

Avdeling for anvendt økologi og landbruksfag
Blæstad

Filip Vatne

Bacheloroppgave

Ett innblikk i dieselegenskaper og en sammenligning av HVO, FAME og konvensjonell diesel

An insight into diesel properties and a comparison
of HVO, FAME and conventional diesel fuel

Bachelor i Landbruksteknikk

2019

Samtykker til tilgjengeliggjøring i digitalt arkiv Brage JA ☒ NEI ☐

Forord

Denne oppgaven markerer slutten på mitt bachelorstudium i landbruksteknikk ved høyskolen i innlandet, avdeling Blæstad.

Dette har vært en lærerik oppgave hvor jeg har tilegnet meg mye kunnskap om diesel, og spesielt dens tekniske egenskaper. Planlegging og utføring av det praktiske forsøket har også vært en lærerik prosess, og det har vist meg hvor mye som skal til for å få tilfredsstillende data. I sammenheng med oppgaveskrivingen har jeg også fått være en del av prosjektet «Ren biodiesel i norsk landbruk» eid av Landbruk 21 i Trøndelag. Dette har også vært svært lærerikt og jeg er takknemlig for å ha fått mulighet til å delta på prosjektets møter.

Jeg vil også takke de andre som har bidratt til oppgaven. Stor takk rettes til Hans Christian Endrerud for veiledning i oppgaven samt hjelp i planlegging og tilrettelegging av forsøket. Ditt engasjement og vilje til å løse utfordringer settes stor pris på. Gjennom oppgaven har jeg hatt gleden av å jobbe tett på min klassekamerat Øivind Karlsen da vi brukte samme forsøket som utgangspunkt i våre oppgaver. Jeg vil takke ham for et godt samarbeid. Takk til Sarah Louise Loftheim for god hjelp med anskaffelse av litteratur samt veiledning. Jeg vil også takke Tjabe Johannes van Lessen for hjelp med anskaffelse av litteratur. Til slutt vil jeg takke Inger Joy Vatne for korrekturlesing.

Filip Vatne

Hamar, 23 mars 2019

Innhold

FORORD	3
INNHold	4
NORSK SAMMENDRAG.....	6
ENGELSK SAMMENDRAG (ABSTRACT)	7
2. INNLEDNING	8
2.1 BAKGRUNN FOR OPGAVEN	8
2.2 PROBLEMSTILLINGER OG AVGRENSNINGER	10
2.3 OPPGAVENS HENSIKT	11
2.4 OPPBYGGING	11
3. TEORI	12
3.1 FORBRENNINGSTEORI.....	12
3.2 DIESEL STANDARDER	18
3.2.1 Konvensjonell - EN 590.....	18
3.2.2 HVO - EN 15940.....	19
3.2.3 FAME - EN 14214.....	19
3.2.4 Sammenligning.....	20
3.3 OPTIMALISERING AV MOTORER	21
3.3.1 Konstruksjon	21
3.3.2 Konvensjonell.....	22
3.3.3 HVO	22
3.3.4 FAME	23
4. FORSØK	25
4.1 MATERIAL OG METODE	25

4.2	RESULTATER	28
5.	DISKUSJON OG ANALYSE	36
6.	KONKLUSJON	39
6.1	VIDERE ARBEID	39
	LITTERATURLISTE	41

Figurliste

Figur 1: Trykkgangen i forbrenningsrommet i en dieselmotor. Cetantall kan endre trykkverdier og på hvilke veivgrader disse intrefør. Figur (Strømsnes, Tufte, 1987, s. 70).....	14
Figur 2: Skissen demonstrerer måling av viskositet i et kapilar-viskosimeter. Figur (Troyer, s.a.)	16
Figur 4 oppsett av dieseltilførsel og vekt. Foto: Øivind Karlsen	25
Figur 5 Relevante data for traktorene som var med i forsøket.	27
Figur 6: Effektkurver for Volvo T 430.....	28
Figur 7: Spesifikt volumetrisk forbruk for Volvo T 430.....	29
Figur 8: Volumetrisk forbruk Volvo T 430.....	29
Figur 9: Effektkurver for John Deere 7700.	30
Figur 10: Spesifikt volumetrisk forbruk for John Deere 7700.	31
Figur 11: Volumetrisk forbruk for John Deere 7700.	32
Figur 12: Effektkurver for Massey Ferguson 7475.	33
Figur 13: Spesifikt volumetrisk forbruk for Massey Ferguson 7475	34
Figur 14: Volumetrisk forbruk for Massey Ferguson 7475.	35

Tabelliste

Tabell 1: Oversikt over kravene til noen av de viktigste dieselegenskapene med tanke på forbruk og effekt for konvensjonell, HVO og FAME diesel. (Neste, 2016; Theocharis et al., 2019).....	20
Tabell 2: Hvordan dieselforbruk og NO _x utslipp endrer seg ved endring av innsprøytningsstidspunktet. Referansen er EN 590 diesel (Neste, 2016, s. 48)	23

Norsk sammendrag

Oppgaven gir en innføring i dieselegenskaper som påvirker forbrenning i hurtiggående dieselmotorer, og sammenligner HVO (hydrotreated vegetable oil) og FAME (fatty acid methyl esters) med konvensjonell diesel. I tillegg tar den for seg hvordan hovedsakelig HVO diesel påvirker traktormotorens effekt-produksjon og forbruk i sammenligning med konvensjonell diesel. Dette er betydningsfullt for forbruker i vurderingen om å ta i bruk denne dieselen. Siden HVO er et fornybart drivstoff kan dette bli svært aktuelt i nær framtid også i landbruket da det settes økt fokus på fornybare energikilder. HVO er en biodiesel som kun har vært på markedet noen få år, og kan bli ett mye mer utbredt produkt på markedet om kort tid. Oppgaven gir også et innblikk i hvordan HVO kan måles opp mot 1. generasjon biodiesel (FAME).

Oppgaven gir ett teoretisk innblikk i dieselens tekniske egenskaper og hvordan noen av dem påvirker forbrenningen på ulike måter. Dette gir bakgrunn for å forstå noe av potensialet i de ulike dieselene og gir en bedre forståelse av resultatet i forsøket. Forsøket gikk ut på å måle dieselforbruk og effektproduksjon når traktorene ble driftet på de tre forskjellige dieselene. Tre ulike traktorer ble bremsset med dynamometer og resultatene framstilles i grafer og sammenlignes.

Konklusjonen er at det er små forskjeller mellom HVO og konvensjonell diesel, mens det er noe større forskjell fra FAME til konvensjonell. HVO har et noe lavere effektuttak samtidig som at volumetrisk forbruk er noe høyere.

Engelsk sammendrag (abstract)

This thesis presents an introduction to diesel fuel properties for diesel used in high speed diesel engines and compares HVO (hydrotreated vegetable oil) and FAME (fatty acid methyl esters) with conventional diesel. It also deals with how mainly HVO affects power and fuel consumption on a tractor engine in comparison to conventional diesel. This is of importance for the consumer in a decision on whether or not to use HVO diesel. As HVO is a renewable fuel, it can become relevant in the near future, also in the agricultural sector because of the increased focus on renewable energy. HVO is a biodiesel which has only been on the market for a couple of years and can quickly become a much more widely used product. This thesis also gives insight into how HVO can be compared to 1st generation biodiesel.

The thesis gives theoretical insight into the technical properties of diesel fuel, and how some of them affect combustion in different ways. This gives some background for understanding potential in the three different fuels and also a better understanding of the results from the test. The point of the test was to measure fuel consumption and power output when the tractors were operated on the different fuels. Three different tractors were tested with a dynamometer and the results from the test are presented in line charts and are compared.

The conclusion is that there are small differences between HVO and conventional diesel, whereas there are larger differences between FAME and conventional diesel fuel. HVO has a slightly lower power output and a slightly higher volumetric fuel consumption.

2. Innledning

I dette kapittelet vil bakgrunnen for oppgaven bli presentert. I tillegg vil problemstillinger bli lagt fram og avgrensninger vil bli satt.

2.1 Bakgrunn for oppgaven

«I landbrukssektoren finnes det ingen kostnadseffektiv erstatning for diesel motorer som har samme kombinasjon av energi-effektivitet, effekt og yteevne, holdbarhet og driftssikkerhet» (Diesel Technology Forum). Påstander som denne sier mye om hvorfor dieselmotoren er så utbredt, og det er grunn til å tro at den kommer til å bli en stund, i og med at det kan være utfordrende å finne en fullverdig erstatning. Det settes for øvrig stadig mer fokus på fornybare energikilder, og dette er et område hvor dieselmotoren tradisjonelt sett ikke kommer godt ut. Dette skyldes i hovedsak forbrenningen av fossile energikilder. Så hva om motoren kan beholdes, men energikilden gjøres mer bærekraftig?

Dieselmotoren er en kompresjonstennings motor oppfunnet av Rudolf Diesel i 1892 (New world encyclopedia contributors, 2017b). Siden dens oppfinnelse har dieselmotoren blitt svært utbredt, spesielt til oppgaver av høy belastning hvor effektbehovet er relativt jevnt. Dette gjør dieselmotoren svært egnet til traktorer og har i lengre tid vært en hovedkilde til energi for mekanisk arbeid i landbruket. Selv om motoren i seg selv er svært godt egnet til bruk i traktorer, er det for øvrig diskusjoner rundt hvordan forbruket av petroleumsbasert drivstoff kan reduseres grunnet miljøutfordringer. På grunn av dette er det en økende interesse rundt fornybare energikilder.

Det finnes alternative energibærere til landbruksmaskiner slik som elektrisk strøm, biogass og hydrogen, men alle disse har ulike utfordringer som gjør det krevende å legge om. Generelt er infrastruktur en utfordring når det gjelder leveranse og lagring av ulike gasser og drivstoff som krever annen håndtering enn hva som er tilrettelagt i dag.

Et drivstoff, eller mer presist energibæreren til et kjøretøy må på en eller annen måte løse oppgaven av å lagre energi på kjøretøyet inntil det skal brukes. Her er pris og energitetthet i forhold til vekt og volum viktige faktorer. Energibærere som krever store, tunge eller dyre lagringsmetoder kan gjøre kjøretøyet upraktisk og/eller ulønnsomt (U.S. Energy Information Administration, 2013).

I landbruket går ofte traktorer under stor belastning over lengre perioder og er dermed nødt til å ha med seg store mengder energi. De ulike gass og elektriske alternativene, inkludert hydrogen, byr som regel på utfordringer rundt det å få med seg tilstrekkelig mengde energi uten at dette går utover lønnsomhet eller praktisk utforming av traktoren. Ved bruk av batteri blir blant annet vekta meget høy om energi kapasiteten skal kunne sammenlignes med diesel (Richard, 2017).

Ved bruk av gass er volumet en utfordring da gass har lav energitetthet per volum enhet. Flytende hydrogen har en energitetthet på ca. 8 MJ/L(Energy.gov, u.å) i motsetning til diesel som har en tetthet på ca. 36 MJ/L(Iain, 2011). Dette forholdet på omtrent $\frac{1}{4}$ av energitetthet per volumenhet er tilnærmet det samme for komprimert naturgass (Rogers, 2015), og biogass er tilsvarende. Man må da i praksis ha drivstofftanker som er omtrent fire ganger så store som dagens dieseltanker for å ha med seg tilsvarende mengde energi. I tillegg til dette må tankene ofte tåle høyt trykk eller kjøles, noe som fører til høyere vekt og pris.

Ut ifra forutsetningene vi har i dag, med tanke på eksisterende maskinpark og infrastruktur, vil et flytende drivstoff som oppfyller kravene til dagens diesel motorer og er klimagass besparende være svært aktuell. Her finnes det en type drivstoff som er kjent under forkortelsen HVO (hydrotreated vegetable oil) som skal oppfylle disse kravene. Drivstoffet er produsert på biologisk råvare, men kan ikke sammenlignes med det som tidligere er kjent under samlebenevnelsen biodiesel (nå er den ofte referert til som 1. generasjon biodiesel) eller FAME (Fatty Acid Methyl Ester). Dette skyldes kjemiske og tekniske egenskaper. HVO oppfyller ifølge NESTE alle kravene som settes i den europeiske CEN-standard EN 590 bortsett fra minimums tetthet (Neste, 2016).

HVO er altså svært interessant for landbruksnæringa og andre sektorer som har mål om å redusere klimagass utslipp. Men det har utviklet seg en viss negativ holdning til biodiesel generelt. Delvis skyldes nok dette medias dekning, som over tid har endret seg. Her var det en tydelig endring i 2007 etter at Econ-rapporten kom ut (Econ, 2007). Rapporten handler om hvorvidt biodrivstoff er bærekraftig, og belyser en del negative sider som ikke var allmenn kjent før rapporten. Mye av den negative informasjonen omhandler palmeolje-produksjon. Før dette var det generelt positive holdninger til biodrivstoff i media ifølge rapporten «biodiesel i medias makt» (Østbye, Mossige, Smith & Christensen, 2008). I denne rapporten beskrives også en generell tendens til å ikke skille biodrivstoffene fra hverandre, og dermed blir det vanskelig å skape et nyansert bilde av de ulike drivstoffene.

