



HOGERE ZEEVAARTSCHOOL ANTWERPEN

Invloed van de openingsdruk
van de injector en de
vetzuursamenstelling van een
biodiesel op de samenstelling
van uitlaatgassen met de nadruk
op fijnstof

Paco Gouwy

Scriptie voorgedragen tot het behalen
van de graad van
Bachelor in de Scheepswerktuigkunde

Promotor: Rafael Maes

Academiejaar: 2020 - 2021

WOORD VOORAF

In deze thesis bekijken we welke invloed de injectiedruk van een injector zal hebben op de werking van vetzuren in een biodiesel. Uiteindelijk willen we onderzoeken welk effect deze mogelijke injectiedruk afhankelijke vetzuren hebben op de uitstoot van fijnstof.

Deze studie werd uitgevoerd omdat het gebruik van biodiesel met vetzuur toevoegingen steeds belangrijker blijkt in de maritieme sector om de huidige en komende emissienormen te blijven halen. Steeds vaker komen namelijk emissie zones voor waarin slechts een zeer beperkte uitstoot toegelaten is.

DANKWOORD

Een woord van dank is zeker op z'n plaats voor enkele personen die mij gedurende het afgelopen jaar geholpen hebben.

Eerst en vooral dank ik mijn promotor Mr. R. Maes die mij dit actueel, interessant en bewogen onderwerp heeft toevertrouwd en waarbij ik steeds ook terecht kon voor vragen.

Ten tweede bedank ik Mr. M. Sterkens die tijdens de metingen steeds klaarstond om samen de injector te vervangen of andere kritische vragen op te lossen.

Daarnaast wil ik ook nog een speciaal dankwoord richten tot Prof. Dr. G. Potters die mij duidde op de exacte manier om een thesis te schrijven en hiervoor ook tijd vrijmaakte om dit via blackboard uit te leggen.

Verder wil ik ook nog mijn uiterste dank uitspreken naar Ruud Buyse die me tijdens het 1ste academiejaar extra bijlessen wiskunde gaf op een uiterst begrijpelijke manier.

Tenslotte wil ik mijn familie en vrienden maar vooral mijn vader bedanken die de moeite deed om mijn thesis enkele malen na te lezen en waar nodig te corrigeren.

SAMENVATTING

In onze scriptie bekijken we welk effect een verandering van de openingsdruk van de injector heeft op de samenstelling van vetzuren in biodiesel. In een tweede stadium willen we ook gaan onderzoeken welke invloed dit heeft op de uitstoot van fijnstof.

We hebben dit onderzoek kunnen realiseren door testcycli op een generator uit te voeren waarbij fijnstof, stikstofmonoxide en stikstofdioxide werd gemeten. Dit deden we bij acht biobrandstoffen waarvan zeven met vetzuur toevoegingen.

We stelden vast dat op een vaste druk een hoge aanwezigheid van lange vetzuurketens, met name methyl linolenaat en methyl linoleaat, een positief effect heeft op de uitstoot.

Bij een variabele druk constateerden we echter dat de perfecte balans van vetzuur concentraties zeer moeilijk te vinden is. Dit komt omdat de fijnstof uitstoot sterk afhangt van de openingsdruk maar eveneens omdat de werking van de vetzuren sterk afhankelijk is van de openingsdruk.

ABSTRACT

In our thesis, we look at what effect a change in the opening pressure of the injector has on the composition of fatty acids in biodiesel. In a second stage, we also want to investigate the influence of this on the emission of particulate matter.

We were able to carry out this research by running test cycles on a generator in which particulate matter, nitrogen monoxide and nitrogen dioxide were measured. We did this for eight biofuels, seven of which had fatty acid additives.

We determined that at a fixed pressure, a high presence of long fatty acid chains, especially methyl linolenate and methyl linoleate, has a positive effect on emissions.

At a variable pressure, however, we found that the perfect balance of fatty acid concentrations is very difficult to achieve. This is due to the fact that the particulate matter emission strongly depends on the opening pressure, but also because the reaction of the fatty acids strongly depends on the opening pressure.

INHOUDSOPGAVE

1	Inleiding.....	1
1.1	Emissienormen in Europa	1
1.2	Transportsector en emissies	2
1.3	Bijdrage van IMO inzake emissie	3
2	Alternatieve brandstof	3
2.1	Biobrandstof	4
2.1.1	Belemmeringen inzake gebruik en productie biobrandstof	5
2.1.2	Voordelen gebruik en productie van biobrandstof.....	6
3	Biodiesel: analyse	7
3.1	Biodiesel : normen.....	9
3.2	Vetzuren in biodiesel	10
3.2.1	Biodiesel eigenschappen verbeteren met behulp van vetzuren	12
4	Vetzuren en emissies.....	15
4.1	NO _x emissies en de invloed van vetzuren	16
4.1.1	De bulkmodus	18
4.2	Fijnstof emissies en de invloed van vetzuren	19
5	Injectiedruk dieselmotor	21
6	Meetopstelling	23
6.1	Checklist veranderen van brandstof	26
7	Openingsdruk injector	29
7.1	Checklist shims vervangen.....	30
8	Onderzoeksvragen.....	33
8.1	1 ^{ste} hypothese test	34
8.2	2 ^{de} hypothese test	34
8.3	3 ^{de} hypothese test	34
9	Hypothese 1: meting van PM, NO en NO ₂ op 8 verschillende biobrandstoffen op constante druk	35
9.1	PM- hypothese op constante injectiedruk.....	35
9.2	NO- hypothese op constante injectiedruk.....	37
9.3	NO ₂ - hypothese op constante injectiedruk	38
10	Hypothese 2: PM- en NO _x -uitstoot op constante druk in vergelijking met vetzuur concentratie	41
10.1	Brandstoffen die het minste zullen uitstoten bij druk 1	43
10.2	Druk 1: Methyl palmitaat (C16:0).....	44

10.2.1	fijnstof uitstoot en mogelijk verband met methyl palmitaat.....	44
10.2.2	stikstofmonoxide uitstoot en mogelijk verband met methyl palmitaat.	44
10.2.3	stikstofdioxide uitstoot en mogelijk verband met methyl palmitate.....	45
10.3	Druk 1: methyl stearaat (C18:0)	46
10.3.1	Fijnstof uitstoot en mogelijk verband met methyl stearaat	46
10.3.2	stikstofmonoxide uitstoot mogelijk verband methyl stearaat	46
10.3.3	stikstofdioxide uitstoot mogelijk verband methyl stearaat	47
10.4	druk 1: methyl oleaat(C18:1)	48
10.4.1	fijnstof uitstoot mogelijk verband methyl oleaat	48
10.4.2	stikstofmonoxide uitstoot mogelijk verband methyl oleaat	48
10.4.3	stikstofdioxide uitstoot mogelijk verband methyl oleaat	49
10.5	Druk 1: methyl linoleaat (C18:2).....	50
10.5.1	fijnstof uitstoot en mogelijk verband met methyl linoleaat.....	50
10.5.2	stikstofmonoxide en mogelijk verband met methyl linoleaat	50
10.5.3	stikstofdioxide en mogelijk verband met methyl linoleaat	51
10.6	Druk1: methyl linolenaat , (18:3)	52
10.6.1	fijnstof en mogelijk verband met methyl linolenaat	52
10.6.2	stikstofmonoxide en mogelijk verband met methyl linolenaat	52
10.6.3	stikstofdioxide en mogelijk verband met methyl linolenaat	53
11	Vetzuur samenstelling en invloed op de uitstoot van PM, NO en NO ₂	55
12	Hypothese 3: Meting van PM op 8 verschillende biobrandstoffen op verschillende openingsdrukken	57
12.1	Openingsdrukken	57
12.2	Fijnstof uitstoot op verschillende openingsdrukken	58
12.3	Hypothese 3: meting van fijnstof op druk 1 t.o.v. druk 2.....	62
12.3.1	Hypothese 3.1: fijnstof uitstoot vermeerdering bij referentiebrandstof A 63	
12.3.2	Hypothese 3.2: fijnstof uitstoot bij brandstof B druk 1 t.o.v. brandstof H druk 2 64	
12.4	Resultaat fijnstof uitstoot op verschillende openingsdrukken	65
12.5	Onderscheiding van soorten geteste brandstoffen op verschillende openingsdrukken	67
13	Vergelijking van brandstoffen en de werking van hun vetzuur toevoegingen op een variabele injectiedruk.....	69
13.1	Percentuele vetzuur toevoeging bij constante druk.....	69
13.2	Percentuele vetzuur toevoeging bij variabele druk.....	71

13.2.1	Druk 2 t.o.v. druk 1 : methyl palmitaat (C16:0)	73
13.2.2	Druk 2 t.o.v. druk 1 : methyl stearaat (C18:0)	73
13.2.3	Druk 2 t.o.v. druk 1 : methyl oleaat (C18:1)	74
13.2.4	Druk 2 t.o.v. druk 1 : methyl linoleaat (C18:2).....	74
13.2.5	Druk 2 t.o.v. druk 1 : methyl linolenaat (C18:3).....	74
14	Resultaten en besluiten	75
14.1	Resultaten en besluiten op vaste druk	75
14.1.1	fijnstof	75
14.1.2	Stikstofmonoxide	76
14.1.3	Stikstofdioxide	76
14.2	Fijnstof uitstoot en vetzuur samenstelling.....	77
14.3	Stikstofmonoxide uitstoot en vetzuur samenstelling.....	78
14.4	Stikstofdioxide en vetzuur samenstelling.....	79
14.5	Eindresultaat samenstelling van vetzuren en uitstootwaarden op een vaste druk	80
15	Conclusie op vlak van vetzuur samenstelling en fijnstof uitstoot op een variabele druk.....	81
15.1	Soorten brandstoffen op variabele druk door vetzuur toevoegingen	81
15.2	Eindconclusie op variabele druk.....	82
16	Bijlage	83
17	Bibliografie	84

