reactivity controlled compression ignition (RCCI) and direct dual fuel stratification (DDFS) strategies. *Fuel* 262, 116673
- Lindgren, M, Larsson, G. & Hansson, P.-A. (2010), Evaluation of factors influencing emissions from tractors and construction equipment during realistic work operations using diesel fuel and bio-fuels as substitute, *Biosystems Engineering* 107:2, 123-130
- Lindälv, I. (2017). Metanol as a renewable fuel –a knowledge synthesis. f3 2015:08
- Log, T. & Moi, A. L. (2018), Ethanol and Metanol Burn Risks in the Home Environment, *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15 (11): 2379.
- Lunds Tekniska Högskola, Energivetenskaper (2019), Personlig kommunikation
- Malte Fuel & Wash AB (2019), Personlig kommunikation
- Methanex (2019), Personlig kommunikation
- Mishra, C., Kumar, N., Chauhan, B.S., Lim, H.C., Padhy, M. (2013). Some Experimental Investigation on use of Methanol and Diesel Blends in a Single Cylinder Diesel Engine. *International Journal of Renewable Energy Technology Research*, 2: 1, 01 -16
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2012) Brandfarliga vätskor i hem- och fritidsmiljö,
<https://www.msb.se/RibData/Filer/pdf/25569.pdf>
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2019), Personlig kommunikation
- Naturvårdsverket (2019a), <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-territoriella-utslapp-och-upptag/>

- Naturvårdsverket (2019b), Personlig kommunikation
- Nature Energy volume 4, pages 957–968 (2019)
- Nima (2019), Personlig kommunikation
- Olah, G. A., Goeppert, A. och Prakash, G. K. S. (2007). Bortom Olja och Gas. Industrilitteratur
- Pedrozo, V. B., May, I. Nora, M. D., Cairns, A., Zhao, H. (2016). Experimental analysis of ethanol dual-fuel combustion in a heavy-duty diesel engine: an optimization at low load. Applied Energy 165, pp166-182.
- PK Produkter AB (2019), Personlig kommunikation
- Ramne, B., Bomanson, J., Molander, P., Ellis, J., Errestad, E. och Klintenberg, H. (2018) GreenPilot–Pilot Boat with Minimal Environmental Impact, <https://smtf.se/wp-content/uploads/2019/02/D8.3-Final-Report-ver20181128-with-appendices2.pdf>
- Ridell, B. (2019), Personlig kommunikation
- Rietberg-Behaelter (2019), Personlig kommunikation
- Rouhento, V. (2018) Manufacturing of a Non-road Diesel Engine from the Life Cycle Perspective. Tampere University of Technology
- Räddningstjänsten Östra Skaraborg, Rasmus Frid
- Safepac AB, Farligt Gods Skolan
- Sarathya, S. M., Oßwald, P., Hansen, N. & Kohse-Höinghaus, K. (2014), Alcohol combustion chemistry, Progress in Energy and Combustion Science: 44:40-102
- Sandbergs i Jämtland AB
- Sangtongkitcharoen, W. , Vivanpatarakij, S., Laosiripojana, N., Arpornwichanop, A., Assabumrungrat, S. (2008) Performance analysis of methanol-fueled solid oxide fuel cell system incorporated with palladium membrane reactor. Chemical Engineering Journal 138436–441
- Sayin, C. & Canakci, M. (2009) Effects of injection timing on the engine performance and exhaust emissions of a dual-fuel diesel engine. Energy Conversion and Management. 50:1, 203-213
- Scania (2019), Personlig kommunikation
- SEKAB (2019), Personlig kommunikation
- Serenergy (2020), H3 500 datasheet <https://serenergy.com/wp-content/uploads/2019/10/H3-5000-Datasheet.pdf>
- Shaw’s Environmental and Infrastructure Group (2011) Large Volume Ethanol Spills – Environmental Impacts & Response Options <https://www.mass.gov/files/2017-08/ethanol-spill-impacts-and-response-7-11.pdf>
- Skaraborgs Oljedepå AB (2019), Personlig kommunikation