I tillegg til at det ble satt i dårlig lys i «bærekrafts øyne» ble det også registrert en del tekniske utfordringer etter at man begynte å blande inn FAME drivstoff i vanlig autodiesel. I en artikkel på forskning.no kommer det fram at det var registrert en økning av problemer med tette drivstoffilter og dyser. Her kommer det også fram at et økende blandingsforhold av FAME fører til større utfordringer, blant annet utskiftning av motorkomponenter og dårlig stabilitet ved lagring (Hjorthol, 2015).

Da det florerer med meninger og nyhetsartikler rundt biodrivstoff, kan det være vanskelig å sette seg inn i hvordan disse drivstoffene egentlig fungerer og hvilke som er bra eller ei. I lyset av negativ media-dekning rundt biodrivstoff de siste åra kan det være utfordrende å lansere nye produkt under dette banneret. Det vil altså være nyttig å belyse fakta rundt HVO og se hvordan den teknisk sett måler seg med andre produkter på markedet.

2.2 Problemstillinger og avgrensninger

Problemstillingen i oppgaven er: Hvordan påvirker HVO effekten og forbruket på en traktor, og hvilke tekniske egenskaper spiler inn på dette?

Litteratur lir brukt i oppgaven for å tegne et bilde av hva diesel er; dens funksjon og virkemåte. Viktige tekniske egenskaper som påvirker effektuttak og forbruk vil også bli omtalt. Resultater fra egne praktiske tester blir presentert for å gi et bilde av hvordan dieselen oppfører seg i praksis.

Spørsmål som skal besvares:

- Hvordan er effektuttaket på HVO i motsetning til konvensjonell diesel?
- Hvordan er forbruket av HVO i motsetning til Konvensjonell diesel?

Avgrensninger:

- Miljøperspektiv og økonomi vil bli holdt utenfor, og det vil kun bli diskutert tekniske og praktiske forhold rundt diesel.
- Tekniske forhold begrenses til de som har direkte innvirkning på effekt og forbruk i en motor.
- Motorbelastningstestene ble utført på motorer slik de er innstilt til konvensjonell diesel, og tar ikke hensyn til hvordan det kunne vært med tilpassede innstillinger for HVO.

- Optimalisering og kalibrering av motorer vil bli behandlet overfladisk da dette ikke er fokus i oppgaven. Det beskrives allikevel kort fordi det kan ha en betydelig effekt på resultatene i bruk av de ulike drivstoffene
- Oppgaven tar ikke høyde for annet enn dagens teknologi og mulige løsninger over kort tid.
- Oppgaven omhandler dieselens virkning på en dieselmotor over kort tid, og tar ikke hensyn til redusert ytelse fra indirekte påvirkninger slik som soting, koksing og tette filter osv.
- Den tekniske innsikten omhandler dieselens (autodiesel) påvirkning kun på hurtiggående dieselmotorer, andre dieselmotorer vil ha andre resultater. Det fokuseres på innsprøyting og forbrenning og omhandler ikke motorer innenfor de ulike utslippskravene (euro-krav).

2.3 Oppgavens hensikt

Målet med oppgaven er å tegne et realistisk bilde om hvordan HVO vil påvirke traktorens ytelse med fokus på effekt og drivstofforbruk, samt belyse hvordan HVO vil kunne fungere i praksis som drivstoff på dagens landbrukstraktorer.

2.4 Oppbygging

Oppgavens første del består av en teoridel. Denne tar for seg aktuell eksisterende forskning og legger fram funn som er relevante for å kunne tolke og beskrive resultater i forsøket. Oppgavens andre del er en presentasjon av data fra et forsøk utført i praksis på 3 ulike traktorer. Her ble de 3 ulike dieselene testet for effektproduksjon og drivstofforbruk. Til slutt diskuteres funnene og kortfattet oppsummert i konklusjonen.

3. Teori

Diesel defineres ofte slik som her “en tung mineralolje brukt som drivstoff i diesel motorer” (Webster, s.a.), og det er ofte dette vi refererer til når vi bruker ordet i dagligtale. I lys av at dieselmotoren i prinsipp kun er avhengig av et drivstoff som er selvantennelig er en bedre definisjon: «*Diesel er et hvilket som helst drivstoff som brukes til å drifte en dieselmotor*» (New world encyclopedia contributors, 2017a). Dette begrenser da heller ikke diesel til å være et petroleumsbasert produkt, noe som det ikke er. «Diesel» vil videre i oppgaven bli bruk i denne forstand, ved andre mer spesifikke definisjoner vil dette bli gjort klart.

Da Rudolf Diesel først laget kompresjonstenningsmotoren var det tenkt at den skulle gå på flere ulike drivstoff blant annet kullstøv og peanøtt olje (New world encyclopedia contributors, 2017b). Han hadde ikke suksess med kullstøv som drivstoff, men utviklet en motor som gikk vellykket på olje. I 1927 begynte Bosch å masseprodusere innsprøytningsystem og i 1960 begynte man å nytte direkte-innsprøytning (gir blant annet lavere forbruk) på motorer i tyngre kjøretøyer som lastebiler, anleggskjøretøy og traktorer. I dag er det nesten uten unntak direkte-innsprøytning i disse motorene (Goering, 1992, s. 255 & 262), noe det også er i alle traktorene som ble brukt i test i denne oppgaven.

3.1 Forbrenningsteori

En dieselmotor drives av forbrenningen av diesel. For at dette skal kunne skje må dieselen forstøves, fordampe og blande seg med luft på riktig tid inni sylindren. Samtidig må den utsettes for temperaturer over selvantennelsestemperaturen til diesel, dette vil gjøre at den antenner. Den nødvendige temperaturen skapes ved høy kompresjon og dieselen tilføres på riktig tid av innsprøytningsystemet. Innsprøytningsystemet konstrueres på ulike måter, men må ha blant annet ei høytrykkspumpe og dyser/injektorer.

I direkteinnsprøytnings motorer blir dieselen sprøytet direkte inn i sylindren, i motsetning til ulike typer forkammer motorer. Dette medfører at dieselen har mindre tid til å blande seg med luft, og er derfor avhengig av blant annet god forstøving ut fra dysespissen. Dieselmotorens effekt/turtall reguleres ved mengde energi (diesel) som blir tilført. Dette blir regulert volumetrisk på motorer med mekanisk innsprøytningsystem, mens på common rail motorer styres dette elektronisk ved å regulere åpningstiden til injektoren. Man kan si at antennelsestidspunktet, forstøving/fordamping og tilført mengde energi er svært vesentlige

faktorer for effektiv forbrenning (Goering, 1992, s. 255-285). Disse faktorene avhenger for øvrig ikke kun på de tekniske utformingene, men også på dieselens egenskaper.

Drivstoff fremstilt av alle typer råvarer, til og med innenfor samme kategori har ulike egenskaper. Det er derfor laget standarder som motorprodusenter og drivstoffprodusenter følger. Standardene gjør at både motorer og drivstoff kan optimaliseres og tilpasses hverandre.

Selv om det finnes mange ulike energibærere som kan brukes som drivstoff i en dieselmotor skal vi forholde oss til flytende drivstoff som er aktuelle på dagens hurtiggående dieselmotorer. Diesel i en moderne (opp til 30-40 år gamle) dieselmotor må:

- ha høy energitetthet
- fordampe og antenne lett i motoren
- være relativt sikker å håndtere
- ha visse andre tekniske egenskaper

(Goering, 1992, s. 127)

Hvilke verdier som er nødvendig på de ulike egenskapene nevnt ovenfor vil kunne variere, men i dag er det utarbeidet standarder til de ulike typene diesel, og standarden som gjelder for autodiesel i Norge er EN 590. Mer om dette og vanlige verdier kommer i delkapittel 2.1, 2.2, og 2.3.

Diesel kan tilegnes mange ulike egenskaper, ofte er det titalls ulike egenskaper som beskrives i standarder. Her følger en kort gjennomgang av de egenskapene som har mest innvirkning på motorens effekt og drivstoff forbruk.

- Cetan tall
- Densitet
- Brennverdi
- Viskositet

Cetantall

Cetantall er et empirisk parameter som beskriver dieselens tennvillighet, noe som påvirker start egenskaper, avgass, lyd fra motoren og forbruk. I tillegg gir det mulighet for økt kontroll over tenningsforsinkelse og forbrenningsstabilitet, spesielt på nyere motorer med EGR. Cetantall kan deles inn i to kategorier; naturlig og kunstig. Naturlig er når drivstoffet er uten tilsetninger, mens kunstig cetantall er når dieselens er tilsatt stoffer for å øke cetantallet. Dette

tenningsforsinkelse gir større ukontrollert forbrenning. Siden det er denne fasen som gir den raskeste trykkstigningen og høyest trykk, kan det bli hard gange som blant annet er kilden til økt motorstøy (Lundby, 1985).

Tenningsforsinkelsen påvirker for øvrig også direkte motor effekt og spesifikt forbruk. I et forsøk gjort på en 7 hk diesel motor med mekanisk innsprøytning ble det gjort målinger som viste at mindre tenningsforsinkelse på grunn av høyere cetantall sørget for maks-trykk i sylindern før 20° etter øvre dødpunkt (ØD). Og med lavere cetantall var makstrykket etter 20° etter ØD. Ved makstrykk før 20° etter ØD var det økt dreiemoment, og derfor også lavere spesifikt forbruk. Cetantallet i dette forsøket var på 45 og 51 (Cataluña & da Silva, 2012).

World wide fuel charter committee viser også til en generell forbedring i spesifikt drivstofforbruk ved en økning i naturlig cetantall fra 50 til 58. Det er derimot ikke tilfellet for drivstoff med kunstig cetantall. Årsaken til dette er enda ikke klar. (Worldwide fuel charter committee, 2013, s. 42)

Tetthet og brennverdi

Tetthet og brennverdi henger tett sammen. Tetthet sier hvor tungt ett gitt volum av diesel er, mens brennverdi som regel er oppgitt i energi per masse. Her er det altså en sammenheng og tradisjonelt sett har høyere tetthet vært assosiert med høyere energiinnhold per volum-enhet (Neste, 2016, s. 14). Allikevel trenger det ikke nødvendigvis være en sammenheng her, siden brennverdien per masse kan variere mellom ulike typer diesel. Om det for eksempel er svært høy brennverdi per masse kan altså tettheten til dieselen være lav mens brennverdien per volum opprettholdes. Det motsatte kan også forekomme. Slike forhold forekommer mellom fossil diesel, FAME og HVO, og vil bli omtalt punkt 2.1 og 2.2 senere i oppgaven. Volumetrisk forbruk påvirkes av brennverdi og siden diesel forhandles volumetrisk gir det direkte utslag på brukerens økonomi.

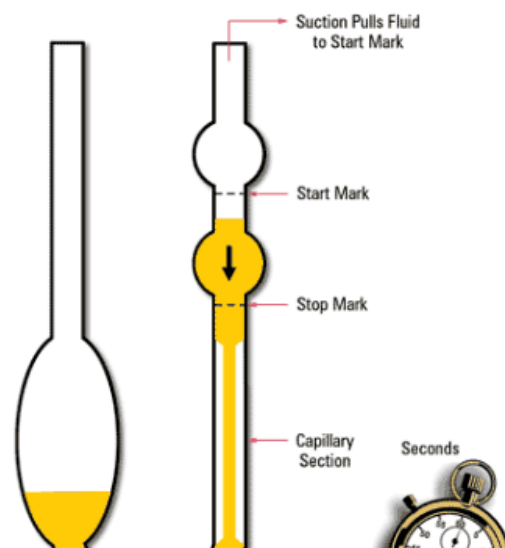
Lavere tetthet skulle gi lavere motoreffekt ved en stabil brennverdi per masse. Dette skyldes at dieselpumper tradisjonelt sett har blitt styrt volumetrisk. Siden maks volumet for ei gitt pumpe vil være konstant, vil det altså gå mindre masse og dermed en redusert brennverdi inn i motoren. På Common rail (se punkt 2.3 for utdyping) motorer styres innsprøytningssmengden av motorens styreenhet og det er mulig å forlenge dysens åpningstid for å kompensere for lavere tetthet (McKee, Fernandes, Fuschetto, Filipi & Assanis, 2005). Tetthet trenger dermed ikke ha påvirkning på motorens effekt, men kan gi positivt utslag på avgasser (Aki Tilli, Ossi Kaario, Matteo Imperato & Larimi, 2009).