FIGUREN-, TABELLEN- EN VERGELIJKINGENLIJST

<i>FIGUUR 1:CHEMISCHE STRUCTUUR TRIGLYCERIDE MOLECUUL</i>	7
<i>FIGUUR 2:MOGELIJKE PROCESSEN/HANDELINGEN OM VETZUREN TOE TE VOEGEN</i>	12
<i>FIGUUR 3:TEMPERATUURSCONTROLE + SAMPLE AFNAME</i>	23
<i>FIGUUR 4: FIJNSTOF CONCENTRATIE MEETTOESTEL</i>	23
<i>FIGUUR 5: NOX-CONCENTRATIE MEETTOESTEL</i>	23
<i>FIGUUR 6: ELEKTRISCHE VERBRUIKERS</i>	25
<i>FIGUUR 7: BRANDSTOF COLLECTOR</i>	27
<i>FIGUUR 8: 3-WEG BRANDSTOF VALVE INGANG GENERATOR</i>	27
<i>FIGUUR 9: HBM DIESEL VERSTUIVER TESTER 600BAR</i>	29
<i>FIGUUR 10: GEDEMONTEERDE INJECTOR</i>	30
<i>FIGUUR 11: BRANDSTOF A VETZUUR SAMENSTELLING</i>	56
<i>FIGUUR 12: BRANDSTOF B VETZUUR SAMENSTELLING</i>	56
<i>FIGUUR 13: BRANDSTOF C VETZUUR SAMENSTELLING</i>	56
<i>FIGUUR 14: INJECTIEDRUK 1 T.O.V.. FIJNSTOF UITSTOOT VERSCHILLENDE BRANDSTOFFEN</i>	59
<i>FIGUUR 15: INJECTIEDRUK 2 T.O.V. FIJNSTOF UITSTOOT VERSCHILLENDE BRANDSTOFFEN</i>	60
<i>FIGUUR 16: INJECTIEDRUK 3 T.O.V. FIJNSTOF UITSTOOT VERSCHILLENDE BRANDSTOFFEN</i>	61
<i>FIGUUR 17: FIJNSTOF UITSTOOT BIJ OPENINGSDRUK 1 T.O.V. 2</i>	66
<i>FIGUUR 18:FIJNSTOF UITSTOOT BIJ OPENINGSDRUK 1 T.O.V. 2 MET STANDAARDAFWIJKING</i>	83
<i>TABEL 1: SPECIFICATIE BIODIESEL STANDAARDEN</i>	9
<i>TABEL 2: ESSENTIËLE VETESTERS VOOR GEBRUIK ALS BRANDSTOF</i>	13
<i>TABEL 3: TEST OPENINGSDRUK INJECTOR (MPA)</i>	29
<i>TABEL 4: FIJNSTOF UITSTOOT T.O.V. VETZUUR SAMENSTELLING</i>	41
<i>TABEL 5: STIKSTOFMONOXIDE UITSTOOT T.O.V. VETZUUR SAMENSTELLING</i>	42
<i>TABEL 6: STIKSTOFDIOXIDE UITSTOOT T.O.V. VETZUUR SAMENSTELLING</i>	42
<i>TABEL 7: FIJNSTOF UITSTOOT VERSCHILLENDE BRANDSTOFFEN- INJECTIEDRUK 1</i>	59
<i>TABEL 8: FIJNSTOF UITSTOOT- DRUK 2</i>	60
<i>TABEL 9: FIJNSTOF UITSTOOT VERSCHILLENDE BRANDSTOFFEN- INJECTIEDRUK 3</i>	61
<i>TABEL 10: DRUK1 - FIJNSTOF UITSTOOT</i>	62
<i>TABEL 11: DRUK 2 - FIJNSTOF UITSTOOT</i>	62
<i>TABEL 12:DRUK 1 FIJNSTOF UITSTOOT T.O.V. VETZUUR SAMENSTELLING</i>	72
<i>TABEL 13:DRUK 2 FIJNSTOF UITSTOOT T.O.V. VETZUUR SAMENSTELLING</i>	72
<i>VERGELIJKING 1: FIJNSTOF HYPOTHESE OP CONSTANTE DRUK</i>	36
<i>VERGELIJKING 2: STIKSTOFMONOXIDE HYPOTHESE OP CONSTANTE DRUK</i>	37
<i>VERGELIJKING 3: STIKSTOFDIOXIDE HYPOTHESE OP CONSTANTE DRUK</i>	38
<i>VERGELIJKING 4: HYPOTHESE PROEF VERHOOGING DRUK - BRANDSTOF A</i>	63
<i>VERGELIJKING 5: HYPOTHESE PROEF VERHOOGING DRUK - MINSTE UITSTOTERS</i>	64
<i>VERGELIJKING 6: ALTERNATIE FIJNSTOF UITSTOOT DOOR VERANDERING VAN INJECTIEDRUK</i>	67

1 Inleiding

De mensheid moet de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer sterk verminderen tegen het midden van deze eeuw om een niveau te behalen dat niet hoger is dan 2 graden boven het pre-industriële peil. Onze industrieën en landbouw kunnen niet meer broeikasgassen gaan uitstoten dan ze zullen opnemen. Dit zal een enorme shift te weeg brengen in onze economie. Processen zoals verwarmen, transport, elektriciteitsproductie en industrie zullen moeten functioneren in een wereld zonder fossiele brandstof. Deze shift kan vergemakkelijkt worden door sociale en vooral technologische verschuivingen zoals digitalisatie, maar de-carbonisatie zal wellicht een moeilijke strijd blijven. Verminderde gebruik van fossiele brandstof zal een negatieve tendens in de olieprijs te weeg brengen die dan op zich terug een positieve stimulans voor het gebruik van fossiele brandstof zal te weeg brengen (GEORG, 2018).

1.1 Emissienormen in Europa

Afgelopen decennium heeft de EU een proactief klimaatbeleid nagestreefd en een significante hoeveelheid hernieuwbare energie systemen geïmplementeerd. Deze inspanningen zijn succesvol gebleken. Verdergaan met een toename van hernieuwbare- en/of verbeterde energie-efficiëntie systemen zouden geen drastische politieke veranderingen te weeg brengen. Maar de EU heeft nu een meer urgente energie transitie nodig om in lijn te zijn met de vooropgestelde de-carbonisatie niveau van the Paris agreement en om de economische en industriële kansen te grijpen die deze globale transitie biedt. Een volledige energietransitie wordt economisch en technisch haalbaar en de kosten ervan zouden vergelijkbaar zijn met die van de instandhouding van het bestaand systeem, indien een passend beleid en regelgeving worden ingevoerd. Kortom, de EU kan baat hebben bij een verregaande de-carbonisatie, ongeacht wat andere economieën in de wereld doen. Deze overgang kan sociaal aanvaardbaar zijn mits het juiste beleid wordt gevoerd om de verdelingseffecten van een verregaande de-carbonisatie te beheersen en te verzachten. Het is tijd om nu te handelen, aangezien de beleidskeuzes die tot 2024

worden gemaakt bepalend zullen zijn voor de vorm van het energiesysteem van de EU tegen 2050 (Tagliapietra et al., 2019).

1.2 Transportsector en emissies

Tussen 1990 en 2016 zijn EU broeikasgassen significant gedaald in alle sectoren met uitzondering van de transportsector die een toename zag van 20 percent. (Tagliapietra et al., 2019). De broeikasgas emissies van de EU zijn in 2017 zelfs met 0.6% toegenomen, volgens voorlopige ramingen van de lidstaten. Deze stijging was voornamelijk het gevolg van het hogere oliegebruik door de transport sector (*Recent Trends and Projections in EU Greenhouse Gas Emissions — European Environment Agency, z.d.*).

De duurzaamheidskwesties op het gebied van scheepvaart, haven- en maritieme logistiek (algemeen gekend als maritieme transport) en logistieke industrie hebben historisch minder aandacht gehad dan de sectoren luchtvaart en vrachtvervoer over land. Naarmate de regelgeving van de Internationale Maritieme Organisatie (IMO) inzake schepen en interactie tussen havens en steden is toegenomen sinds 1997, zijn de belanghebbenden in de sector geleidelijk meer aandacht gaan besteden aan duurzaamheid in alle sectoren. Als gevolg daarvan heeft de sector in de afgelopen twee decennia een aanzienlijk aantal academische onderzoekresultaten verzameld (Lee et al., 2019).

1.3 Bijdrage van IMO inzake emissie

Wat duurzaamheidsvraagstukken in de sectoren scheepvaart, havens en maritieme logistiek betreft, heeft de internationale maritieme organisatie (IMO) direct en indirect grote invloed. Het IMO-verdrag beschrijft haar fundamentele doelstelling als de instandhouding en het “duurzame” gebruik van oceanen en hun hulpbronnen. Als resultaat heeft de IMO samen met UNCLOS (United Nations Convention on the Law of the Sea) verschillende protocollen en regelgevingen in werking laten treden zoals het LC-verdrag (de Londen Convention on the prevention of marine pollution), de Hong Kong Ship Recycling Convention) en Marpol annex VI prevention of air pollution from ships. De IMO, deel uit makend van de Verenigde Naties, heeft verschillende belangrijke regelgevingen ontwikkeld, die gerelateerd zijn aan “de agenda 2030 voor duurzame ontwikkeling”. Deze agenda bevat 17 duurzame ontwikkelingsdoelstellingen die de VN in september 2015 heeft vastgelegd (Lee et al., 2019).

2 Alternatieve brandstof

De snelle stijging in het bevolkingsaantal is gepaard gegaan met een toename in gebruik van energie en fossiele brandstoffen, wat heeft geleid tot een onomkeerbare verslechtering van het milieu en klimaatsveranderingen als gevolg. Verwacht wordt dat de wereldbevolking in 2050 de grens van 9 miljard zal overschrijden en dat de vraag naar energie met 84% zal toenemen. Bij deze extra toename zou biobrandstof voor 1/3 van de gevallen geleverd kunnen worden. Transport is van fundamenteel belang in de huidige geglobaliseerde economie, omdat het de uitwisseling van zowel goederen als personen mogelijk maakt. Het is tegelijkertijd een van de sectoren waarin fossiele brandstoffen worden gebruikt waarbij grote hoeveelheden gasvormige verontreinigende stoffen vrijkomen. In de EU is deze transport verantwoordelijk voor naar schatting 21% van alle broeikasgas emissies die zwaar bijdragen tot de opwarming van de aarde. Om de duurzaamheidsdoelstellingen te halen, met name de vermindering van de broeikasgasemissies die in het kader van o.a. het Kyoto-protocol zijn overeengekomen, is het van essentieel belang manieren te vinden om de emissies van de transportsector te verminderen (Darda et al., 2019).

Terrestrische planten en zee algen worden beschouwd als potentiële bijdragers tot de verwezenlijking van de energiedoelstellingen, gekoppeld aan de tot stand brenging van de vermindering van uitstoot van stikstofdioxide. Ze overleven door het proces van fotosynthese die zonne-energie omzet in chemische energie die wordt opgeslagen als biomassa. Onder normale omstandigheden gebruiken zee algen zonne-energie en fixeren ze kooldioxide uit de atmosfeer voor een biochemische proces/assimilatie in de hoofdvorm van koolhydraten en lipiden. Deze kunnen dan geëxploiteerd worden voor de productie van biobrandstoffen (Song et al., 2015).