Skogforsk (2019), Personlig kommunikation

Skogma (2019), Personlig kommunikation

Skogsstyrelsen (2019). Statistikdatabas: Avverkad volym (milj. m³sk) på alla ägoslag efter landsdel och trädslag. År (3-årsmedeltal) 1983-2016

http://pxweb.skogsstyrelsen.se/pxweb/sv/Skogsstyrelsens%20statistikdatabas/Skogsstyrelsens%20statistikdatabas_Bruttoavverkning/JO0312_10.px/table/tableViewLayout1/?rxid=2a53bf1a-d59a-4635-a36a-b48a13b1ccab

Skövde Kommun Stefan Lilja, Kjerstin Frank, med flera (2019), Personlig kommunikation

Statistikmyndigheten SCB (2019), Personlig kommunikation

Svenska Petroleum & Biodrivmedel Institutet (2019), Personlig kommunikation

Svenska Bilsporförbundet, Rolf Lundberg och Frank Johansen (2019), Personlig kommunikation

Stokes, H. (2005) Alcohol Fuels (Ethanol and Metanol): Safety (Paper) ETHOS Conference 2005

Suleiman, B., Abdulkareem, A.S. , Musa, U., Mohammed, I.A., Olutoye, M.A. & Abdullahi, Y.I. (2016) Thermo-economic analysis of proton exchange membrane fuel cell fuelled with methanol and methane. Energy Conversion and Management 117 (2016) 228–240

Torres-Jimenez, E., Svoljšak Jerman, M. Gregorc, A., Lisec, I., Dorado, M. P., Kegl, B. (2011). Physical and chemical properties of ethanol–diesel fuel blends, Fuel 90: 2, 795-802

Trafikverket. Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 6.0. Version 2016-04-01. Kapitel 12 Kostnad för climateffekter

Tribioli, L., Cozzolino, R., Chiappini, D., Iora, P. (2016) Energy management of a plug-in fuel cell/battery hybrid vehicle with on-board fuel processing. Applied Energy 184 140–154

Tunér, M. (2017). Towards ultra-efficiency and zero-emissions with methanol engines. SUMMETH Final Seminar. December 6, 2017

Tunér, M., Aakko-Saksa, P. & Molander, P. (2018) SUMMETH –Sustainable Marine Methanol Deliverable D3.1 Engine Technology, Research, and Development for Methanol in Internal Combustion Engines

<https://pdfs.semanticscholar.org/6f8a/361d63cd8145b1bcd354c16719b97ab3f78b.pdf>

Tunér, M. (2019), Personlig kommunikation

Tuominen, T. (2016) Potential of Methanol in Dual Fuel Combustion. Master Thesis, Aalto University

Vale, A. (2007) Metanol, Medicine 35:12, 633-634

Vander Sande, A. (2018). Implementation and validation of closed-loop controlled HCCI operation in a commercial diesel engine. https://lib.ugent.be/fulltxt/RUG01/002/494/521/RUG01-002494521_2018_0001_AC.pdf

- Volkert, J. C. (2015), Fire and fire extinguishment - A brief guide to fire chemistry and extinguishment theory for fire equipment service technicians <https://www.amerex-fire.com/upl/downloads/educational-documents/fire-and-fire-extinguishment-99cd88b2.pdf>
- Wetterberg, C., Magnusson, R., Lindgren, M. & Åström, S. (2007). Utsläpp från större dieseldrivna arbetsmaskiner. Technical Report. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet. Rapport. Miljö, teknik och lantbruk; 2007:03
- Yang, B. C., Koo, J., Shin, J. W., Go, D., Shim, J. H. & An, J. (2019), Direct Alcohol-Fueled Low-Temperature Solid Oxide Fuel Cells: A Review. *Energy Technology*, 7:1, p. 5-19
- Zhen, X., Wang, Y. (2015). An overview of methanol as an internal combustion engine fuel, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 52 (2015) 477–49
- Özgür, T., Tosun, E., Özgür, C., Tüccar, G., & Aydın, K. (2017). Performance, Emission And Efficiency Analysis Of A Diesel Engine Operated With Diesel And Diesel-Ethanol (E20) Blend. *MATTER: International Journal of Science and Technology*, 3(3), 51-61.



Persson f.N.B. AB