Utover sammenhenger mellom tetthet og brennverdi har tettheten lite å si for motorens effekt og forbruk. Det er kjent at dieselens tetthet kan ha en direkte effekt på oppbygningen av trykk i innsprøytningsystemet, og derav påvirke den dynamiske starten på innsprøytningen (McKee et al., 2005). Dette kan påvirke tenningsforsinkelse og forbrenningsforløpet, men det er sannsynligvis svært minimalt.

Energiinnholdet kan oppgis som øvre (kalorimetrisk) eller nedre (effektiv) brennverdi. Øvre brennverdi er den varmen som avgis ved forbrenning, dersom avgassene kjøles ned til brenselets begynnelsestemperatur. Nedre brennverdi inkluderer ikke denne nedkjølingen da dette ikke er tilfellet i en motor. Nedre og øvre brennverdi skiller ca. 7%. Da øvre brennverdi i praksis er umulig å bruke i beregninger av virkningsgrader, er nedre brennverdi mest vanlig (Lundby, 1985, s. 73). Allikevel skal man være bevist på dette når ulike drivstoff settes opp mot hverandre slik at sammenlignbare tall brukes og sammenligningen blir representativ.

Viskositet

Viskositet kan sammenlignes med seighet, mer nøyaktig beskrevet er det den egenskapen en væske har til å motstå at forskjellige lag i væsken beveger seg med ulik hastighet (Holtebekk, 2018). Viskositet kan måles på forskjellige måter, men for diesel er det kinematisk viskositet som er normen. Her har ISO standard 3104 spesifisert en prosedyre for å fastslå drivstoffets kinematiske viskositet. Denne bestemmes ved å ta tiden på at et bestemt volum renner igjennom et kalibrert kapillarviskosimeter (ISO, 1994). Enheten som brukes ved måling av kinematisk viskositet er centistokers som forkortes cSt. Man er for øvrig nødt til å oppgi temperatur ved måling for at viskositeten skal ha relevans. Som regel er den på 40°C eller 100°C (Troyer, s.a.).



Figur 2: Skissen demonstrerer måling av viskositet i et kapilarviskosimeter. Figur (Troyer, s.a.)

Viskositeten påvirker bant annet smøring av innsprøytningsystemet (høytrykkspumpe og dyser) men også hvordan dieselens forstøves i forbrenningskammeret. For lav viskositet fører til dårlig smøring og for høy viskositet vil gi dårlig forstøving. (Goering, 1992, s. 141-142). Samtidig kan svært høye viskositeter føre til redusert volumstrøm og deformasjon av pumpa,

mens ved meget lave viskositeter kan det i verste fall (lav viskositet, høy temperatur) oppstå total lekkasje (Worldwide fuel charter committee, 2013) og miste smøreevnen.

Høyere viskositet (innenfor akseptable verdier) fører til mindre lekkasjer i innsprøytingssystemet som igjen fører til raskere trykkøkning og dermed tidligere innsprøyting (Dobovišek, Vajda, Pehan & Kegl, 2009). I tillegg øker volumetrisk innsprøytningsmengde på motorer med mekanisk innsprøyting. I en studie som ble gjort med en viskositetsendring fra 1,6 til 7,5 cSt (40°C), ble det registrert en økt innsprøytningsmengde på 13%. I tillegg viser det seg at innsprøytingstidspunktet framskyndes ved økt viskositet. I denne studien ble tidspunktet framskyndet med så mye som 6° veivaksel rotasjon. Dette er for øvrig på en eldre type dieselmotor med dyser og individuelle dyserør (Concave, 1986). På nyere common rail motorer er det sannsynlig at dette har mye mindre effekt da både innsprøytingstidspunkt og mengde kontrolleres elektronisk av motorens styreenhet. Dieselen står da med konstant trykk framme ved injektorspissen og effekten av lekkasje i pumpa blir borte i denne sammenhengen.

Viskositeten påvirker også som nevnt forstøvinga av dieselen i innsprøytinga, noe som ansees som å være en av de viktigste karakteristikkene i en forbrenning med tanke på blant annet termodynamisk ytelse (i praksis fullstendig forbrenning) (Pandey, Rehman & Sarviya, 2011). Ufullstendig forbrenning leder blant annet direkte til redusert effekt og økt forbruk (Agarwala, Kumarb & Agarwalb, 2007).

Forstøvinga skjer i det dieselen forlater dysespissen og går inn i forbrenningskammeret. Her skal diesel strålen dele seg i bitte små dråper slik at det blir god fordamping og dermed forbrenning, noe som er spesielt viktig i motorer med direkte innsprøyting. Tetthet og viskositet er to av de viktigste faktorene som påvirker dieselens penetreringslengder (forstøving)(Kim, Martz & Violi, 2016), og det er derfor viktig at disse er innenfor spesifikasjonene på det aktuelle drivstoffet.

I følge EN 590 standarden (omtales nærmere under punkt 2.2) skal den kinematiske viskositeten ligge mellom 2,00 og 4,5 mm²/s (Murphy, McDonnell, Butler & Devlin). For høy viskositet og i følge av dette ufullstendig forbrenning, kan føre til blant annet dårlige kaldstart egenskaper, koksing og tetting av dyser, overdrevne avsetninger i motoren, stempelfjærer som setter seg fast og forurensing av motorens smøroleje osv.(Pandey et al., 2011).

I og med at viskositeten endrer seg ved endret temperatur vil den altså endre seg ved praktisk bruk. Hvordan viskositeten endrer seg ved endrede temperaturer må sjekkes for det enkelte

drivstoffet. I standarder oppgis som oftest tåkepunkt og blokkeringspunkt, disse er verdier som beskriver kuldeegenskaper, og når dieselen ikke lenger er brukbar på grunn av lave temperaturer.

Komprimerbarhet

Komprimerbarheten (kompresjonsmodulen) til et drivstoff sier noe om hvor mye det komprimeres under trykk. Et drivstoff som er mindre komprimerbart vil få raskere trykkøkning i innsprøytningsystemet. Det er kjent at komprimerbarhet kan gi utslag på innsprøytningsystemer med innsprøytningspumpe og individuelle dyserør, men vil mest sannsynlig ikke ha noen innvirkning på common rail motorer (Aki Tilli et al., 2009).

3.2 Diesel standarder

CEN – Den europeiske standardorganisasjonen, anerkjent av den europeiske union og ansvarlige for å utvikle og definere standarder på et europeisk nivå (European committee for standardization, 2019), har satt standarder for diesel og diesel relaterte produkter. Norge er representert som medlem i CEN via Standard Norge (Hofstad, 2018). Siden CEN krever at medlemmene implementerer standardene gjelder de derfor også som Norske standarder. Altså må diesel produkter solgt i Norge gå inn under en av CENs standarder. Det er i dette tilfellet tre standarder som er aktuelle: EN 590, EN 15940 og EN 14214. Disse er aktuelle fordi konvensjonell diesel, HVO og FAME inngår i dem. Først og fremst vil konvensjonell diesel og HVO bli sammenlignet, men FAME er med slik at HVO blir sammenlignet med den mest utbredte biodiesel typen på markedet i dag.

3.2.1 Konvensjonell - EN 590

EN 590:2013+A1:2017 er gjeldende standard for autodiesel (gjelder hurtiggående dieselmotorer slik som i biler, lastebiler og traktorer) solgt i Norge og andre CEN land. Standarden definerer egenskaper som er viktige for å opprettholde funksjon, holdbarhet og eksos utslipp på diesel kjøretøy.

Konvensjonell diesel er den dieselen vi er vant med å kjøpe på pumpene i Norge. Den er i utgangspunktet produsert på jordolje, men standarden setter ingen krav til råvare. Diesel solgt under EN 590 standarden kan inneholde opptil 7 volumprosent FAME (utdypet i punkt 2.2.3)

uten å være merket. HVO derimot kan blandes inn ubegrenset, så lenge alle parametere overholdes (Neste, 2016, s. 7-8).

3.2.2 HVO - EN 15940

EN 15940:2016+A1:2018 er gjeldende standard for parafinisk diesel fra syntese eller hydrogenbehandling og godtar innblanding av opptil 7 volumprosent FAME (Standard Norge, 2018) (utdypet i punkt 2.2.3). HVO er framstilt ved hjelp av hydrogenering, det vil si tilføring av hydrogen i en katalytisk kontrollert prosess, og går derfor under EN 15940-standarden da den ikke kan gå under EN 590-standarden på grunn av for lav tetthet. Den passer heller ikke under standarden for FAME, da den består av kun hydrokarboner (Neste, 2016).

Produktene av hydrogeneringsprosessen er opprinnelig kalt Hydroprocessed Esters and Fatty Acids (HEFA) mens de som er produsert spesifikt på planteolje kalles Hydrotreated Vegetable Oil (HVO). Av flere grunner henger HVO igjen fra forrige tiår da bare vegetabilske oljer ble brukt som råvare. I dag blir det brukt om hydrogenerte produkter fra alle råvarer.

HVO er kompatibel med konvensjonell diesel og skal kunne brukes på alle dieselmotorer (Weber & Amundsen, 2016). Som nevnt ovenfor er det bare ett parameter som ikke oppfylles i EN 590 og det er kravet til minimums tetthet (Neste, 2016, s. 6). Det skal kunne brukes istedenfor konvensjonell diesel og fungerer blant annet ikke som et løsningsmiddel på pakninger og så videre slik som FAME kan. Man bør likevel forsikre seg om at kjøretøyet er godkjent for bruk av HVO før det benyttes, ellers kan det medføre problemer med garanti (Weber & Amundsen, 2016).

3.2.3 FAME - EN 14214

EN 14214:2012+A1:2014 er gjeldende standard for fatty acid methyl esters (FAME). FAME er den mest brukte biodieselen i Norge og kalles gjerne for 1. generasjon biodiesel. Standarden gjelder for FAME som skal brukes i ren form (100%) eller tilsettes annen diesel slik som konvensjonell eller HVO (Standard Norge, 2014). FAME inkluderer produkter av alle råvarer, mens det finnes mer spesifikke betegnelser slik som Raps Metyl Ester (RME) som spesifiserer råvaren. Det er for øvrig RME som blir brukt i Norge på grunn av bedre kulde egenskaper enn produkter av andre råvarer.

For at råvare oljene skal kunne brukes som et drivstoff i en dieselmotor må den reageres med en alkohol for å forme en ester forbindelse. Råvarene i seg selv egner seg ikke som drivstoff fordi

blant annet cetantall, kuldeegenskaper og viskositet ikke oppfyller kravene (Worldwide fuel charter committee, 2013).

FAME blandes inn i autodiesel i Norge med opptil 7 volumprosent, det er derimot vanskelig å få tak i 100% FAME for privatpersoner (NAF, u.å). Om man skulle få tak i det byr det imidlertid på problemer over tid om det brukes på motorer og drivstoffsystem uten tilpasning. Høy viskositet er den største utfordringen (Se punkt 2.1, viskositet) med FAME og vil til syvende og sist redusere motorens levetid (Pandey et al., 2011).

3.2.4 Sammenligning

Egenskap	Enhet	EN 590:2013 (konvensjonell)	EN 15940:2016 (HVO)	EN 14214:2012 (FAME)
Tetthet ved 15 °C	kg/m ³	820,0 - 845,0 >800*	765 - 800	860 - 900
Varmeverdi***	MJ/l	36,0	34,4	32,7
Viskositet ved 40 °C	mm ² /s	2,0 - 4,5 >1,2*	2,0 - 4,5	3,5 - 5,0
Cetantall		>51,0	>70,0	>51
Blokkeringspunkt og tåkepunkt	°C	Ned til -34**	Ned til -34**	13 og 16

Tabell 1: Oversikt over kravene til noen av de viktigste dieselegenskapene med tanke på forbruk og effekt for konvensjonell, HVO og FAME diesel. (Neste, 2016, s. 7 & 15; Theocharis et al., 2019, s. Tabell 5)

*) Vinterdiesel

**) Om levert slik vil blokkeringspunktet være nære tåkepunktet

***) Dette er typiske verdier, ikke verdier oppgitt i de ulike standardene.

Tabellen over viser kravene til noen av egenskapene som settes i de ulike standardene som de aktuelle dieselene går innunder. De tre første er forklart tidligere. Blokkeringspunkt og tåkepunkt har ikke direkte innvirkning på effekt og forbruk uten at temperaturen er lav og derfor vil det ikke omtales videre. Det er allikevel nyttig å ha et forhold til dette i lys av praktisk bruk. Man ser her at blokkeringspunkt og tåkepunkt for FAME er svært høye, og det er generelt vanskelig å få gode kuldeegenskaper på FAME. FAME laget av rapsolje (RME) er noe bedre og benyttes i innblanding i autodiesel Norge (NAF, u.å). Høyt tåkepunkt og blokkeringspunkt kan gi driftsproblemer i kulde.