2.1 Biobrandstof

Biobrandstoffen zijn met energie verrijkte chemicaliën die worden geproduceerd uit de biomassa die in de natuur in overvloed aanwezig is. Ze zijn het resultaat van fotosynthese uit de atmosfeer die wordt omgezet in suikers, door gebruik te maken van zonne-energie en water. Het gebruik van biobrandstoffen is belangrijker geworden als gevolg van visies op een hogere efficiëntie van hulpbronnen, op het de-carboniseren van de samenleving en op de exploitatie van lokale hernieuwbare energiebronnen. Hierdoor kan de economie van elk land floreren onafhankelijk van geïmporteerde olie (Darda et al., 2019). De overgang naar een koolstofarme transport sector vereist geschikte technologieën en de beschikbaarheid van energiebronnen. Voor de duurzame productie van vloeibare brandstoffen zijn ecologische, economische en sociaal duurzame technologieën nodig. De kans dat biobrandstoffen fossiele brandstoffen kunnen vervangen is sterk afhankelijk van de productie van biomassa en de beschikbaarheid van percelen waar deze kunnen gecultiveerd worden. De productie van biobrandstoffen kan positieve ecologische, sociale en economische kansen bieden voor vele landbouwregio's maar de investering in infrastructuur is van cruciaal belang (Dominković et al., 2018).

Niettegenstaande zijn er ook enkele mogelijke belemmeringen. Op economisch vlak was een van de conclusies van een studie waarin de productie van biobrandstoffen en voedselzekerheid met elkaar worden vergeleken (Scovronick & Wilkinson, 2013), dat de toenemende productie van biobrandstoffen gevolgen zal hebben voor de prijzen van landbouwgrondstoffen in de wereld en voor de voedselzekerheid op mondiaal, nationaal, huishoudelijk en individueel niveau. Een ander argument is dat biobrandstoffen de mogelijkheid hebben om de prijzen van fossiele brandstoffen te

verlagen waardoor een “rebound effect” ontstaat met een terugkeer naar fossiele brandstoffen als gevolg. Elektriciteits- en warmtesector maken naast de transportsector steeds meer gebruik van biomassa als vorm van schone en hernieuwbare energie, waardoor de hoeveelheid duurzame biomassa blijft dalen.

2.1.1 Belemmeringen inzake gebruik en productie biobrandstof

Technisch zijn er echter ook enkele belemmeringen. Auteurs in (Connolly et al., 2014) vatten de belangrijkste belemmeringen voor biobrandstoffen als volgt samen: beperkte hoeveelheid bio-energie bronnen uit restbronnen zoals landbouw, afval of bossen. Daarnaast behoefte aan grote percelen die enkel gebruikt worden voor productie van biobrandstoffen via biomassa. Land alternatief voor de productie van biobrandstof is vaak voedselproductie. Uit een levenscyclusanalyse van energiesystemen op basis van biomassa door (Tonini & Astrup, 2012), blijkt dat het gebruik van gewassen om te voldoen aan de vraag naar biobrandstoffen voor zwaar vervoer, schepen, defensie en de luchtvaart aanzienlijke milieueffecten heeft op het gebied van de opwarming van de aarde, eutrofiëring en landgebruik.

Een van de grootste belemmeringen is dat de bestaande IC (internal combustion) - motoren moeten worden geoptimaliseerd of opnieuw ontworpen worden om geschikt te zijn voor biobrandstoffen. Of dat biobrandstoffen moeten worden gemengd met conventionele brandstoffen wat op zich weer leidt tot hogere GHG-emissies. Als de biobrandstof wordt aangepast aan de bestaande technologie, is het bovendien belangrijk te bedenken dat hoe meer brandstof wordt verbruikt, hoe lager het totale systeemrendement is. Ondanks het feit dat de cyclus van productie en verbruik van biobrandstoffen als neutraal wordt beschouwd, liggen de NO_x- emissies van de meeste biobrandstoffen op een vergelijkbaar niveau met die van fossiele brandstoffen, indien de biomassabronnen op duurzame wijze worden gebruikt. Uit sommige studies blijkt dat biodiesel in sommige gevallen de NO_x-uitstoot verhoogt, terwijl de uitstoot van koolwaterstoffen, koolstofmonoxide en fijnstof vermindert in vergelijking met de dieselolie uit aardolie. De redenen voor dit effect kunnen liggen in de invloed van injectietijd, ontstekingstijd of de verbrandingstemperatuur op de biobrandstoffen (Dominković et al., 2018; Millo et al., 2015).

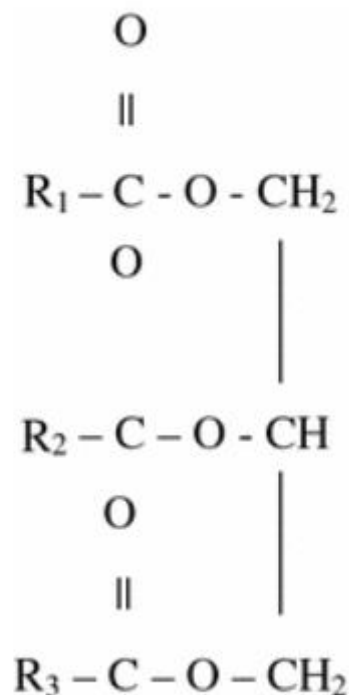
2.1.2 Voordelen gebruik en productie van biobrandstof

Maar het gebruik van biobrandstof brengt ook enkele opportuniteiten met zich mee. De voordelen van het gebruik van biobrandstof zijn talrijk, vooral gezien de huidige stand van de markt en de technologische ontwikkeling. Een van de grote voordelen is dat de productiekosten van biobrandstoffen aanzienlijk lager liggen t.o.v. waterstof, synthetische of brandstof cellen. Maar momenteel zijn die kosten nog steeds hoger dan de productiekosten van fossiele brandstoffen. Wel kunnen ze geproduceerd worden uit een breed scala van materialen: biomassa afkomstig van hout, residuen, gewassen, eetbare oliën (Dominković et al., 2018).

Op EU-niveau werden bijvoorbeeld verschillende eerste, tweede en derde generaties van biobrandstof technologieën onderzocht (Čuček et al., 2014). Hieruit werd vastgesteld dat de meest veelbelovende grondstoffen voor de economische productie van biobrandstoffen (reuzen)riet en algen zijn. Terwijl biobrandstoffen aanzienlijk meer dan 10% van de fossiele brandstoffen zouden kunnen vervangen zonder significante gevolgen voor de voedselvoorzieningsketen van de EU. Tenslotte hebben biobrandstoffen weliswaar enige negatieve gevolgen voor de luchtkwaliteit (verhoogde NO_x-uitstoot), maar dragen zij over het algemeen bij tot een vermindering van de uitstoot van broeikasgassen, waaronder CO₂, CO en vooral fijnstof (Dominković et al., 2018).

3 Biodiesel: analyse

Biodiesel wordt geproduceerd door middel van een reactie die transesterificatie wordt genoemd. In een transesterificatie of alcoholisatiereactie reageert één mol triglyceride met drie mol alcohol (molaire verhouding tussen methanol en plantaardige olie is 3:1) tot één mol glycerol en drie mol van respectievelijk alkyl esters vetzuur. Het proces is een opeenvolging van drie omkeerbare reacties, waarbij de drie-glyceridemoleculen stap voor stap worden omgezet in diglyceride, monoglyceride en glycerol (M. Mittelbach & Remschmidt, 2004). Er zijn reeds verschillende werken gepubliceerd over de productie van biodiesel door onder meer (Demirbas, 2005; Fukuda et al., 2001; Ma & Hanna, 1999). In het algemeen kan transesterificatie plaatsvinden door base- of zuurkatalyse. Bij homogene katalyse is alkali-katalyse echter een veel sneller proces dan zure katalyse (*Biodiesel production from various feedstocks and their effects on the fuel properties | Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology | Oxford Academic, z.d.*; *Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils - Freedman - 1984 - Journal of the American Oil Chemists' Society - Wiley Online Library, z.d.*).



Figuur 1: Chemische structuur triglyceride molecuul

Bron: *Biodiesel production from various feedstocks*,
Oxford Academic (2008)

Verscheidene soorten plantaardige oliën, met een gevarieerde samenstelling van vetzuren, kunnen worden gebruikt voor de bereiding van biodiesel. Vier oliegewassen domineren duidelijk de grondstofbronnen die wereldwijd voor de productie van biodiesel worden gebruikt. Palmolie (Kalam & Masjuki, 2002), raapzaadolie (Cvengroš & Považanec, 1996; Peterson et al., 1996), zonnebloemolie (Antolín et al., 2002) en sojaolie (Şensöz & Kaynar, 2006) zijn het meest bestudeerd geweest.

In dit onderzoek werkt men met raapzaadolie. Weliswaar zijn er echter geen technische beperkingen voor het gebruik van andere soorten plantaardige oliën.

Belangrijke kenmerken van biodiesel zijn: de vermindering van uitlaatgas emissies naar de tegenwoordige normen, met uitzondering van NO_x (in vergelijking met fossiele-diesel), de biologische afbreekbaarheid, het ontbreken van zwavel, inherente smeerbaarheid, positieve energiebalans, hogere vlampunt, de compatibiliteit met de bestaande brandstofdistributie-infrastructuur, de hernieuwbaarheid en de mogelijke binnenlandse oorsprong (Knothe, 2009).

3.1 Biodiesel : normen

De ontwikkeling van de biodieselnormen heeft een toenemende belangstelling voor de productie en gebruik van biodiesel te weeg gebracht. Twee dieselnormen die onder andere hebben geholpen aan de ontwikkeling hiervan zijn:

- ASTM D67513 voor de Verenigde Staten
- EN 142144 in Europa

Table 1 Specifications in biodiesel standards affecting the fuel properties of alkyl esters^a

Specification	Standard			
	ASTM D6751 (United States)		EN 14214 (Europe)	
	Test method	Limit	Test method	Limit
Cetane number	ASTM D613/D6890	47 minimum	EN ISO 5165	51 minimum
Kinematic viscosity	ASTM D445	1.9–6.0 mm ² s ⁻¹	EN ISO 3104	3.5–5.0 mm ² s ⁻¹
Oxidative stability	EN 14112	3 h minimum	EN 14112	6 h minimum
Cloud point	ASTM D2500	Report	—	—
Cold filter plugging point	—	—	EN 116	Depending on time of year and location
Cold soak	Annex to D6751	Filtration time (s) to be reported	—	—

^a ASTM = American Society for Testing and Materials; ISO = International Standards Organization.

Tabel 1: Specificatie biodiesel standaarden

Bron: Knothe (2009)

Belangrijke eigenschappen die van invloed zijn op de geschiktheid van een dieselbrandstof zijn het cetaangetal, de viscositeit, cold flow, oxidatie stabiliteit en smerbaarheid. Waarbij smerbaarheid tot op zekere hoogte een uitzondering vormt omdat deze grotendeels bepaald worden door de vet ester samenstelling van de biobrandstof (Jamaluddin et al., 2019; Knothe, 2009).