Gjennom samarbeidet med PonCat via «ren biodiesel i norsk landbruk» prosjektet, ble viskositeten til de ulike dieselene målt. Resultatene er fra målinger ved 100°C siden måleinstrumentene deres var tilpasset dette. Resultatene er derfor ikke direkte sammenlignbare med de i tabell 1, men de indikerer allikevel hvilke av dem som har høyest og lavest viskositet. Dieselene i disse prøvene er den samme som ble brukt under testing.

- Konvensjonell: 1,1 cSt
- HVO: 1,3 cSt
- FAME: 1,8 cSt

Prøvene ble tatt 13 februar 2019 og analysert av PonCat 25 februar 2019.

3.3 Optimalisering av motorer

Som tidligere beskrevet har dieselens egenskaper påvirkning på motorkarakteristikk og man kan derfor gjøre nytte av å optimalisere motorens innstillinger etter hvilke fordeler man ønsker å hente ut. Dagens motorer er designet for diesel som går under EN 590 standarden eller andre relevante standarder og er kalibrert for å gi ønskede resultater på punkter slik som drivstofforbruk, effekt, og avgasser (Neste, 2016, s. 48-49). Når det er ønske om gode resultater på flere parametere som påvirker hverandre slik som her, vil det alltid være kompromiss. Denne delen av oppgaven vil gi et overfladisk innblikk i kalibrering av dieselmotorer for de ulike drivstoffene.

3.3.1 Konstruksjon

En vesentlig konstruksjonsmessig del av motoren som påvirker blant annet tenningstidspunkt og forstøving er innsprøytingssystemet. Dette påvirker forbrenninga (se punkt 2.1) som gjør utslag på effekt, forbruk og avgass. Det er to innsprøytingssystemer som er rådende; common rail og systemer med innsprøytningspumper og separate dyserør.

Common rail systemene har som navnet tilsier et felles høytrykksrør som dieselene går i fra høytrykkspumpa. Dieselene står alltid med trykk helt fram til dysespissen som åpnes elektronisk av signaler fra motorens styreenhet (Store norske leksikon, 2009). På systemer med innsprøytningspumper har hver dyse et eget rør ned til pumpa, og det er kun ved innsprøyting at dieselene er trykk satt. Her er det dieseltrykket som åpner og lukker dysespissen. Forskjellene i tetthet, komprimerbarhet og viskositet gjør at

innsprøytningsparameterne må optimaliseres for at hvert drivstoff skal oppnå best mulig resultat (Aki Tilli et al., 2009). Common rail motoren vil ha langt større kalibreringsmuligheter da ECUen (engine control unit) kan programmeres slik som ønsket.

Forbrenningskammeret og kompresjonsforholdet er også et kjent konstruksjonselement som kan endres etter hvilket drivstoff som brukes for å oppnå ønskede effekter. Et lavere kompresjonsforhold og større mengder EGR (exhaust gas recirculation) kan bidra til lavere forbrenningstemperaturer og dermed lavere utslipp. Eksos behandlingssystemer er også vesentlige for kalibrering av motorer. Rensing av eksos gjør at motoren kan kalibreres med mer fokus på effekt og forbruk mens eksosrensesystemet tar seg av avgassene.

Skal motoren kalibreres for å oppnå utslippskrav uten eksosrensesystemer går dette oftest utover drivstofforbruk og effekt. Her vil egenskaper slik som tetthet, cetantall, hydrogen, karbon og aromater ha innvirkning. De tre siste i rekka vil ha indirekte innvirkning på en motors ytelse og drivstofforbruk fordi de påvirker avgasser. Og siden motorer i praksis må kalibreres for å møte avgasskrav vil dette ha en effekt på hvordan de kan kalibreres (Schaberg & Atkinson, 2016).

3.3.2 Konvensjonell

Dieselmotorer har som nevnt tidligere blitt utviklet og optimalisert basert konvensjonell diesel. Det vil si at motorene er kalibrerte etter egenskapene i konvensjonell diesel for å møte de ulike kravene til utslipp, samtidig som alle motorfabrikanter gjør det de kan for å få best mulig drivstofføkonomi og effekt. Motorteknologien har vært og er i konstant utvikling, men utgangspunktet for kalibrering har alltid vært konvensjonell diesel. Derfor blir dette tatt som utgangspunkt i denne oppgaven for konstruksjon og innstillinger på nye så vel som gamle motorer. De neste to punktene vil kort beskrive aktuelle endringer for optimalisering for det aktuelle drivstoffet.

3.3.3 HVO

HVO kan brukes på dieselmotorer uten problemer, men det er fordeler å hente om motoren er optimalisert for denne dieselen. En stor fordel er at HVO gir større muligheter til å redusere eller justere forholdet mellom NO_x og forbruk. Mye kan oppnås ved å justere tenningstidspunktet, dette kan gjøres på grunn av høyere cetantall. Endringer i forhold til tenningstidspunkt er vist i figur 3.

Injection timing >	Default	Advanced	Remarkably advanced	Retarded
NO _x	-6%	0%	+4%	-16%
Smoke	-35%	-37%	-32%	-32%
Fuel cons (mass)	-3%	-6%	-8%	0%
Fuel cons (volume)	+5%	+2%	0%	+8%

Tabell 2: Hvordan dieselforbruk og NO_x utslipp endrer seg ved endring av innsprøytningsstidspunktet. Referansen er EN 590 diesel (Neste, 2016, s. 48)

På innsprøytningsystemer med innsprøytningspumper og separate dyserør kan det være nødvendig å ta høyde for at innsprøytningen blir forsinket med 0,5° veivrotasjon på grunn av lavere kompresjonsmodul. Lavere energitetthet per volumenhet på HVO vil også gi lavere innsprøytet energimengde på disse systemene og må eventuelt justeres opp for å opprettholde effekten (Aki Tilli et al., 2009). Dette er ikke tilfellet på common rail motorer.

Konstruksjonsmessige endringer som har en positiv effekt er å senke kompresjonsforholdet (til rundt 15:1) og endre dyse og stempel geometrien, noe som kan føre til økt ukontrollert forbrenning og dermed redusert sot. Det er viktig å huske på at alle disse faktorene påvirker hverandre, og at man må sette beviste mål med fokus på forbedring i ett punkt. Med optimalisert motor er det stor sannsynlighet for vesentlige forbedringer i ytelse og utslipp med HVO i forhold til petroleumsbaserte drivstoff (Bhardwaj, Kolbeck, Kkoerfer & Honkanen, 2013).

3.3.4 FAME

FAME kan gi utfordringer når det kommer til korrosjon av både metaller og pakninger. Denne utfordringen stiger med konsentrasjon av FAME i dieselen, og er størst ved 100% FAME. Noen motorer er tilpasset dette mens andre ikke. Dette må sjekkes med fabrikant før dieselen brukes (Bhardwaja, Guptab & Kumarc, 2014), og pakninger må eventuelt skiftes til typer som tåler denne dieselen.

Kvalitet på drivstoffet er noe av det viktigste med hensyn til om det vil bli store konsekvenser under bruk. Her kan olje som ikke er fullstendig behandlet ha en uheldig effekt på blant annet soting. FAME sin høye viskositet bidrar til soting og koksing av dyser, spesielt under kalde forhold. Her kan tilsetningsstoffer redusere viskositeten og dermed også soting og koksing (Çetinkaya, Ulusoy, Tekin & Karaosmanoğlu, 2005). Viskositeten kan også påvirke effekt og

NO_x da høyere viskositet fører til redusert volumstrøm. Optimalisert innsprøytningstidspunkt og varighet vil redusere denne effekten, denne effekten vil være størst på eldre motorer uten common rail (Aki Tilli et al., 2009). Et tilpasset forbrenningskammer som øker forstøvinga og luft blanding vil gi positivt utslag på effekt og forbruk (Varun, Singh, Tiwari, Singh & Kumar, 2017).

4. Forsøk

Et praktisk forsøk på 3 traktorer ble gjennomført for å måle variasjoner i effekt, drivstoff forbruk og avgass. I denne oppgaven vil kun det som omhandler effekt og forbruk omtales. Den delen av forsøket som omhandler avgass har Øivind Karlsen beskrevet i sin oppgave: *Avgass og driftssikkerhet ved bruk av fornybar diesel på landbruksmaskiner*. I forsøket ble 3 traktorer bremsset med dynamometer, og samtidig ble det målt drivstofforbruk.

4.1 Material og metode

Utstyr og oppsett

Traktorene ble bremsset av et Froment Sigma 5 dynamometer montert i en varebil. Dynamometeret har eget display som viser turtall og belastning på kraftuttaket. Drivstofforbruket ble registrert ved å bruke ei digital vekt fra Mettler Toledo modell: BBA231-3A15A og stoppeklokke på telefon. Dieselen ble tilført gjennom midlertidige slanger som var koblet inn på traktorens drivstoffsystem. Ekstern, midlertidig tank (kanne) var plassert oppå vekta som stod på eget bord ved siden av traktoren. Slangene ble støttet opp av et stativ slik at slangene ble hengende rett ned i dieselkanna uten å overføre vekt og med minimale vibrasjoner. Separate kanner ble brukt for hvert drivstoff.



Figur 3 oppsett av dieseltilførsel og vekt. Foto: Øivind Karlsen

Testsyklusene for de ulike traktorene varierte noe på grunn av ulike omstendigheter. Syklusene på den enkelte traktor var like mellom de ulike dieseltypene.

Gjennomføring

Forsøket har hovedsakelig sett på hvordan HVO og konvensjonell diesel oppfører seg i forhold til hverandre. I tillegg ble FAME diesel testet på en av traktorene for å få et forhold til dette i lys av de andre resultatene.

Målet var å gjennomføre målinger ved 2 bestemte testsykluser. En syklus der traktoren ble belastet maksimalt og en ved 75% belastning. Dette var for å se om drivstoffene oppførte seg annerledes ved ulike belastninger. Hver syklus skulle ha 5 målepunkter, hvor målingene startet på 2000 omdreininger og ble tatt for hver 200 omdreininger ned til 1200. Intervallene skulle gi en representativ oversikt over traktorens mest brukte turtallsområde.

Målepunktene ble basert på turtallet som traktoren viste i turtelleren. Forbruket ble registrert over en periode på to minutter på hver belastning. Vektdifferansen på vekta før og etter 2 min ble registrert i gram og notert sammen med nøyaktig belastning og kraftuttaksturtall fra dynamometerets display. I bytte mellom drivstoffene ble returslangen satt i en egen kanne til det kom ren diesel av den aktuelle slag ut av returslangen. Under overgangen ble traktoren belastet og turtallet økt for å få større volumstrøm. Traktorene stod slik til dieselen i returslangen ikke lenger var synlig forurenset av den forrige dieselen, pluss noen minutter for å være sikker på at drivstoffet var rent.

Forsøket ble gjennomført på en dag og foregikk ute. I begynnelsen av testingen var temperaturen $-3,5^{\circ}\text{C}$ og ved slutten var temperaturen $-1,8^{\circ}\text{C}$.

Det ble registrert feilmargin ved måling av forbruk halvveis gjennom test dagen. Feilen kunne ikke rettes opp da problemet lå i vekta som ble brukt, og det var ikke erstatningsvekter å få tak i. Siden dynamometeret var leid kun en dag måtte testingen kjøres ferdig med tilgjengelig vekt.

Traktorene

Traktorene som ble benyttet under forsøket representerer ulike aldre og motorteknologi. Alle er representative for traktorer brukt i landbruket i dag, spesielt da med tanke på de ulike motor teknologiene.

Spesifikasjon	Volvo BM T 430	John Deere 7700	Massey Ferguson 7475
Årsmodell	1971	1996	2011
Motor modell	Perkins D25	John Deere	AGCO Sisu Power 66 CTA
Antall sylindre	3	6	6
Turbo	Nei	Ja	Ja
Intercooler	Nei	Nei	Ja
Sylindervolum	2,5 L	7,6 L	6,6 L
Innsprøytningssystem	Fordelerpumpe	Fordelerpumpe	Common rail

Figur 4 Relevante data for traktorene som var med i forsøket.

Behandling av data

Registrert data ble plottet inn og behandlet i Microsoft Excel og presenteres i grafer laget i Microsoft Power BI. Datagrunnlaget for de ulike traktorene varierer da testsyklusene ikke var identiske. Målturtallene for alle målinger var 2000, 1800, 1600, 1400 og 1200. Da det er vanskelig å treffe nøyaktig på alle disse motorturtallene ble turtallet på kraftuttaket registrert og brukt som referanse. For grafenes skyld regnes dette om til reelt motorturtall basert på traktorens utveksling mellom motor og kraftuttak.

En feilkilde som ble registrert under forsøket var at vekta ikke klarte å gi nøyaktige vekter når forbruket av diesel ble stort. Ved lavt forbruk slik som på Volvoen gav vekta nøyaktig avlesning med feilmargin anslått til +/- 1 gram. Ved stort forbruk slik som på de to andre traktorene er det anslått en feilmargin på +/- 10 gram ved avlesning.

Det volumetriske forbruket som presenteres i grafene er beregnet ut ifra de aktuelle drivstoffenes tetthet. Her er det brukt en middelerdi av dieselstandardenes spesifikasjoner. Det er brukt følgende tall:

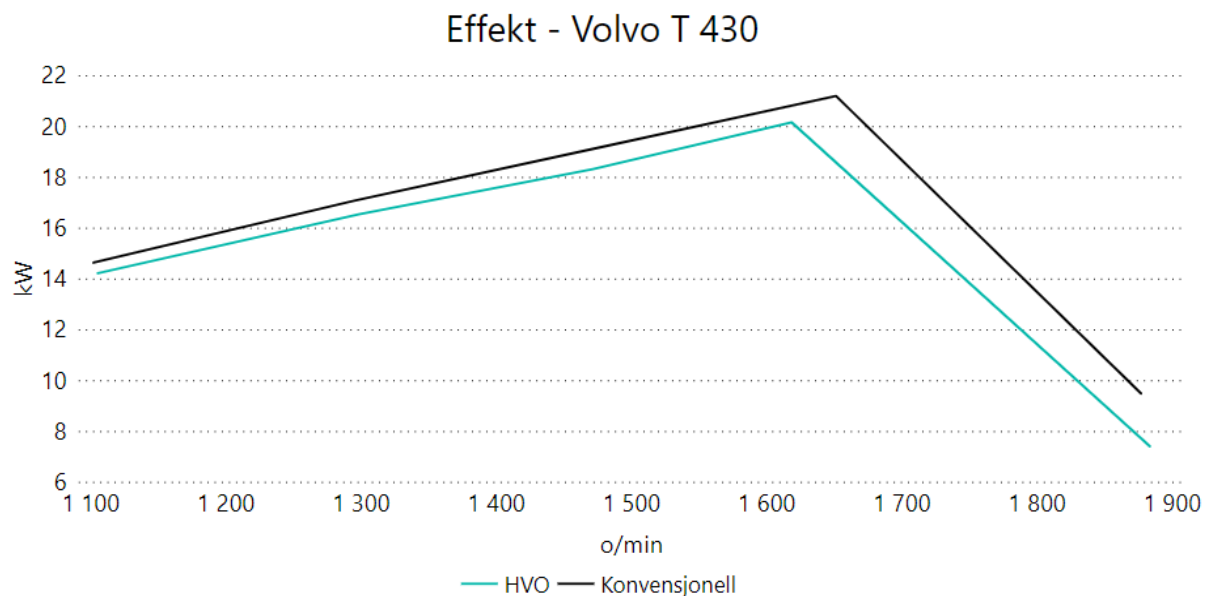
- Konvensjonell – 830 kg/m³
- HVO – 780 kg/m³
- Fame – 880 kg/m³

Det er valgt å presentere spesifikt forbruk i l/kWt selv om det er mest vanlig å presentere det i g/kWt. Spesifikt forbruk sier hvor effektivt motoren klarer å utnytte energien i drivstoffet det forbrenner. Som oftest er det for å sammenligne ulike motorers effektivitet på samme drivstoff, men her er det for å sammenligne ulike drivstoff på samme motor. Ved å sammenligne forbruket i l/kWt istedenfor g/kWt får man et praktisk anvendbart tall.

4.2 Resultater

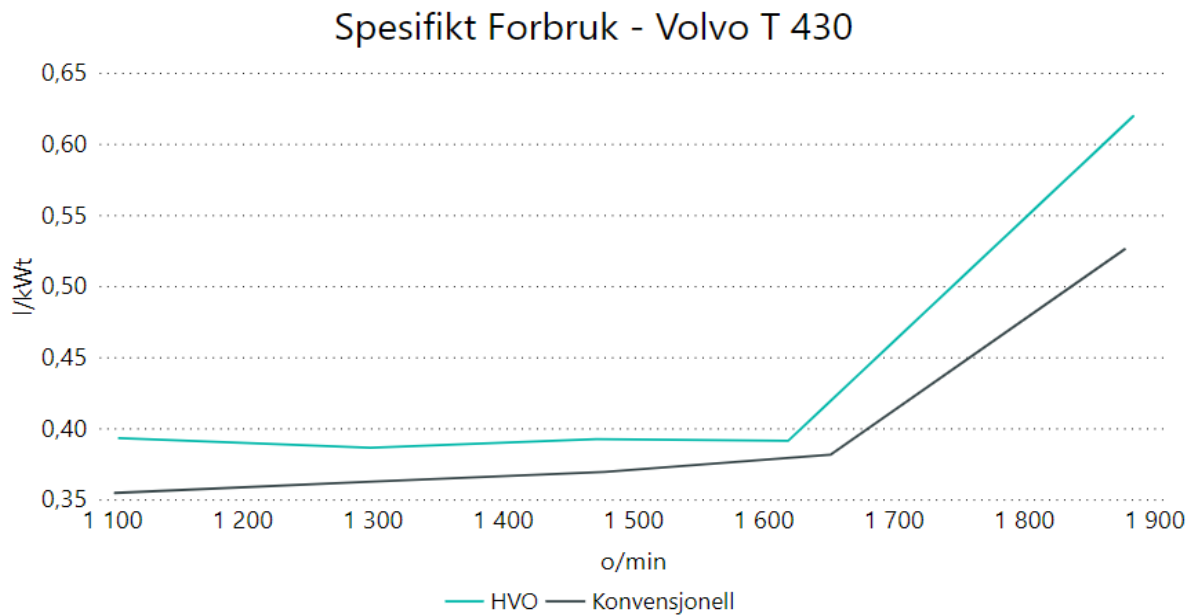
Volvo BM T 430

HVO og konvensjonell diesel ble testet. Her ble en syklus gjennomført slik som planlagt på full belastning med begge drivstoffene. Under siste syklus på 75 % belastning fikk kjølesystemet plutselig en alvorlig lekkasje, og testingen måtte avbrytes. Dermed er det kun sammenlignbare data under full belastning på denne traktoren. Kurvene for denne traktoren har 5 målepunkter. I utgangspunktet skulle dette vært på 2000, 1800, 1600, 1400 og 1200 o/min. Under testen ble målingene utført basert på traktorens turteller. Det viser seg etter utregninger basert på krefttuttakets turtall at den viser omtrent 100 o/min for mye, og derfor er målepunktene forskjøvet med tilsvarende. Turtelleren var for øvrig lite stabil, noe som førte til at ikke alle målingene ble ved samme turtall.



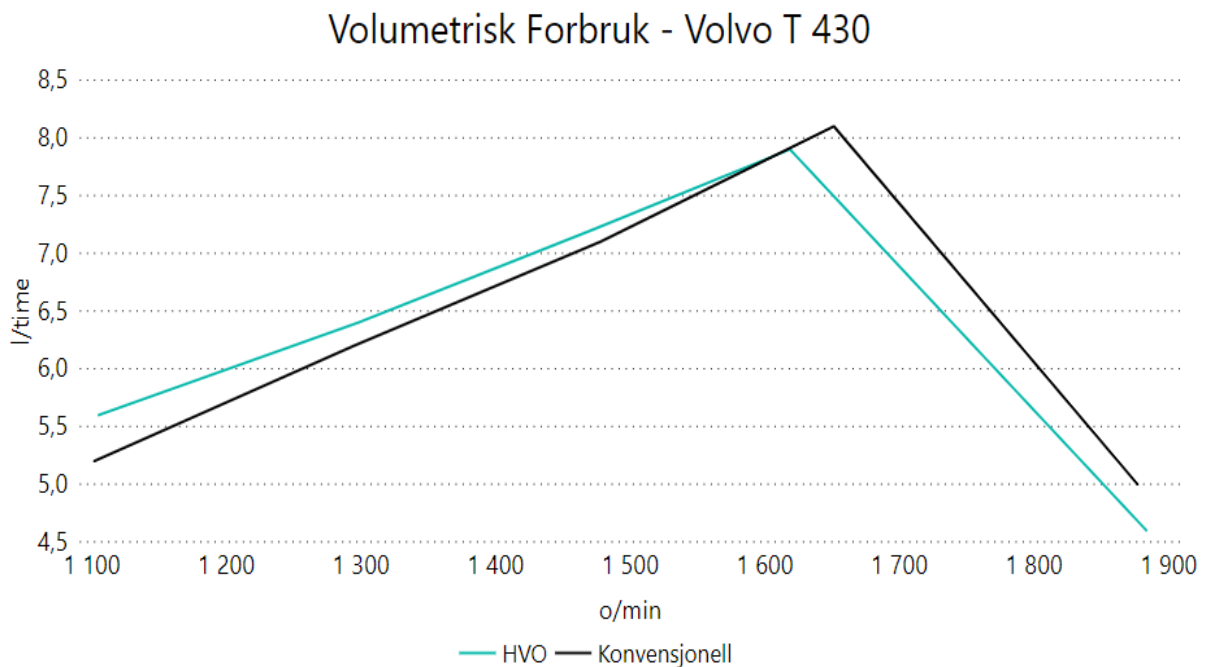
Figur 5: Effektkurver for Volvo T 430

Effekt kurvene viser en differanse i effekt over hele turtallsspekteret hvor konvensjonell diesel produserer mest effekt. Effektdifferansen ved ca. 1100 o/min er 3% og ved ca. 1900 o/min er det 28%, noe som tilsvarer litt over 2 kW. Gjennomsnittlig er differansen nesten 9%.



Figur 6: Spesifikt volumetrisk forbruk for Volvo T 430

HVO har høyest spesifikt volumetrisk forbruk over hele turtallspekteret. Det er noe avvik i stigningen på kurvene, og spesielt på høyt turtall er dette synlig. Gjennomsnittlig har HVO et 8,8% høyere spesifikt forbruk.



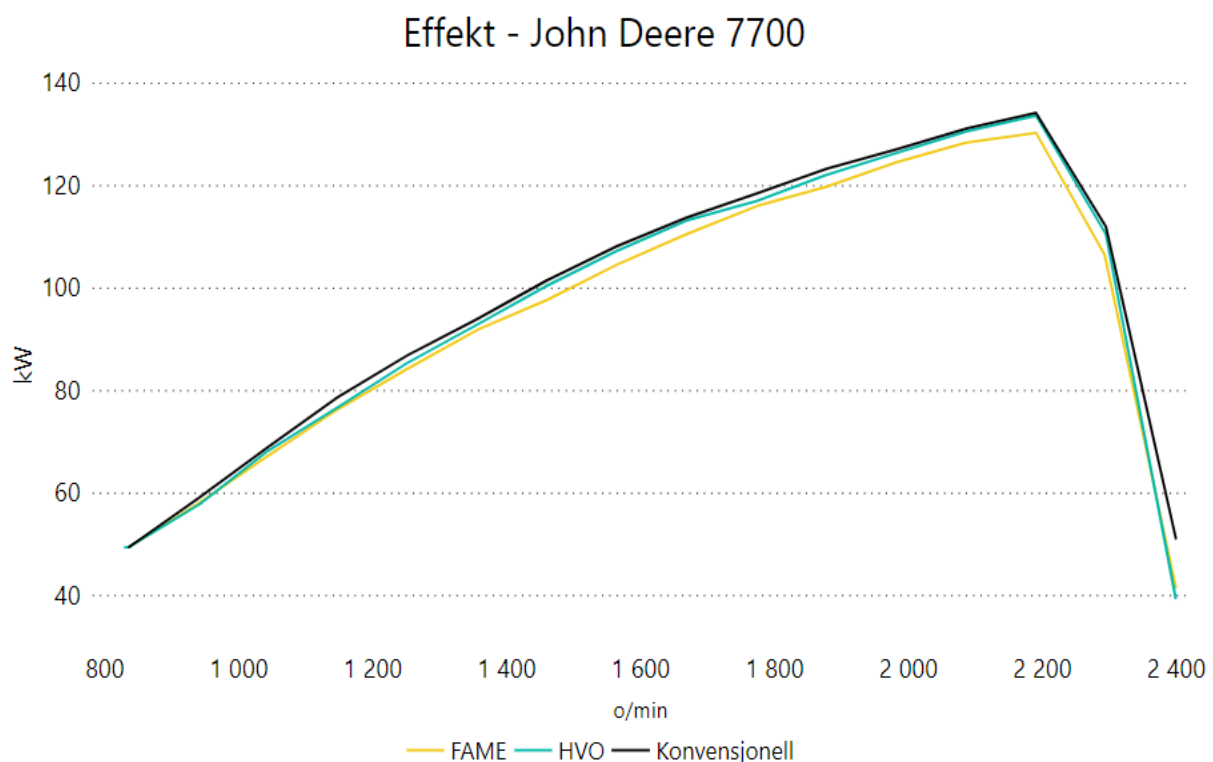
Figur 7: Volumetrisk forbruk Volvo T 430

Kurvene for volumetrisk forbruk viser et lavere forbruk av HVO enn konvensjonell diesel på høyt turtall, mens på lavere turtall ser man at dette er motsatt. Og med økende differanse desto

lavere turtall. På det laveste turtallet (ca. 1100 o/min) er det 0,4 l/timen differanse, noe som er 7,7% høyere forbruk av HVO en konvensjonell diesel. På det høyeste målte turtallet er det også 0,4 l/timen differanse, dette utgjør 8,7%.