3.2 Vetzuren in biodiesel

Verschillende technische prestatieproblemen die verband houden met sommige van deze eigenschappen hebben het gebruik en commercialisering van biodiesel belemmerd.

Hoewel het probleem van de verhoogde NO_x-uitlaatmissies waarmee biodiesel te kampen heeft, mettertijd kan verminderd worden door nieuwe technologieën voor de beheersing van uitlaatmissies, zijn er twee belangrijke problemen die moeten opgelost worden. Met name de slechte lage-temperatuur eigenschappen en de slechte oxidatie stabiliteit. Deze eigenschappen komen door de fysische en chemische eigenschappen van vetesters die zoals reeds duidelijk gemaakt de belangrijkste bestanddelen zijn van biodiesel. Niettegenstaande worden ze ook beïnvloed door minder belangrijke brandstof bestanddelen die tijdens de omesteringsreactie ontstaan of uit de grondstof meegevoerd worden.

Vetzuren zijn samengesteld uit twee bouwstenen, de vetzuurketen en de alcohol keten. Daarom zijn deze beide bestanddelen in vetesters ook van invloed op de brandstofeigenschappen en kan het variëren van één van beide of van beide, leiden tot een verandering van de brandeigenschappen.

Voor biodiesel wordt deze kwestie nog gecompliceerder omdat de samenstelling van de vetzuuresters, het vetzuurprofiel van de grondstof weergeeft die voor de productie gebruikt is geweest (Knothe, 2009).

De meest gangbare grondstoffen voor biodiesel zoals plantaardige basisoliën (soja, palm, koolzaad), dierlijke vetten of afgewerkte bak- en braadoliën hebben een vetzuurprofiel dat hoofdzakelijk bestaat uit de vijf gebruikelijke C16- en C18-vetzuren zoals:

- palmitinezuur (hexadecaanzuur, C16:0)
- stearinezuur (octadecaanzuur, C18:0)
- oliezuur (9(Z)-octadecenoëzuur, C18:1)
- linolzuur (9(Z),12(Z)-octadecatrienoëzuur, C18:2)
- linoleenzuur (9(Z),12(Z),15(Z)-octadecadienoëzuur, C18:3)

(Biodiesel production from various feedstocks and their effects on the fuel properties | Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology | Oxford Academic, z.d.; Continuous Production of Soybean Biodiesel in Supercritical Ethanol–Water Mixtures | Energy & Fuels, z.d.; Halim et al., 2011; Nie et al., 2006)

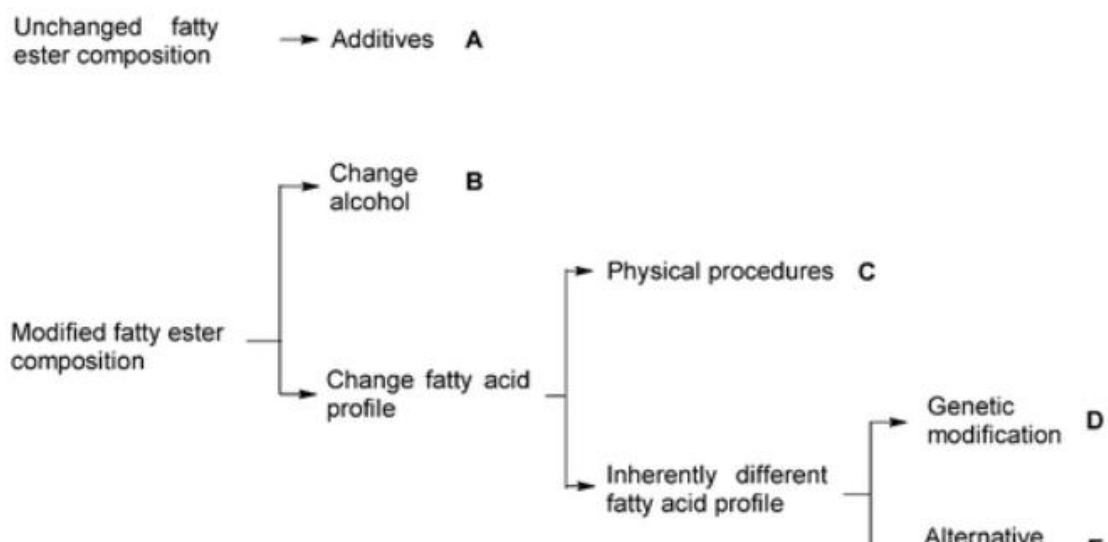
Dit betekent dat biobrandstoffen die van deze grondstoffen zijn afgeleid te kampen zullen hebben met problemen zoals slechte koud vloe-eigenschappen of onvoldoende oxidatiestabiliteit of in de meeste gevallen beide.

3.2.1 Biodiesel eigenschappen verbeteren met behulp van vetzuren

Er werd onderzoek gedaan (*Continuous Production of Soybean Biodiesel in Supercritical Ethanol–Water Mixtures* | *Energy & Fuels*, z.d.; Knothe, 2009) om de brandstofeigenschappen van biodiesel te verbeteren. In plaats van vetestersamenstellingen te wijzigen, is het gebruik van specifieke additieven (die zijn ontworpen om de brandstofeigenschappen te beïnvloeden) wellicht de eenvoudigste aanpak.

De 2^{de} soort van aanpak waarvoor verschillende opties bestaan is het variëren van de vetestersamenstelling. Zoals vermeld kunnen in dit geval de alcohol en/of de vetzuren worden gewijzigd. Het wijzigen van het vetzuurprofiel kan worden bereikt met fysische middelen zoals fractionering nadat de biodiesel is geproduceerd of door het wijzigen van het vetzuurprofiel voor de productie. Deze laatste manier kan inhouden dat alternatieve grondstoffen worden gebruikt met vetzuurprofielen die verschillen van de gebruikelijke C16- en C18-vetzuren of basisoliën, waarvan het vetzuurprofiel is geoptimaliseerd om de brandstofeigenschappen specifiek te verbeteren (Bhale et al., 2009).

Een totaal van vijf benaderingen kan momenteel gebruikt worden om de brandstofeigenschappen te verbeteren. Deze zijn aangeduid in de volgende figuur.



Figuur 2: Mogelijke processen/handelingen om vetzuren toe te voegen

Bron: Knothe (2009)

De volgende tabel heeft een overzicht van enkele vetesters die essentieel zijn voor het gebruik als brandstof (Knothe, 2009).

Ester	Cetane number	Melting point (°C)	Kinematic viscosity/mm ² s ⁻¹	Oxidative stability (h; EN 14112)
Methyl octanoate (8:0)	39.75	-37.3	1.20	>24
Methyl decanoate (10:0)	51.63	-13.1	1.71	>24
Methyl laurate (12:0)	66.70	4.6	2.43	>24
Methyl myristoleate (14:1)	— ^b	-52.2	3.73	—
Methyl palmitate (16:0)	85.9	30	4.38	>24
Methyl palmitoleate (16:1)	56.59; 51.0	-33.9	3.67	2.11
Methyl stearate (18:0)	101	39	5.85	>24
Methyl oleate (18:1)	56.55; 59.3	-19.5	4.51	2.79
Methyl linoleate (18:2)	38.2	-35	3.65	0.94
Methyl linolenate (18:3)	22.7	-52	3.14	0.00
Methyl erucate (22:1)	—	—	7.33	— ^b
Ethyl octanoate	42.19	-44.5	1.32	>24
Ethyl decanoate	54.55	-19.8	1.87	>24
Ethyl palmitoleate	—	-36.6	—	—
Ethyl oleate	—	-20.06	4.73	2.68
Methyl ricinoleate (18:1; 12-OH)	37.38	-5.85	15.29	0.67

Tabel 2: Essentiële vetesters voor gebruik als brandstof

Bron: Knothe (2009)

Volgende vetesters die beschreven staan vinden we terug in ons onderzoek :methyl palmitaat (C16:0), methyl stearaat (C18:0), methyl oleaat (C18:1), methyl linoleaat (C18:2) en methyl linoleaat (C18:3).

4 Vetzuren en emissies

Zoals reeds vele auteurs vaststelden zullen fijnstof (Michael S. Graboski & McCormick, 1998; Lapuerta et al., 2005), koolwaterstoffen (Lapuerta, Herreros, et al., 2008) en koolmonoxide (Dorado et al., 2003) door het gebruik van biodiesel worden gereduceerd. Daarentegen zal de NO_x-uitstoot toenemen (Tsolakis et al., 2007). De vermindering van de NO_x-uitlaatmissies is een van de belangrijkste technische uitdagingen voor biodiesel, vooral dankzij de steeds strengere voorschriften inzake uitlaatmissies van dieselmotoren (Knothe et al., 2006). Biodiesel emissies kunnen worden verbeterd door bijmenging (Rounce et al., 2009), gebruik van additieven (Rounce et al., 2010) of door de vetzuursamenstelling van de biodiesel te wijzigen (Knothe, 2005).

Vooruitgang op het gebied van moleculair biologisch onderzoek (*Plant triacylglycerols as feedstocks for the production of biofuels - Durrett - 2008 - The Plant Journal - Wiley Online Library*, z.d.) maakt het namelijk mogelijk het vetzuurprofiel van plantaardige oliën te verbeteren om de brandstofeigenschappen van biodiesel te verbeteren. Een andere manier om de brandstofeigenschappen gelijktijdig aan te pakken is de genetische modificatie van de vetzuursamenstelling. Hierbij zou bijvoorbeeld de aanwezigheid van bepaalde esters (bv methylcarpraat en methyloleaat) kunnen worden verhoogd of het gehalte aan meervoudige onverzadigde methylesters kunnen worden verlaagd.

Enkele auteurs (*Creation of a Bacterial Cell Controlled by a Chemically Synthesized Genome | Science*, z.d.) hebben reeds een complete genetische bacteriesysteem gereproduceerd door middel van chemische synthese, uitgaande van alleen gedigitaliseerde DNA- sequentie. Synthetische genomische ontdekkingen openen een deur naar vele toepassingen op het gebied van bio-energetica. Eén daarvan is de productie van oliehoudende gewassen die een specifiek vetzuurprofiel kunnen produceren.

Verschillende studies over de chemische en fysische eigenschappen van biodiesel hebben gesuggereerd dat biodiesel met een hoog gehalte aan methyloleaat, C18:1 (of enkelvoudige onverzadigde vetzuren) uitstekende eigenschappen kan hebben met betrekking tot de ontbrandingskwaliteit, de bandstofstabiliteit, de stromingseigenschappen bij lage temperatuur en het jood getal (volgens de Europese biodieselnorm EN14214) (*“Designer” Biodiesel: Optimizing Fatty Ester Composition to Improve Fuel Properties | Energy & Fuels*, z.d.; Ramos et al., 2009).