John Deere 7700

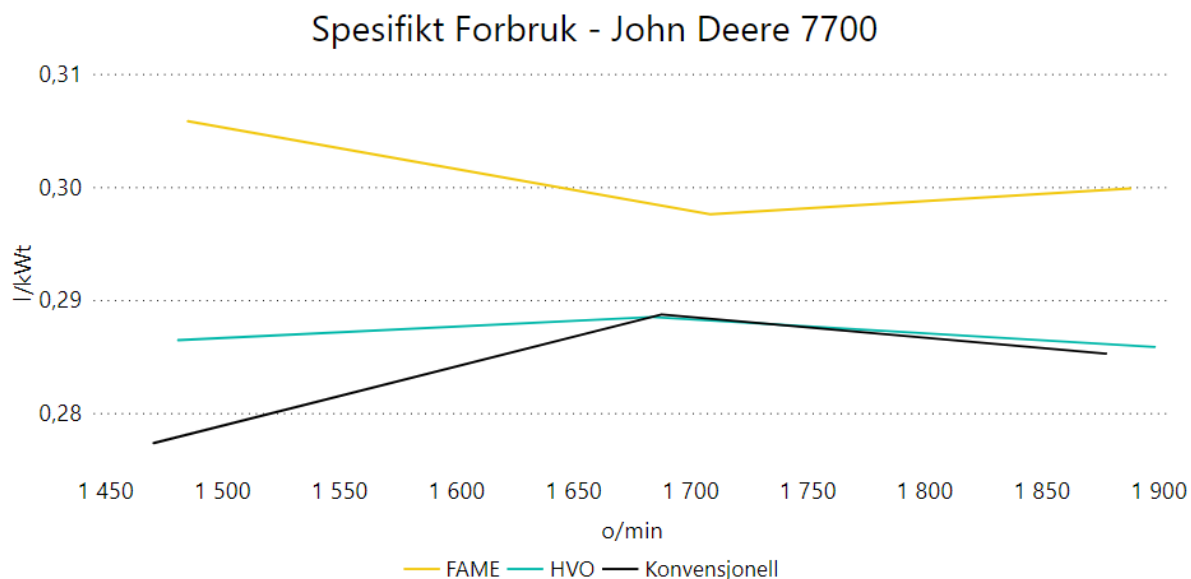
På John Deere 7700en ble det gjort målinger på alle tre dieseltypene; HVO, konvensjonell og FAME. En målesyklus ble kjørt for å registrere forbruk, mens det ble brukt en annen for effektmålingen. Målesyklusen for forbruk er i prinsipp den samme som på de to andre traktorene, men på grunn av mangel på tid under testperioden er det kun tre målepunkter. Disse skulle være 1800, 1600 og 1400 o/min, men også her var turteller noe feil og derfor er det litt avvik. Effektkurvene er generert av standard programmert testsyklus på dynamometeret og starter med fullt gasspådrag. Her er det målepunkter for ca. hver 100 o/min.



Figur 8: Effektkurver for John Deere 7700.

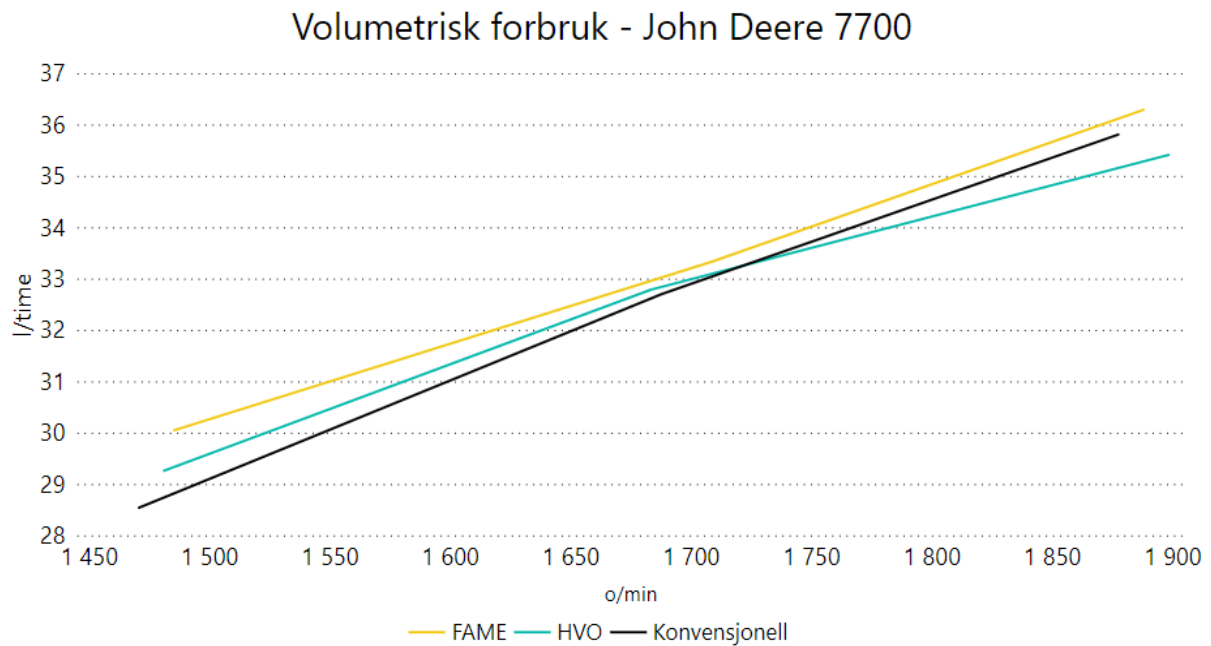
Effektkurvene viser at det er lite differanse i effekt mellom drivstofftypene, og at differansen er relativt lik over hele turtallspekteret. Det først man legger merke til er effekt differansen mellom FAME og de andre dieselene. FAME har den laveste effekten med en makseffekt på 130,5 kW mens konvensjonell diesel gav makseffekt på 134,3 kW og HVO 134,2 kW. Differansen mellom FAME og konvensjonell er da på 2,9%, mens differansen mellom HVO

og konvensjonell er tilnærmet null. Ved maks og minimum turtall er differansen mellom drivstoffene neglisjerbar. I turtallspekteret 800-2300 o/min er effektdifferansen mellom konvensjonell og HVO diesel på tilnærmet 1,1%.



Figur 9: Spesifikt volumetrisk forbruk for John Deere 7700.

Det kommer frem tydelige forskjeller i spesifikt forbruk. FAME dieselen har desidert høyest forbruk, deretter HVO. Konvensjonell diesel ligger svært likt med HVO fra 1900 o/min og ned til 1700 o/min. Deretter øker avviket og konvensjonell har an del lavere forbruk på 1500 o/min enn HVO. FAME skiller seg ut ved at forbruket stiger fra 1700 til 1500 o/min. Gjennomsnittlig på disse målingene har HVO 1,1% høyere spesifikt forbruk en konvensjonell, mens FAME ligger 6,2% over konvensjonell.

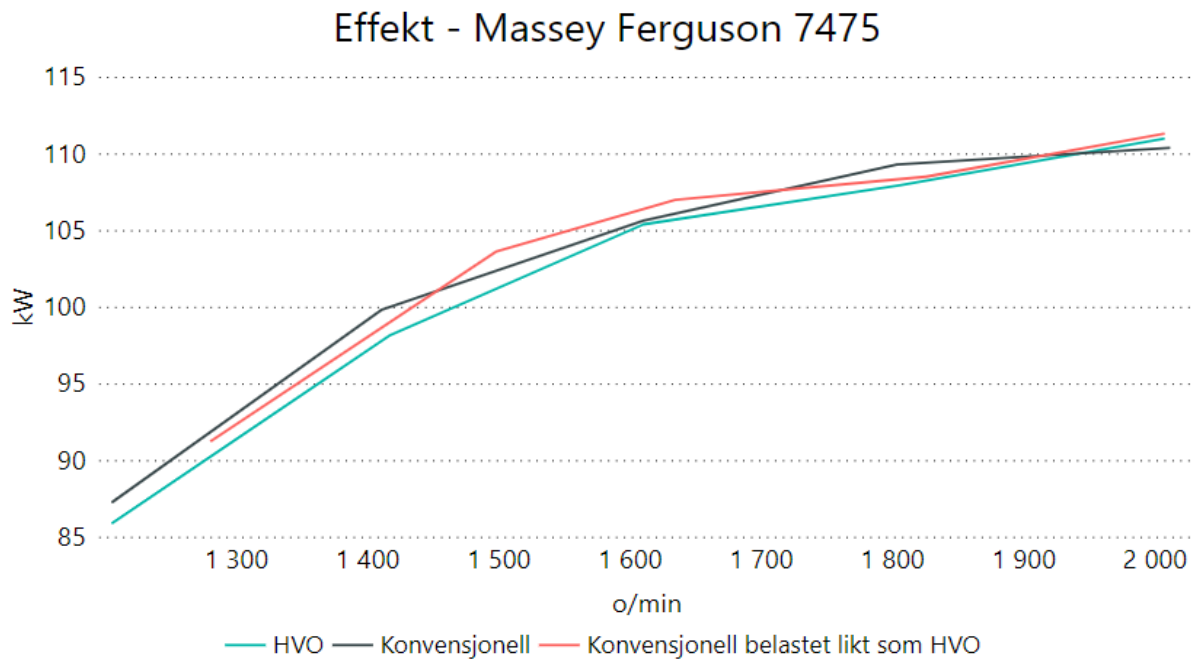


Figur 10: Volumetrisk forbruk for John Deere 7700.

FAME ligger høyest på alle tre målepunktene ved volumetrisk forbruk. Konvensjonell diesel ligger lavest ved lavt turtall, men krysser HVO ved litt over 1700 o/min. og nærmer seg FAME ved 1900 o/min. Forskjellen mellom FAME og konvensjonell ved ca. 1500 o/min er 1,51 l/time som tilsvarer 5,2%. Ved ca. 1900 o/min er differansen mellom konvensjonell diesel og FAME på mindre enn 0,5 l/time.

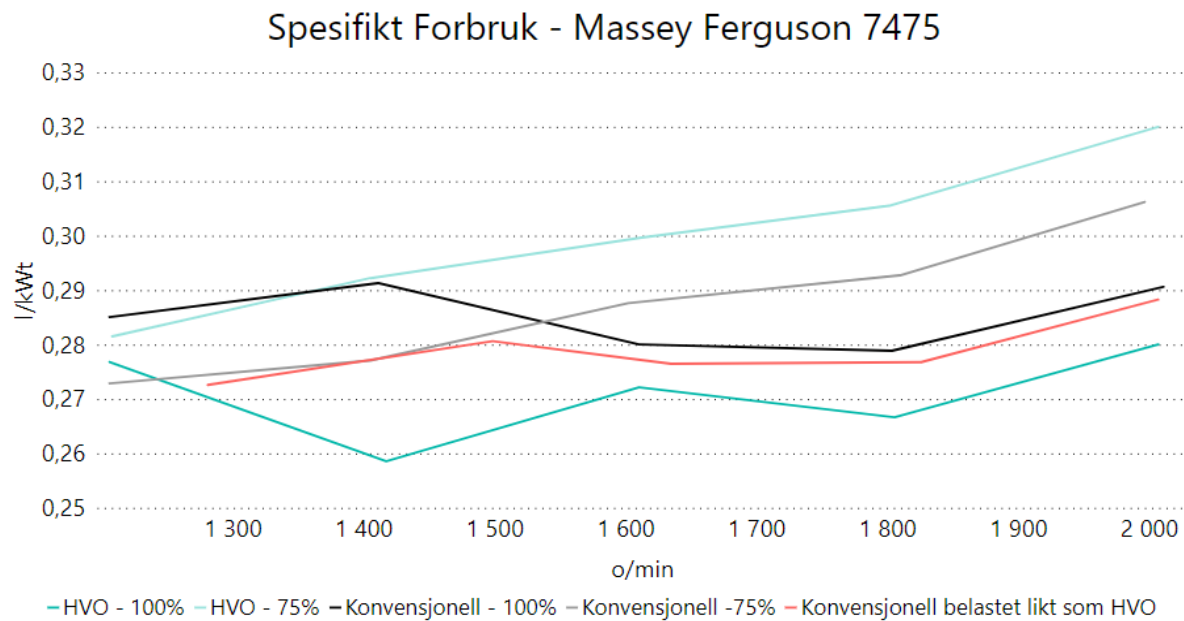
Massey Ferguson 7475

På Massey Ferguson 7475en ble belastning og forbruk registrert på samme syklus. Syklusen har 5 målepunkter; 2000, 1800, 1600, 1400 og 1200 o/min. Turtallet er også her basert på traktorens turteller. Denne viste seg å være nøyaktig og målingene er derfor innenfor +/- 17 o/min fra målturtallene. Det ble gjort målinger på HVO og konvensjonell diesel på denne traktoren..