4.1 NO_x emissies en de invloed van vetzuren

Reeds hebben sommige auteurs (*“Designer” Biodiesel: Optimizing Fatty Ester Composition to Improve Fuel Properties | Energy & Fuels*, z.d.; Knothe et al., 2009) esters van verzadigde middellange ketenzuren geschikt bevonden, met name esters van decaanzuur (caprinezuur). De reden hiervoor is dat zij redelijke koudevloeieigenschappen vertonen en een alternatief zijn voor lange-ketens esters van verzadigde vetzuren met hoge smeltpunten, terwijl zij een uitstekend oxidatiestabiliteit bezitten door de afwezigheid van dubbele bindingen. Tenslotte hebben zij ook de voorkeur boven meervoudige onverzadigde vetzuren (d.w.z. C18:2 & C18:3), die een negatief effect hebben op de auto-oxidatie van biodiesel (bron 48). De invloed van de chemische structuur van de vetzuursamenstelling op de fysische en chemische eigenschappen van biodiesel is in verschillende studies aangetoond (*“Designer” Biodiesel: Optimizing Fatty Ester Composition to Improve Fuel Properties | Energy & Fuels*, z.d.; Harrington, 1986; Knothe, 2005; Ramos et al., 2009).

Bovendien is in sommige bestuderingen een direct verband aangetoond tussen de chemische structuur van vetzuren en uitlaatemissies (M. S. Graboski et al., 2003; Knothe et al., 2006; Schönborn et al., 2009). Men heeft vastgesteld dat de NO_x-uitlaatemissies toenemen met de vermindering van de lengte van de koolstofketen en de toename van de onverzadigingsgraad. De invloed op de vorming van NO_x blijkt voornamelijk te worden uitgeoefend door het effect dat de moleculaire structuur heeft op de vertraging van de zelfontsteking die optreedt nadat de brandstof in de verbrand

kamer is ingespoten (cetaangetal), en in mindere mate door de vlamtemperatuur waarbij de brandstof brandt (Schönborn et al., 2009).

Er is melding gemaakt van een vermindering van het totaal aan koolwaterstoffen en van de CO-uitstoot, naarmate de ketenlengte van de biodiesel toeneemt (M. S. Graboski et al., 2003; Knothe et al., 2006), maar er is nog geen duidelijke conclusie getrokken over het verzadigheidsniveau. Sommige auteurs (M. S. Graboski et al., 2003; Haas et al., 2001; Rounce et al., 2010) stellen dat het zuurstofgehalte in de brandstof de voornaamste factor is die van invloed is op de fijnstof vorming, hoewel er argumenten zijn om vele factoren in aanmerking te nemen, zoals CN, viscositeit, aromatische inhoud, bulk modulus, C/H-ratio, einddestillatietemperatuur, zwavelgehalte (allemaal brandstofafhankelijk) en het type motor en injectiesysteem.

Het doel van de auteur in (Pinzi et al., 2013) is het effect van de estermoleculaire structuur (aantal dubbele bindingen en ketenlengte) op de verbrand- en emissie-eigenschappen te bepalen, om aanbevelingen voor het ontwerpen van de chemische structuur van toekomstige biodiesel grondstoffen te vergemakkelijken. In dit werk werden zeven methylesters van vetzuren, namelijk capraat (C10:0), myristaat (C14:0), lauraat (C12:0), palmitaat (C16:0), stearaat (C18:0), technisch zuiver oleaat (18:1) en linolaat (18:2), geselecteerd voor het testen van de uitlaatemissies en ongemengd en/of vermengd met RME (rapeseed oil methyl esters) gebruikt. Deze vetzuren werden getest op verbranding en emissies in een ongemodificeerde dieselmotor, met bijzondere nadruk op de fijnstof emissie. De viscositeit en de smering van methylesters/RME-mengsels werden geanalyseerd. Er werd vastgesteld dat door het toenemen van de ketenlengte de kinematische viscositeit toeneemt en in mindere mate ook de smering (zelfde tendens voor zuivere verbindingen).

Toenemende onverzadiging leidt echter tot een afname van de viscositeit, terwijl er geen significant effect is op de smering. Ze hebben ook vastgesteld dat de calorische waarde van de brandstof direct gecorreleerd is met de ketenlengte. Bovendien neemt de calorische waarde af naarmate de onverzadiging toeneemt, wat overeenkomt met eerder gedaan onderzoek (Harrington, 1986).

CN-waarden werden berekend uit de vetzuursamenstelling van elke biobrandstof (Ramos et al., 2009) en ook uit de gegevens van (Knothe et al., 2003; Lapuerta et al., 2010). Deze studies hebben aangetoond dat de CN toeneemt met de lengte van de keten en afneemt met de graad van onverzadiging. Er werd waargenomen dat de adiabatiese vlamtemperatuur toeneemt met de ketenlengte en de onverzadigingsgraad. Een hogere adiabatiese vlamtemperatuur betekent een hogere lokale verbrandingstemperatuur in de verbrandingskamer en een hogere waarschijnlijkheid van NO_x-vorming (Lapuerta, Armas, et al., 2008; *Physical properties of fatty acid methyl esters. IV. Ultrasonic sound velocity* | SpringerLink, z.d.).

4.1.1 De bulkmodus

De bulkmodus (bij atmosferische druk en 40°C) voor de methylesters werd berekend door:

$$\beta = c^2 * \rho$$

Waarbij β de isentropische bulkmodus (MPa) is, c de geluidssnelheid (m/s) in het monster en de dichtheid ρ (Kg/m³).

In deze studies (Gouw & Vlugter, 1964; *Physical properties of fatty acid methyl esters. IV. Ultrasonic sound velocity* | SpringerLink, z.d.) is het effect van de molecuulstructuur van FAME op de brandstofeigenschappen, de verbranding en het emissiegedrag geanalyseerd. Het effect van de ketenlengte van FAME op de NO_x-uitstoot is vooral toe te schrijven aan de invloed van een hogere bulkmodus, waardoor de ontsteking sneller plaatsvindt, en dit effect is groter dan de vermindering van de ontstekingstijd door de toename van CN. De onverzadiging van FAME is sterk gecorreleerd met de toename van NO_x. Meervoudige lineaire regressiemodellen die op basis van de experimentele gegevens zijn opgesteld, bevestigen deze effecten. Uit statistische analyse blijkt dat de vorming van NO_x tijdens het verbrandingsproces (bij deze motortechnologie) voornamelijk wordt bepaald door de bulkmodus en de CN. De laagste NO_x-emissiewaarden worden waargenomen voor C10:0, waar de vorming van NO_x hoofdzakelijk door de bulkmodus wordt beheerst, en voor C18:0, dat de hoogste CN vertoont en bijgevolg het effect van de verkorte ontstekingstijd het

Fdulus-effect overheerst. Het vermijden van onverzadigde verbindingen en het verhogen van het gehalte aan C18:0, C16:0 en C10:0 wordt aanbevolen om de vetzuursamenstelling te optimaliseren op het punt van de NO_x-uitstoot.

4.2 Fijnstof emissies en de invloed van vetzuren

De vorming van fijnstof wordt voornamelijk bepaald door het gehalte aan zuurstof in de FAME-molecule. De toename van de ketenlengte hangt dus samen met de toename van fijnstof die tijdens het verbrandingsproces wordt gevormd (dit wordt bevestigd door statische analyse). Het op één na belangrijkste effect is de toegenomen viscositeit, waardoor de fractie verbande brandstof in de voor gemengde verbrandingsfase afneemt. De totale uitstoot van koolwaterstoffen en koolmonoxide staat sterk in verband met de toename van de ketenlengte van de methylesters, de vorming van deze uitlaatgas emissies wordt medebepaald door het effect van de hogere kooktemperaturen van de geteste verbindingen. Naarmate de ketenlengte toeneemt, wordt het geproduceerde roet minder actief bij de oxidatie als gevolg van de verlaging van het zuurstofgehalte. Om een verdere verlaging van de totale uitlaat emissies te bereiken, wordt een toename van korte en verzadigde FAME-ketens (C16:0 en C18:0) in biodiesel aanbevolen (Pinzi et al., 2013).

5 Injectiedruk dieselmotor

In de afgelopen decennia zijn verschillende biodieselmotoren door veel onderzoekers onderzocht en bestudeerd op hun prestaties, emissie en verbrandingskenmerken. Zij hebben onderzocht of het effect van bedrijfsparameters zoals injectietiming en injectiedruk op de verbrandingskarakteristieken van de motor zeer significant zijn. Hieruit bleek dat injectietiming en injectiedruk een grote invloed hebben op de prestatiekenmerken van een met biodiesel gevoede motor (Shameer et al., 2017).

Het inspuitmoment speelt een belangrijke rol bij de emissiekarakteristieken van dieselmotoren die op biodiesel draaien (Xu et al., 2013). Variaties in brandstofinjectiedruk en brandstofinjectietijdstip leiden tot sterke divergentie in verbrandingskarakteristieken.

Deze brandstofinjectiedruk is afhankelijk van enkele factoren: openingsdruk injector, toerental van de motor, aantal injectie gaten in de injector en de diameter van deze gaten en de hoeveelheid brandstof die door deze gaatjes gepompt wordt op een bepaalde tijdsspanne.

Daarnaast is de snelheid (u) waarmee dit gebeurt afhankelijk van de massadichtheid van de brandstof (ρ_{fuel}) en de verschildruk in de nozzle (ΔP) die op zich weer afhankelijk is van de openingsdruk van de injector.

(Lec. 16 Diesel inj,mixing,combustion.pdf, z.d.)

$$u \approx \sqrt{\frac{2 * \Delta P}{\rho_{fuel}}}$$

Met de opstelling in dit onderzoek wordt gepoogd na te gaan of de injectiedruk van enige invloed is op de vetzuurcompositie in functie van de concentratie van uitlaatgassen fijnstof (PM), stikstofmonoxide (NO) en stikstofdioxide (NO₂). Met de huidige opstelling is dit niet mogelijk om de analyse zuiver toe te wijzen aan de injectiedruk vermits onder andere ook de timing zal beïnvloed worden.

Niettegenstaande deze overlap van twee factoren kunnen we wel de vraag beantwoorden of er een verandering is in samenstelling van uitlaatgassen indien de injector met een veer met een andere veerconstante uitgerust wordt. Zo zal de verandering in timing teniet worden gedaan door de injector met een andere veerconstante uit te rusten (van Maanen, z.d.).

6 Meetopstelling

Om de onderzoeksvraag te realiseren wordt gebruik gemaakt van een specifieke meetopstelling. Deze omvatte een generator waaraan drie verbruikers werden aangesloten. Deze verbruikers waren 3 kleine elektrische verwarmingstoestellen zoals weergegeven in de figuur. Brandstof kon worden veranderd door een vast stappenplan te volgen (dit wordt besproken verderop in dit hoofdstuk bij 6.1).



Figuur 3: Temperatuurscontrole + sample afname

Bron: eigen werk



Figuur 5: NOx-concentratie meettoestel

Bron: eigen werk



Figuur 4: Fijnstof concentratie meettoestel

Bron: eigen werk

Per geteste brandstof werd een cyclus doorlopen. Deze begon met een stroomafname van 0A die gradueel in 6 stappen werd opgevoerd tot een afname van 16.65A. Dit kan makkelijker worden voorgesteld door een vermogen aangesloten op 220V, van 0W tot 3.663Kw.

Per stap werd een meting genomen van de fijnstofconcentratie en de NO_x-uitstoot, dit nadat de temperatuur gestabiliseerd was. De temperatuur werd gemeten aan de uitlaat van de generator, waaraan op dezelfde hoogte ook een sample buis was aangebracht. Deze samplebuis zorgde ervoor dat er een sample naar een meetbuis werd geleid. Op deze meetbuis werd er op het uiteinde een NO_x meter van Crowcon aangebracht, meer bepaald de gas-pro.

Om de fijnstofconcentratie te meten werd gebruik gemaakt van de TSI DustTrak DRX Aerosol Monitor 8533. De fijnstof concentratie meter heeft een tijdsduur van 1 min om een sample te meten. In deze tijd werden 3 indicatietoetsen op de meting van de NO_x uitgevoerd. Dit toestel mat steeds NO en NO₂.

Brandstoffen A tot H werden gemeten op de eerste openingsdruk. Vervolgens werd overgeschakeld naar een andere openingsdruk van de injector. Verder in hoofdstuk 7 wordt er dieper op deze openingsdrukken en het aanpassen ervan ingegaan.

Op de drie openingsdrukken werd per verbruik 3 maal een indicatietoets bekomen van zowel fijnstof als NO_x. Om deze gegevens beknopter te gaan interpreteren, werd de gemiddelde fijnstofconcentratie en NO_x per brandstofsoort en per openingsdruk van de injector berekend. Dit resulteerde in een gemiddelde uitstoot per brandstof voor een openingsdruk van de injector van respectievelijk 19.83, 22.5 en 21.33 Mpa.



Figuur 6: Elektrische verbruikers

Bron: eigen werk

6.1 Checklist veranderen van brandstof

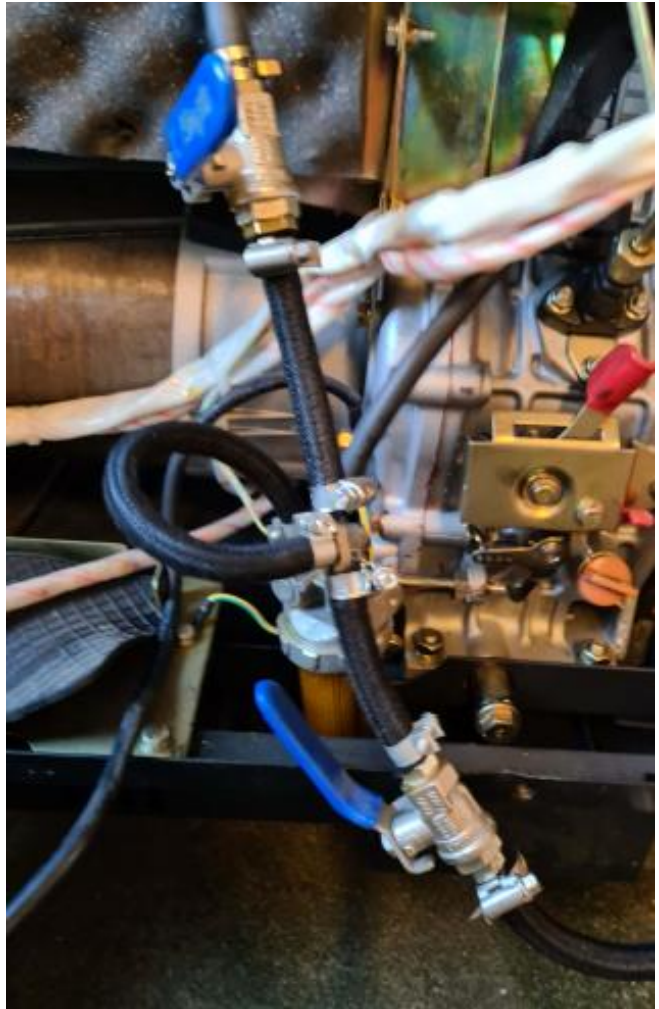
Volgende checklist kon gebruikt worden na de meting van een bepaalde brandstof. Om die metingen op de volgende brandstof correct uit te voeren werd het volgende proces voorgeschreven:

1. De 3-weg klep naar MDO zetten en het vermogen verlagen tot geen verbruikers meer in werking zijn.
2. De klep onderaan de biobrandstof collector toe zetten en de leiding ontkoppelen. Zorg ervoor dat deze leiding hoger blijft hangen dan de 3-weg valve om een lek te voorkomen!
3. Een tank met residuen nemen en de overschot aan biobrandstof uit de collector verwijderen.
4. De collector goed met papier uitkuisen om alle residuen uit de vorige brandstof te verwijderen.
5. De collector terug vullen met de volgende te meten biobrandstof en de leiding connecteren.
6. De klep onderaan de collector terug open draaien en de 3-weg klep richting biobrandstof brandstof collector veranderen.



Figuur 7: Brandstof collector

Bron: eigen werk



Figuur 8: 3-Weg brandstof valve ingang generator

Bron: eigen werk

7 Openingsdruk injector

Zoals reeds aangegeven werd de injectiedruk in het project drie keer veranderd. Dit gebeurde door de afstelplaatsjes, beter bekend als *shims*, inwendig in de injector te veranderen. In het project werd gebruik gemaakt van drie afstelplaatsjes. Daarna werd er getest op welke druk de injector open ging en verstoof aan de hand van een verstuiver/injector tester.



Figuur 9: HBM Diesel verstuiver tester 600Bar

Bron: HBM Machines

	<i>diameter chim in mm</i>	<i>Test 1</i>	<i>Test 2</i>	<i>Test 3</i>
druk 1	1,2	19,5	20	20
druk 2	1,4	22,5	22	23
druk 3	1,3	21,5	21	21,5

Tabel 3: Test openingsdruk injector (Mpa)

Bron: eigen werk

Hierop werd een gemiddelde openingsdruk per dikte van shim berekend die respectievelijk uitkwam op 19.83, 22.5 en 21.33 Mpa. In dit project wordt steeds gesproken over een openingsdruk omdat de injectiedruk nagenoeg onmogelijk kan bepaald worden. Deze is afhankelijk van een hele reeks aan factoren waaronder het toerental van de motor, het aantal injectie gaten in de injector, de diameter van deze gaten maar ook van de openingsdruk van de injector. Om de shims juist te vervangen werd er een checklist opgemaakt.

7.1 Checklist shims vervangen

De volgende checklist geeft weer hoe in deze meetopstelling de shims/afstelplaatsjes moeten veranderen worden, zodat er een andere openingsdruk van de injector bekomen kan worden. Dit zal dan weer resulteren in een andere injectiedruk.

1. Indien nodig de generator laten afkoelen.
2. De injector met de juiste sleutels demonteren (sleutel 10&17).
3. De injector rustig vastschroeven in een bankschroef en het bovenste deel ervan draaien met een dopsleutel (S15). Oppassen dat beide delen niet uit elkaar springen door de inwendige veer!
4. Het deel dat nog in de bankschroef is geklemd bevat de shim die vervangen moet worden voor een andere injectiedruk. De injector terug in elkaar plaatsen als voordien en terug aanspannen met een dopsleutel.
5. De injector terug in de motor plaatsen en de injector aanspannen. De brandstofleiding verbinden maar nog niet compleet aanspannen.
6. De brandstofleiding ontluichten door de nokkenschakelaar vooraan de generator uiterst rechts te draaien en de rode hendel in te duwen, totdat er brandstof spuit uit



Figuur 10: Gedemonteerde injector

Bron: eigen werk

de aansluiting tussen brandstofleiding en injector. Deze hendel zorgt er voor dat er nog geen compressie plaatsvindt.

7. Indien de motor start bij het loslaten van de rode handel mag de brandstofleiding verder aangespannen worden, indien deze niet start kan stap 6 het beste herhaald worden.

8 Onderzoeksvragen

De onderzoeksvraag werd via verschillende hypothese proeven getoetst.

In het achterhoofd te houden dat brandstof A steeds de referentiebrandstof bleef gedurende heel het experiment. Aan brandstof A zijn er namelijk geen toevoegingen gebeurd van vetzuren of andere stoffen die een positieve of negatieve invloed kunnen hebben op de uitlaatgassen. Wel heeft deze brandstof van nature een bepaalde compositie van de geteste vetzuren omdat een natuurlijk product werd gebruikt, namelijk raapzaadolie.

Het is eveneens belangrijk te vermelden dat in alle hypothese testen gebruik werd gemaakt van een t-toets die werd vergeleken met een acceptatie. Deze hing af van het significantie niveau, 5% in dit geval. Ook het aantal metingen speelde een rol bij de acceptatie berekening. Als het geheel getal dat werd berekend met de t-toets buiten de grens van acceptatie lag, kon de alternatieve hypothese worden aangenomen. Als het geheel getal bij de berekening van de t-toets binnen de acceptatie lag, mocht men de nulhypothese gaan volgen.

Deze hypothese proeven gebeurden steeds op de 2 brandstoffen met de minste uitstoot. Er werd via deze manier gewerkt omdat de interesse er precies in bestond om na te gaan hoe de uitstoot kon worden verminderd. Ook zou het mogelijk zijn om te kijken naar de grootste uitstoters en hun concentratie van vetzuren maar in dit onderzoek werd er dus anders gewerkt. Er werd naar de beste vetzuren concentraties in brandstoffen gezocht om een zo min mogelijke uitstoot in fijnstof, stikstofmonoxide en stikstofdioxide te gaan realiseren.

Verder werd ook nog een vergelijking met brandstof A gedaan, zodat kon worden afgeleid welk effect de toegevoegde vetzuren nu juist exact hadden op de uitstoot karakteristieken.