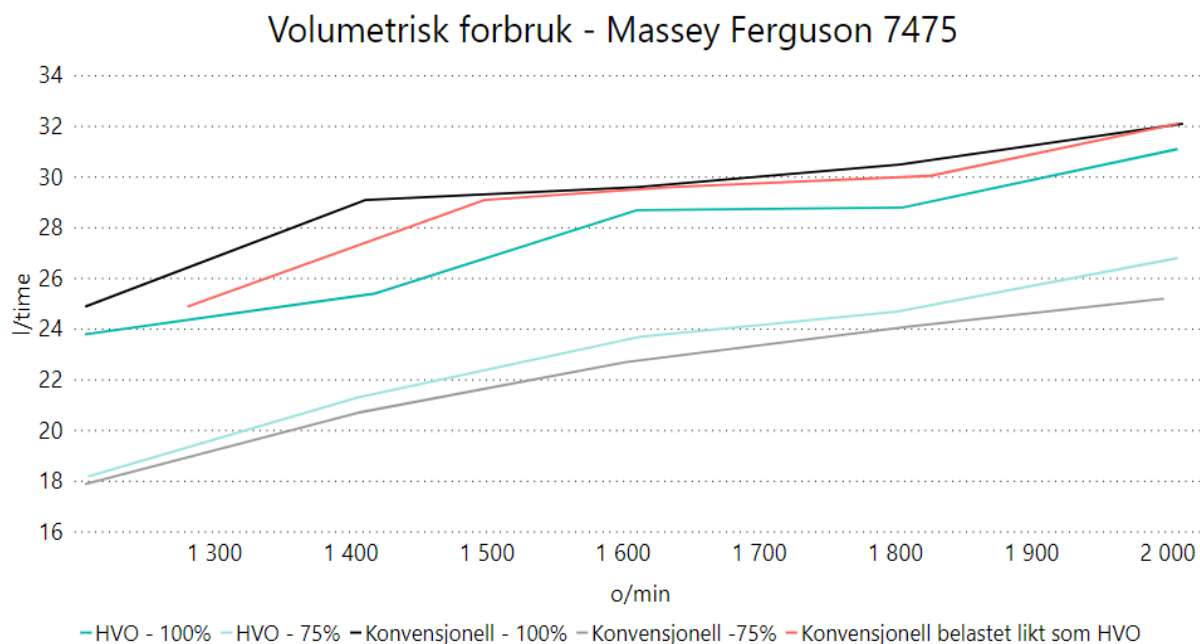
Figur 11: Effektkurver for Massey Ferguson 7475.

Grønn og svart strek viser henholdsvis maks ytelsen til HVO og konvensjonell diesel. Konvensjonell diesel produserer mest effekt over hele turtallspekteret bortsett fra over 1900 o/min. Totalt blir det en 0,6% forskjell mellom drivstoffene men siden HVO kun produserer mer effekt de siste 100 o/min på turtallspekteret blir dette litt missvisende. Uten den siste målingen er forskjellen gjennomsnittlig 1,2%. Altså er forskjellen sannsynligvis rett rundt 1%. I og med at konvensjonell diesel gav høyere moment en HVO ble det også kjørt en syklus der konvensjonell diesel ble belastet med samme moment som maks ytelsen til HVO. Den røde kurva viser resultatet. Denne viser at traktoren klarte å holde høyere turtall med samme belastning, noe som resulterer i høyere effekt hele veien, men spesielt midt i turtallspekteret.



Figur 12: Spesifikt volumetrisk forbruk for Massey Ferguson 7475

Grafen viser to sett med kurver; en for forbruket på maks ytelse, og en for forbruk på 75% ytelse. I tillegg er det en kurve for forbruket når motoren går på konvensjonell diesel og belastes likt som 100% belastning med HVO. Av de første to kurvene kommer det fram et svært varierende forbruk og lite sammenheng på full belastning. På kurvene for 75% belastning er det mye mer sammenheng. HVO viser seg å ha lavere spesifikt forbruk enn konvensjonell diesel på full belastning, men dette er motsatt på delbelastning. Den siste røde kurven viser at forbruket av konvensjonell diesel med samme belastning som HVO er høyere enn HVO.



Figur 13: Volumetrisk forbruk for Massey Ferguson 7475.

HVO har høyere volumetrisk forbruk en konvensjonell diesel på delbelastning men lavere på full belastning. Kurvene for full belastning er svært varierende, mens på delbelastning er det en mer tydelig sammenheng mellom de to ulike dieselene. Konvensjonell diesel belastet likt som 100% belastning på HVO (rød kurve) viser også at det er høyere forbruk av konvensjonell diesel ved akkurat samme belastninger.

5. Diskusjon og analyse

Grafene fra dette forsøket vil gi et inntrykk av hvordan disse tre ulike dieselene vil oppføre seg. Det er svært minimalt med data på FAME diesel, noe som gjør det vanskelig å sammenligne med de andre og trekke nyanserte konklusjoner. Det er også for lite og noe usikre data på de to andre dieselene til å trekke nyanserte konklusjoner, spesielt om drivstoffenes påvirkning av de enkelte motorenes karakteristikk. Dataene her vil bli sett i lys av dette og det vil bli satt fokus på gjennomgående trender.

Effektkurvene gir grunnlag for å si at konvensjonell diesel generelt gir den høyeste effekten. De mest interessante effektkurvene er de som tilhører John Deere traktoren (JD). Dette er fordi denne ble testet av en forhåndsprogrammert testsyklus på dynamometeret og alle 3 kurvene har nøyaktig samme forutsetningene og det er mange målepunkter. Grafen i figur 9 viser at makseffekten mellom HVO og konvensjonell diesel er minimal, men over hele turtallspekteret kommer det fram at konvensjonell diesel gjennomsnittlig holder en noe høyere effekt, ca. 1%.

Den store forskjellen her er FAME diesel som har en maks effekt på 2,9% lavere enn konvensjonell diesel. FAME dieselen ble ikke testet på de andre traktorene grunnet mangel på tid. Det er derfor ikke sammenlignbare data for denne dieselen og det er ikke mulig å si hvordan denne ville slå ut på andre motorteknologier. Det er derimot sannsynlig å anta at det vil være noe lavere effekt på traktorer med et eldre dieselinnsprøytningssystem slik som det har vist seg å være på JDen.

Trenden med en noe høyere effekt på konvensjonell diesel enn med HVO går igjen for de to andre traktorene også, men det er ikke like jevne kurver. Ujevn differanse er spesielt synlig på Massey Ferguson traktoren (MF) hvor effektene er så godt som like ved 1600 o/min, mens de skiller mer over resten av turtallspekteret (figur 12). Det ser også ut til at HVO har høyere maks effekt enn konvensjonell på motorer med common rail innsprøytning, mens den er noenlunde lik eller lavere på traktorer med eldre innsprøytningssystem.

På Volvoen og MFen skulle det vært flere målepunkter slik at det var lettere å se hvordan drivstoffene oppførte seg gjennom hele turtallspekteret. Ut ifra teorien om hvordan lavere tetthet og høyere komprimerbarhet påvirker innsprøytningssystemet skulle man tro at JDen ville ha en større differanse mellom HVO og konvensjonell diesel, men også på Masseyen er det etter beregninger ca. 1% differanse mellom drivstoffene. Denne trenden er overaskende da

HVO skal ha 4-5% lavere volumetrisk energiinnhold enn konvensjonell diesel. I tillegg har HVO lavere tetthet og komprimerbarhet, noe som gjør det litt overaskende at differansen er så liten. Her ville man i det minste forventet en effektdifferanse tilsvarende energidifferansen da motoren ikke er innstilt for bruk av HVO. Men her er det mulig at blant annet høyere cetantall bidrar til mer effektiv forbrenning. På Volvoen er differansen mer som teoretisk forventet. Der er gjennomsnittet av de fire laveste turtallene 4% (figur 6). Ved nesten 1900 o/min er det derimot 28% differanse. Årsaken til dette er noe usikker, en mulig forklaring er at traktoren ikke var tilstrekkelig oppvarmet ved første måling.

Med tanke på de ulike innsprøytingssystemene på JDen og MFen var det forventet et litt annet resultat for effekt. Det ville være naturlig å tro at JDen med eldre type innsprøytingssystem skulle ha større effekt differanse mellom drivstoffene enn en traktor med common rail slik som på Masseyen. Grunnen til at dette ikke er tilfellet er uklar. Viskositeten var noe høyere på HVO enn konvensjonell diesel i dette forsøket (se punkt 2.2.4), kanskje har dette en tetningseffekt i drivstoffsystemet som bidrar til å holde oppe volumetrisk innsprøyting og dermed minimerer effektdifferanse. Det er for øvrig bare på lavere turtall at det er høyere volumetrisk forbruk av HVO enn konvensjonell diesel (figur 11). Denne trenden er tydelig på begge traktorene og effekten følger forbruket.

Forbruksmålingene fra forsøket er dessverre noe usikre grunnet feilmarginen fra vekta, dette gjelder spesielt for MFen og JDen. Dette gjør at det er vanskelig å fastslå noe om hvordan forbruket nøyaktig endrer seg etter turtallet, men totalt sett er det noen trender som er interessante. Det spesifikke forbruket viser at det er høyere spesifikt forbruk av HVO enn konvensjonell diesel på både Volvoen og JDen, henholdsvis 8,8% og 1,1%. Dette er også tilfellet for MFen på delbelastning (figur 7, 10 og 13).

På maksbelastning er det derimot konvensjonell som har høyest spesifikt forbruk (figur 13). Dette var uventet, da det virker unaturlig at utnyttelsen av drivstoffet endres så dramatisk bare på grunn av belastningen. Her hadde det vært interessant å hatt målinger for delbelastning på de to andre traktorene også for sammenligning. Kurvene for maksbelastning i grafen for spesifikt forbruk på MFen er varierende. Variasjonen kan være forsterket av avviket i målingene. Det som er mest usannsynlig er hvordan linjene går fra hverandre ved 1400 o/min. Her kan det være målefeil, og/eller at feilmarginen i målingene har slått ut maksimalt. Det er forøvrig mest sannsynlig ut at linjen for konvensjonell diesel stemmer best. Dette er fordi stigningen i linja til konvensjonell diesel belastet likt som HVO (figur 13) er med på å bekrefte

trenden. Dette gir grunn til å det er HVO som skulle hatt høyere forbruk her. Den høye differansen i det spesifikke forbruket på Volvoen kan skyldes utilstrekkelig oppvarming av motor før testing, og bør derfor ikke betraktes som helt reelt.

Volumetrisk forbruk er i utgangspunktet mindre interessant enn det spesifikke da det ikke sier noe direkte om motorens utnyttelse av drivstoffet. Her er det en selvfølge at større motorer bruker mer drivstoff da de produserer mer effekt. Kurvene kan allikevel si noe om innsprøytningssystemet. Volvoen og JDen viser for øvrig at forbruket av HVO reduseres i forhold til konvensjonell diesel når turtallet blir høyere. Dette kan ha en sammenheng med at HVO har lavere tetthet og høyere komprimerbarhet. Dette kan føre til at pumpa ikke klarer å levere lik mengde drivstoff. Teorien blir forsterket av at trenden ikke er synlig på MFen som har common rail innsprøytningssystem som teoretisk sett ikke skal berøres av dette på samme måte.

Da det er uendelig mange forhold som kan påvirke drivstofforbruk og effekt, kan det være krevende å lage en test som belyser reelle praktiske forskjeller best mulig. En velutviklet test hvor traktorene kjøres med belastning over tid (f.eks. vei-test med tilhenger) kunne gitt en bra indikasjon på variasjoner i forbruk. Dette er derimot både tidkrevende og kostbart og man ville ikke kunne tallfeste effektproduksjon. På grunn av mangel på tid og ressurser ble det bestemt å kjøre en test med dynamometer. Denne testmetoden utelukker mange faktorer som ellers kan påvirke i en praktisk test og gir mer nyanserte resultater. Effekten kan også tallfestes. Vi hadde tilgang til dynamometeret en dag, og kunne dermed ikke teste helt som ønsket. På grunn av mangel på tid ble ikke FAME testet på alle traktorer, og testsyklusene var ikke identiske da vi prøvde å tilpasse syklusene til traktorene for å få mest mulig data på minst mulig tid. Det viste seg imidlertid å gjøre sammenligningen litt mer komplisert og begrenset. På grunn av manglende målepunkter på de ulike traktorene er det vanskelig å verifisere resultater da det ikke alltid er nok data til å danne trender på de enkelte drivstoff. Dynamometeret som ble brukt fungerte utmerket til oppdraget, og det viser seg at den forhåndsprogrammerte syklusen for effekttest skulle vært brukt på alle traktorene. Dette ville gitt muligheter for mer detaljert analysering. Vekta til registrering av diesel forbruk var kjøpt inn til forsøket med tilstrekkelig vekt oppløsning, men ble ikke testet under reelle forhold før testdagen. Det viste seg at den ikke gav nøyaktige avlesninger ved høyt forbruk noe som også begrenser analyseringen av dataene til generelle trender.