8.1 1^{ste} hypothese test

Eerst er vooral werd onderzocht of er wel degelijk een significant verschil is tussen de concentraties uitlaatgassen van onze verschillende brandstoffen. De uitlaatgassen die in deze proef gebruikt werden als metingen zijn fijnstof (PM), stikstofmonoxide (NO) en stikstofdioxide (NO₂). De test werd uitgevoerd met alle 8 brandstoffen van A tot H steeds op eenzelfde openingsdruk. De openingsdruk waarop werd getest was 19.83Mpa.

8.2 2^{de} hypothese test

In de 2^{de} hypothese proef werd gekeken of aan de hand van de 1^{ste} hypothese test een verband kon gevonden worden in de percentuele samenstelling van vetzuren en de al dan niet verminderde uitstoot van uitlaatgassen (PM, NO en NO₂). In dit deel wordt de analyse die de samenstelling van de verschillende brandstoffen weergeeft dus van uiterst belang. Als aan de hand van de samenstelling meerdere brandstoffen werden bemerkt met hoog of juist laag gehalte aan een geteste vetzuur en indien deze ook juist een sterke verminderde of vermeerderde uitstoot hebben, kon dit een bewijs opleveren. Dit bewijs kan aantonen dat een verhoogde aanwezigheid van een bepaald vetzuur een positief of juist negatief effect heeft op de uitlaat van fijnstof, stikstofmonoxide of stikstofdioxide.

8.3 3^{de} hypothese test

In deze laatste proef werd geprobeerd of er nog een mogelijk connectie te vinden was op verschillende openingsdrukken van de injector. Er werd begonnen op verschillende openingsdrukken te werken en nagekeken of er een verband was tussen het veranderen van de injectiedruk en de concentratie PM, NO en NO₂. Vervolgens werd geprobeerd dit terug te staven tegenover de verschillende composities van vetzuren in de verschillende brandstoffen. In deze thesis werd de verandering van fijnstof concentratie op de verschillende openingsdrukken onderzocht.

9 Hypothese 1: meting van PM, NO en NO₂ op 8 verschillende biobrandstoffen op constante druk

Deze proef werd in 6 deelstappen verdeeld.

- I. Fijnstof meting
 - a. Brandstof B t.o.v. brandstof C
 - b. Brandstof B t.o.v. referentiebrandstof A

- II. Stikstofmonoxide meting
 - a. Brandstof B t.o.v. brandstof C
 - b. Brandstof B t.o.v. referentiebrandstof A

- III. Stikstofdioxide meting
 - a. Brandstof B t.o.v. brandstof C
 - b. Brandstof B t.o.v. referentiebrandstof A

9.1 PM- hypothese op constante injectiedruk

Een 1^{ste} onderzoek ging uit naar een mogelijke aannemelijkheid dat de correlatie tussen brandstof B en C inzake fijnstof uitstoot niet op zuiver toeval berust en er dus een alternatieve hypothese kon worden aangenomen. Brandstof B en C kwamen namelijk als de 2 minste uitstoters uit op vlak van fijnstof.

In het 2de onderzoek op fijnstof metingen ging men ook de mogelijke aannemelijkheid na of de correlatie tussen brandstof A en B niet op zuiver toeval berustte. Zo kon worden nagegaan of er een significant duidelijk verschil was tussen een brandstof waaraan geen vetzuren zijn toegevoegd (brandstof A in dit geval). Dit ten opzichte van de brandstof met de minste uitstoot van fijnstof (brandstof B in dit geval).

	PM uitstoot van minst naar meest met uitstoot waarden							
	B	C	D	A	G	H	E	F
fijnstof uitstoot druk ₁ (mg/m ³)	0,0742	0,0808	0,083	0,134	0,2404	0,2619	0,2941	0,3762
standaardafwijking druk ₁ (mg/m ³)	0,0539	0,0838	0,0639	0,0748	0,0933	0,1824	0,2143	0,1647
druk 1: brandstof C t.o.v. brandstof B				druk 1: brandstof B t.o.v. A (brandstof zonder vetzuur toeving)				
nul hypothese H ₀ =	PM _{1C} < PM _{1B}			nul hypothese H ₀ =		PM _{1A} < PM _{1B}		
alternatieve hypothese H ₁ =	PM _{1C} >= PM _{1B}			alternatieve hypothese H ₁ =		PM _{1A} >= PM _{1B}		
significantie niveau α=	5%			significantie niveau α=		5%		
aantal metingen: n=	6			aantal metingen: n=		6		
aantal metingen n=	18			aantal metingen n=		18		
t-toest (n=6):	0,29993752			t-toest (n=6):		-1,958281907		
t-toest (n=18):	0,519507023			t-toest (n=18):		-3,391843758		
éénzijdige aanvaarding H ₀ (n=6)	2,015048373			éénzijdige aanvaarding H ₀ (n=6)		2,015048373		
	H ₀ word geaccepteerd					H ₀ word geaccepteerd		
éénzijdige aanvaarding H ₀ (n=18)	1,739606726			éénzijdige aanvaarding H ₀ (n=18)		1,739606726		
	H ₀ word geaccepteerd					H ₀ word genegeerd H ₁ word geaccepteerd		

Vergelijking 1: Fijnstof hypothese op constante druk

Bron: eigen werk

Over het algemeen konden al 2 duidelijke besluiten getroffen worden uit deze 2 hypothese proeven. De 2 minste uitstoters van fijnstof waren bij een druk 1 (19.83Mpa) brandstof B met een uitstoot van 0.0742 mg/m³ op de eerste plaats en brandstof C met een uitstoot van 0.0808mg/m³ op de 2de plaats. De brandstof A, zonder toevoeging, zal een uitstoot van 0.134mg/m³ gaan realiseren.

- ✓ Bij de hypothese tussen B & C kon men de nulhypothese gaan aanhouden waaruit kon worden afgeleid dat beide brandstoffen gemeenschappelijke kenmerken vertonen op het vlak van fijnstof uitstoot. Maar onderling hadden ze een verschil dat op zuiver toeval kon berusten en niet significant is.
- ✓ Als brandstof B ten opzichte van brandstof A (die zoals geweten geen toevoegingen van vetzuren bevat) vergeleken werd met een hypothese test, kon een ander bewijs gezien worden. Een bewijs dat aangaf dat brandstof B met vetzuur toevoegingen wel degelijk een betere prestatie zal leveren op vlak van fijnstof uitstoot. De kans dat brandstof B deze kenmerken vertoont op zuiver toeval is kleiner dan 5%. Hier kon dus de alternatieve hypothese aangenomen worden, die stelt dat brandstof A een grotere uitlaat aan fijnstof zal hebben dan brandstof B.

9.2 NO-hypothese op constante injectiedruk

Een 2^{de} onderzoek ging uit naar een mogelijk aannemelijkheid dat er een verband bestaat tussen brandstof B en C op vlak van NO-uitstoot en deze niet op zuiver toeval berust. Hierdoor kon dus een alternatieve hypothese aangenomen worden. Brandstof B en C komen namelijk als de 2 minste uitstoters uit op vlak van stikstofmonoxide.

In het 2de onderzoek op NO-metingen werd ook de mogelijke aannemelijkheid nagegaan of de correlatie tussen brandstof A en B niet op zuiver toeval berust. Er werd gekeken of er sprake is van een significant verschil bij een significantie niveau van 5%.

	NO uitstoot van minst naar meest met uitstoot waarden							
	B	C	D	E	A	H	G	F
stikstofmonoxide uitstoot druk ₁ (PPM)	4,0476	5,0952	5,381	5,4286	5,4762	6,3333	8,2381	8,7619
standaardafwijking druk ₁ (PPM)	1,666	2,8268	2,3464	4,0658	2,0691	3,0912	4,1926	4,2825
druk 1: brandstof C t.o.v. brandstof B				druk 1: brandstof B t.o.v. A (brandstof zonder vetzuur toeving)				
nul hypothese H ₀ =	NO _{1C} < NO _{1B}			nul hypothese H ₀ =			NO _{1B} > NO _{1A}	
alternatieve hypothese H ₁ =	NO _{1C} >= NO _{1B}			alternatieve hypothese H ₁ =			NO _{1B} <= NO _{1A}	
significantie niveau α=	5%			significantie niveau α=			5%	
aantal metingen: n=	6			aantal metingen: n=			6	
aantal metingen n=	18			aantal metingen n=			18	
t- toest (n=6):	1,54026738			t- toest (n=6):			-1,691238242	
t-toest (n=18):	2,667821359			t-toest (n=18):			-2,929310563	
éénzijdige aanvaarding H ₀ (n=6)	2,015048373			H ₀ word geaccepteerd			éénzijdige aanvaarding H ₀ (n=6)	
							2,015048373	
							H ₀ word geaccepteerd	
éénzijdige aanvaarding H ₀ (n=18)	1,739606726			H ₀ word genegeerd H ₁ word geaccepteerd			éénzijdige aanvaarding H ₀ (n=18)	
							1,739606726	
							H ₀ word genegeerd H ₁ word geaccepteerd	

Vergelijking 2: Stikstofmonoxide hypothese op constante druk

Bron:eigen werk

Bij 18 metingen werd geconstateerd dat er wel degelijk een resultaat was voor de t-toets die over de grens van acceptatie ging en dus niet op louter toeval kon berusten. In beide hypothesen keerde dit terug. Hierbij kon dus de alternatieve hypothese gebruikt worden. Hieruit konden weer enkele besluiten getrokken worden.

- ✓ Brandstof B en C stoten beide zeer weinig uit maar er is wel degelijk een significant verschil tussen beide brandstoffen op vlak van stikstofmonoxide uitlaatgassen.
- ✓ Brandstof A zonder toevoeging zal dus wel degelijk een slechtere uitstoot geven op vlak van stikstofmonoxide in vergelijking met brandstof B die de beste uitstoot op vlak van stikstofmonoxide realiseert.

9.3 NO₂- hypothese op constante injectiedruk

In dit 3^{de} en laatste onderzoek op constante druk werd de mogelijk aannemelijkheid onderzocht dat er een verband bestaat tussen brandstof B en C op vlak van NO₂-uitstoot en dat deze niet op zuiver op toeval berust. Of de t-toest waarmee dit werd getest, uitkomt op een geheel getal die buiten de grenzen van acceptatie ligt? Als dit het geval was, kon de alternatieve hypothese gevolgd worden. Brandstof B en C komen namelijk als de 2 minste uitstoters uit op vlak van stikstofdioxide.

Ook werd opnieuw gekeken wat brandstof A als uitstoot waarden had op vlak van stikstofdioxide. Via dezelfde soort hypothese proef kon worden onderzocht via een t-test of de correlatie tussen brandstof B en A niet of wel op zuiver toeval berustte. Er werd gekeken of de grenzen werden overschreden bij een significantie niveau van 5%.