6. Konklusjon

Forsøket har sett på hvordan HVO, FAME og konvensjonell diesel påvirker effekt og drivstofforbruk. Det er for få og usikre data til å analysere motorkarakteristikk og dieselens påvirkning i detalj, men generelle trender har kommet frem.

- HVO diesel gir gjennomsnittlig ca. 1% lavere effekt enn konvensjonell diesel.
- Resultater fra *en* traktor viser at FAME har en redusert effekt på tilnærmet 3% fra konvensjonell diesel.
- HVO har i snitt høyere spesifikt volumetrisk forbruk enn konvensjonell diesel på motorer med eldre innsprøytningsystemer og full belastning, trolig ca. 1%.

Det er ikke nok data på forbruk ved redusert belastning til å si noe om hvordan belastning påvirker forbruket hos de ulike dieselene. Hvordan belastning påvirker forbruket hos common rail motorer forblir uklart da målingene er usikre og variasjonen mellom full og delbelastning er uventet og store. Dataene gir allikevel uttrykk for at det kan være forskjeller. Ut ifra data i dette forsøket kan man si at volumetrisk forbruk vil øke noe og effekten reduseres noe i sammenligning med konvensjonell diesel. Antagelig er dette i gjennomsnitt ett sted ned imot 1% i begge tilfeller. I sammenligning med FAME presterer HVO desidert bedre, med høyere ytelse og lavere forbruk. I praktisk bruk vil ikke forskjellene bli merkbare på traktoren annet enn at det kan være mulig å registrere økt forbruk over lengre tid. HVO diesel er svært lik konvensjonell diesel på de egenskapene som påvirker effekt og forbruk, mye mer lik enn 1. generasjon biodiesel (FAME). Dieselen har fordeler over konvensjonell diesel, blant annet høyere cetantall. Den har også flere andre klare fordeler over FAME, av disse er lavere viskositet en viktig egenskap. HVO dieselens noe ulike egenskaper fra konvensjonell diesel gir andre muligheter ved motorkalibrering, og man kan oppnå økt ytelse utover det som er målt i dette forsøket ved å tilpasse motoren både teknisk, men også programvare messig på nyere motorer

6.1 Videre arbeid

I lys av noe mangelfull data bør det være et nytt forsøk med samme fremgangsmåte, men med flere traktorer og testsykluser. Minst to traktorer med samme motorteknologi burde testes slik at man med større sikkerhet kunne konkludere med hvordan de ulike dieselene påvirker ulik motorteknologi. Testsyklusene burde være identiske på alle traktorene og ha flere målepunkter

slik at kurvene blir mer nyanserte og sikre. Det burde også være delbelastningsmålinger på alle traktorene, gjerne flere belastninger slik at variasjon i forbruket på ulike belastninger og motorer kunne analyseres. Et forsøk som tok høyde for mer optimale innstillinger for HVO vil også være høyaktuelt. Her kunne det være et mål å se på hvor mye som må gjøres på ulike motorer for å få en optimal ytelse med HVO. Hvor mye som må gjøres og hvor stort utslag det vil ha kan ha mye å si for hvordan HVO kan benyttes og hvor utbredt det blir.

Litteraturliste

- Agarwala, D., Kumarb, L. & Agarwalb, A. K. (2007). Performance evaluation of a vegetable oil fuelled compression ignition engine. Hentet fra https://ac-els-cdn-com.ezproxy.inn.no/S0960148107002327/1-s2.0-S0960148107002327-main.pdf?_tid=e45c6b28-b223-4670-a61e-945cd3d586e3&acdnat=1550316381_c8d4e154c773819cb0f2bdeebcad9fe7
- Aki Tilli, Ossi Kaario, Matteo Imperato & Larmi, M. (2009). Fuel Injection System Simulation with Renewable Diesel Fuels. Hentet fra <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2009-24-0105/>
- Bhardwaj, O. P., Kolbeck, A. F., Kkoerfer, T. & Honkanen, M. (2013). Potential of Hydrogenated Vegetable Oil (HVO) in Future High Efficiency Combustion System. Hentet fra <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2013-01-1677/>
- Bhardwaja, M., Guptab, P. & Kumarc, N. (2014). Compatibility	of	Metals	and	Elastomers	in	Biodies el:	A	review. I. Hentet fra <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.675.4057&rep=rep1&type=pdf>
- Cataluña, R. & da Silva, R. (2012). Effect of Cetane Number on Specific Fuel Consumption and Particulate Matter and Unburned Hydrocarbon Emissions from Diesel Engines. *Journal of Combustion*, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/738940>
- Concave. (1986). the relationship between automotive diesel fuel characteristics and engine performance. Hentet fra https://www.concawe.eu/wp-content/uploads/2017/01/rpt_86-65ocr-2004-01342-01-e.pdf
- Diesel Technology Forum. About clean diesel agriculture. Hentet 18.01 2019 fra <https://www.dieselforum.org/about-clean-diesel/agriculture>
- Dobovišek, Ž., Vajda, B., Pehan, S. & Kegl, B. (2009). INFLUENCE OF FUEL PROPERTIES ON ENGINE CHARACTERISTICS AND TRIBOLOGY PARAMETERS. Hentet fra <https://hrcak.srce.hr/file/63994>
- Econ. (2007). *Biodrivstoff -status og utsikter*. Hentet fra <https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/ud/vedlegg/bio.pdf>
- Energy.gov. (u.å). Hydrogen storage. Hentet fra <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage>
- European committee for standardization. (2019). who we are. Hentet fra <https://www.cen.eu/about/Pages/default.aspx>
- Goering, C. E. (1992). *Engine & Tractor Power* (3. utg.)the American Society of Agricultural Engineers.
- Hjorthol, L. M. (2015). Kan biodiesel skade bilen din? Hentet 23.01.19 fra <https://forskning.no/partner-bil-og-trafikk-miljoteknologi/kan-biodiesel-skade-bilen-din/503259>
- Hofstad, K. (2018). CEN - Den europeiske standardiseringsorganisasjonen. Hentet fra https://snl.no/CEN_-_Den_europeiske_standardiseringsorganisasjonen
- Holtebekk, T. (2018). viskositet. Hentet fra <https://snl.no/viskositet>

- Iain, S. (2011). The energy and fuel data sheet. I. Hentet fra http://www.claverton-energy.com/wordpress/wp-content/uploads/2012/08/the_energy_and_fuel_data_sheet1.pdf
- ISO. (1994). ISO 3104:1994(en). Hentet fra <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:3104:ed-2:v1:en>
- Kim, D., Martz, J. & Violi, A. (2016). Effects of fuel physical properties on direct injection spray and ignition behavior. Hentet fra https://ac-els-cdn-com.ezproxy.inn.no/S0016236116301272/1-s2.0-S0016236116301272-main.pdf?_tid=9334dccb-6f46-4dd3-9958-95046a479712&acdnt=1550491714_4dc51288facb346667a89931d91854be
- Lundby, L. (1985). *Forbrenningsmotorer I*. Universitetsforlaget.
- McKee, H., Fernandes, G., Fuschetto, J., Filipi, Z. & Assanis, D. (2005). Impact of Military JP-8 Fuel on Heavy Duty Diesel Engine Performance and Emissions. I U. S. A. T. A. R. D. a. E. Cent, D. Army Tank Automotive Research & M. I. Engineering Center Warren (Red.): Defense Technical Information Center.
- Murphy, F., McDonnell, K., Butler, E. & Devlin, G. The evaluation of viscosity and density of blends of Cyn-diesel pyrolysis fuel with conventional diesel fuel in relation to compliance with fuel specifications EN 590:2009. Hentet fra https://ac-els-cdn-com.ezproxy.inn.no/S0016236111003504/1-s2.0-S0016236111003504-main.pdf?_tid=db5d43d4-80bb-43b8-ae2a-bf78a4e23edb&acdnt=1550315127_fbe3db380b18940183b420d1553feb20
- NAF. (u.å). Alt du må vite om drivstoff. Hentet 2019 fra <https://www.naf.no/tips-og-rad/bilhold/teknisk-om-bilen/alt-du-ma-vite-om-drivstoff/#Biodiesel>
- Neste. (2016). Neste Renewable Diesel Handbook. I. Hentet fra https://www.neste.com/sites/default/files/attachments/neste_renewable_diesel_handbook.pdf
- New world encyclopedia contributors. (2017a). Diesel. I. Hentet 23.01.19 fra <http://www.newworldencyclopedia.org/p/index.php?title=Diesel&oldid=1007348>
- New world encyclopedia contributors. (2017b). Diesel engine. Hentet 18.01 2019 fra http://www.newworldencyclopedia.org/p/index.php?title=Diesel_engine&oldid=1007345
- Pandey, R. K., Rehman, A. & Sarviya, R. M. (2011). Impact of alternative fuel properties on fuel spray behavior and atomization. Hentet fra https://ac-els-cdn-com.ezproxy.inn.no/S1364032111005466/1-s2.0-S1364032111005466-main.pdf?_tid=9168ca6f-4b8c-42ca-a4f2-0f3b64c5a75f&acdnt=1550325771_f193e0ca154379364cfc0578d05757f7
- Richard, A. (2017). Analysis: Is electric technology set to kill off diesel tractors? Hentet fra <https://www.fwi.co.uk/arable/analysis-electric-technology-set-kill-off-diesel-tractors>
- Rogers, J. (2015). What is the difference between Compressed Natural Gas and Liquefied Natural Gas? Hentet fra <https://www.ucsusa.org/our-work/ucs-publications/cng-vs-lng#.XEX2nlxKiM8>
- Schaberg, P. & Atkinson, C. (2016). Calibration Optimization of a Heavy-Duty Diesel Engine with GTL Diesel Fuel. Hentet fra https://www.researchgate.net/publication/301243149_Calibration_Optimization_of_a_Heavy-Duty_Diesel_Engine_with_GTL_Diesel_Fuel
- Standard Norge. (2014). Norsk Standard NS-EN 14214:2012+A1:2014. I. Hentet fra <https://www.standard.no/en/PDF/FileDownload/?redir=true&filetype=Pdf&preview=true&item=687205&category=5>

-
- Standard Norge. (2018). NS-EN 15940:2016+A1:2018. I. Hentet fra <https://www.standard.no/en/PDF/FileDownload/?redir=true&filetype=Pdf&preview=true&item=992148&category=5>
- Store norske leksikon. (2009). Common rail. Hentet fra https://snl.no/common_rail
- Theocharis, T., Stavroula, T., Zacharias, G., Orlando, P., Filippo, G., Pablo Quero, G., ... Monica, F. (2019). Quality Characteristics of Biodiesel Produced from Used Cooking Oil in Southern Europe. *ChemEngineering*, 3(1), 19. <https://doi.org/10.3390/chemengineering3010019>
- Troyer, D. (s.a.). Kinematic Viscosity Explained. Hentet 2019 fra <https://www.machinerylubrication.com/Read/294/absolute-kinematic-viscosity>
- U.S. Energy Information Administration. (2013). Few transportation fuels surpass the energy densities of gasoline and diesel. Hentet fra <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=9991>
- Varun, P., Singh, S. K., Tiwari, R., Singh, N. & Kumar, N. (2017). Modification in combustion chamber geometry of CI engines for suitability of biodiesel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 1016-1033. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.116>
- Weber, C. & Amundsen, A. H. (2016). Fornybare drivstoffer – Fornybar diesel: HVO. Hentet fra <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=43045>
- Webster, M. (s.a.). Diesel fuel. I. Hentet fra <https://www.merriam-webster.com/dictionary/diesel%20fuel>
- Worldwide fuel charter committee. (2013). Worldwide fuel charter. Hentet fra https://www.acea.be/uploads/publications/Worldwide_Fuel_Charter_5ed_2013.pdf
- Çetinkaya, M., Ulusoy, Y., Tekin, Y. & Karaosmanoğlu, F. (2005). Engine and winter road test performances of used cooking oil originated biodiesel. *Energy Conversion and Management*, 46(7), 1279-1291. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2004.06.022>
- Østbye, H., Mossige, S. C., Smith, A. E. & Christensen, Ø. (2008). *Biodiesel i medias makt*. Hentet fra http://folk.ntnu.no/vmbiovad/biodiesel/biodiesel_files/Rapporter/Fagrapport%20gr5.pdf