	NO ₂ uitstoot van minst naar meest met uitstoot waarden							
	B	C	D	H	E	A	G	F
stikstofdioxide uitstoot druk ₁ (PPM)	0,8524	0,9381	1,1667	1,2524	1,3143	1,3857	1,7667	1,8238
standaardafwijking druk ₁ (PPM)	0,1295	0,1314	0,1799	0,1816	0,269	0,4414	0,3638	0,3136
druk 1: brandstof C tov brandstof B				druk 1: brandstof B t.o.v. A (brandstof zonder vetzuur toeving)				
nul hypothese H ₀ =	NO _{2-1C} < NO _{2-1B}			nul hypothese H ₀ =		NO _{2-1B} > NO _{2-1A}		
alternatieve hypothese H ₁ =	NO _{2-1C} >= NO _{2-1B}			alternatieve hypothese H ₁ =		NO _{2-1B} <= NO _{2-1A}		
significantie niveau α=	0,05			significantie niveau α=		5%		
aantal metingen: n=	6			aantal metingen: n=		6		
aantal metingen n=	18			aantal metingen n=		18		
t- toest (n=6):	1,621013675			t- toest (n=6):		-2,959476393		
t-toest (n=18):	2,807678045			t-toest (n=18):		-5,125963476		
éénzijdige aanvaarding H ₀ (n=6)	2,015048373		H ₀ word geaccepteerd		éénzijdige aanvaarding H ₀ (n=6)		2,015048373	
							H ₀ word genegeerd	
							H ₁ word geaccepteerd	
éénzijdige aanvaarding H ₀ (n=18)	1,739606726		H ₀ word genegeerd , H ₁ word geaccepteerd		éénzijdige aanvaarding H ₀ (n=18)		1,739606726	
							H ₀ word genegeerd	
							H ₁ word geaccepteerd	

Vergelijking 3: Stikstofdioxide hypothese op constante druk

Bron: eigen werk

Bij de 2 minste uitstoters van stikstofdioxide werd vastgesteld dat de acceptatie sterk afhangt van de aantal metingen. Indien men uitging van 6 metingen kon de nulhypothese niet verworpen worden. Maar als werd uitgegaan van 18 metingen kon dit wel en kon worden vertrouwd op de alternatieve hypothese. Over het algemeen kon het volgende besloten worden:

- ✓ Brandstof B en C zijn beide goede brandstoffen indien je een vermindering van stikstofdioxide wil realiseren. Maar onderling zijn ze wel sterk verschillend, dit omdat een t-toest een waarde geeft die sterk buiten de acceptatie ligt indien een significantie niveau van 5% gehanteerd wordt.

- ✓ Brandstof A die zoals geweten de referentiebrandstof is, zal een zeer sterk verschil vertonen indien deze vergeleken wordt met de minste uitstoter (brandstof B) op vlak van stikstofdioxide. De toegevoegde vetzuren aan brandstof B hebben dus wel degelijk een significant verschil gemaakt op vlak van stikstofdioxide uitstoot

10 Hypothese 2: PM- en NO_x-uitstoot op constante druk in vergelijking met vetzuur concentratie

Verder in deze hypothese werd de invloed van vetzuur concentratie in brandstoffen nagegaan, vergeleken met hun uitstoot waarden. Via de laboanalyse kon bepaald worden wat de concentratie is van de vetzuren in deze brandstoffen die getest werden. De vetzuren waarop werd getest zijn methyl palmitaat, C16:0 en C18:0 met de meer gekende naam methyl stearaat. Verder werd er ook nog getest op methyl oleaat, C18:1. De 2 laatste vetzuren waarop ook nog werd getest zijn methyl linoleaat, C18:2 en methyl linoleaat, C18:3.

Bij de vorige hypothese wekten 3 brandstoffen bijzondere interesse. Brandstoffen die het minste uitstoten in hypothese 1 waren in oplopende volgorde: brandstof B en brandstof C. Daarnaast hadden we onze referentiebrandstof A. Hieronder vindt men een overzicht van deze brandstoffen en de percentage van aanwezige vetzuren na de analyse.

In de volgende tabellen wordt de concentratie tabel op druk 1 weergegeven. Deze werden zodanig opgemaakt dat de brandstof met de minste uitstoot teruggevonden wordt aan de linkerkant en de brandstof met de meeste aan de rechterkant. Brandstof A blijft de referentiebrandstof en is in het oranje gekleurd. Er worden 3 tabellen weergegeven, voor elke geteste uitlaatgas/-stof één.

vetzuur concentratie (%)	PM uitstoot van minst naar meest met compositie van vetzuren							++	
	--	B	C	D	A	G	H		E
C16:0		4,1	4,09	4,14	4,12	4,24	4,05	4,07	4,06
C18:0		0,93	0,91	0,8	0,87	0,85	0,92	0,84	1
C18:1		65,79	66,11	66,82	65,98	65,95	66,04	66,48	66,89
C18:2		19,95	19,76	19,42	19,89	19,84	19,87	19,6	19,28
C18:3		9,23	9,13	8,82	9,14	9,11	9,13	9,01	8,78

Tabel 4: Fijnstof uitstoot t.o.v. vetzuur samenstelling

Bron: eigen werk

vetzuur concentratie (%)	NO uitstoot van minst naar meest met compositie van vetzuren								
	--	B	C	D	E	A	H	G	++
C16:0		4,1	4,09	4,14	4,07	4,12	4,05	4,24	4,06
C18:0		0,93	0,91	0,8	0,84	0,87	0,92	0,85	1
C18:1		65,79	66,11	66,82	66,48	65,98	66,04	65,95	66,89
C18:2		19,95	19,76	19,42	19,6	19,89	19,87	19,84	19,28
C18:3		9,23	9,13	8,82	9,01	9,14	9,13	9,11	8,78

Tabel 5: Stikstofmonoxide uitstoot t.o.v. vetzuur samenstelling

Bron:eigen werk

vetzuur concentratie (%)	NO2 uitstoot van minst naar meest met compositie van vetzuren								
	--	B	C	D	H	E	A	G	++
C16:0		4,1	4,09	4,14	4,05	4,07	4,12	4,24	4,06
C18:0		0,93	0,91	0,8	0,92	0,84	0,87	0,85	1
C18:1		65,79	66,11	66,82	66,04	66,48	65,98	65,95	66,89
C18:2		19,95	19,76	19,42	19,87	19,6	19,89	19,84	19,28
C18:3		9,23	9,13	8,82	9,13	9,01	9,14	9,11	8,78

Tabel 6: Stikstofdioxide uitstoot t.o.v. vetzuur samenstelling

Bron:eigen werk

10.1 Brandstoffen die het minste zullen uitstoten bij druk 1

Brandstof B heeft het hoogste gehalte aan de vetzuren (C18:2 & C18:3). Daarentegen wordt ook het laagste gehalte C18:1 vastgesteld. Bij C18:0 wordt bij brandstof B een concentratie gemeten die de 2de hoogste is van alle geteste brandstoffen. Ook wordt het vetzuur percentage C16:0 gemeten van brandstof B, deze ligt mooi tussenin alle geteste brandstoffen.

Als vervolgens gekeken wordt naar de brandstof die het 2 de minst zal uitstoten in zowel PM,NO en NO₂ , dan wordt bij alle drie de gevallen bij brandstof C terecht gekomen. In vergelijking met brandstof B worden vele verschillen vastgesteld maar tevens enkele gelijkenissen.

Zo zal vetzuur C16:0 in ongeveer dezelfde hoeveelheid aanwezig zijn. Bij de meting van C18:0 wordt een verschil van 0,02% waargenomen tussen brandstof B & C. Op de meting van C18:1 daarentegen was een duidelijk verschil merkbaar; brandstof C heeft een hoger gehalte aan dit soort vetzuur in vergelijking met brandstof B. Ook bij vetzuur C18:2 kon een opmerkelijk verschil vastgesteld worden; bij brandstof C werd een eerder gemiddelde hoeveelheid gemeten in vergelijking met de andere brandstoffen. Terwijl brandstof B hier het hoogste gehalte aan dit vetzuur meet. Bij vetzuur C18:3 werd dan weer eerder een gelijkenis met brandstof B vastgesteld; brandstof C heeft een relatief hoog gehalte aan dit vetzuur.

Ook kon een totaal ander verschijnsel duidelijk vastgesteld worden. De vetzuur toevoeging aan alle brandstoffen behalve A had niet altijd hetzelfde effect. Brandstoffen hadden een grotere fijnstof uitstoot dan onze referentiebrandstof A zonder toevoeging.

Bij NO_x-en werd dan weer een meer invloedrijke werking van deze vetzuren geconstateerd. Zo zullen er bij de NO metingen een groter aantal brandstoffen net minder gaan uitstoten dan onze referentiebrandstof A, als je dit in vergelijking neemt met de fijnstof meting. De werking van de vetzuren wordt dus duidelijk sterker. Als laatste viel op dat er bij de NO₂ het meest invloed van de toevoeging van vetzuren terug te vinden is. Er zijn slechts 2 brandstoffen G & F die een slechtere uitstootwaarde hebben dan onze referentiebrandstof.

10.2 Druk 1: Methyl palmitaat (C16:0)

Als de composities van B & C vergeleken worden met de referentiebrandstof A wordt het volgende waargenomen op vlak van methyl palmitaat, C16:0: beide brandstoffen hebben een compositie van dit vetzuur die onder de geteste waarde ligt van de referentie brandstof A. Brandstoffen B & C hebben respectievelijk een compositie van 4.1% en 4.09%. In vergelijking genomen heeft referentie brandstof A een meting van C16:0 die uitkomt op 4.12 %. Blijkt dat bij de meting van C16:0 op alle brandstoffen een standaardafwijking berekend kan worden van 0.0571%.

10.2.1 fijnstof uitstoot en mogelijk verband met methyl palmitaat

Als gekeken werd naar de brandstoffen die het slechter doen op vlak van fijnstof uitstoot, kwam men terecht bij brandstoffen E, F, G en H. Als wordt ingegaan op het aandeel methyl palmitaat worden verschillende waarden waargenomen. Aandelen die zowel groter zijn dan brandstof A, maar opmerkelijk ook een meting van 4.24% bij brandstof G. Hierdoor kan worden afgeleid dat C16:0, methyl palmitaat op zijn eigen geen betere uitstoot waarden kan bekomen. Een mogelijke samenwerking om de uitstoot waarden te verminderen, met andere vetzuren is natuurlijk wel nog mogelijk. Zo valt op te merken dat als een aandeel van methyl palmitaat tussen de 4.09 en 4.14 % kan bekomen worden, er een betere uitstoot kan gecreëerd worden. Ook werd vastgesteld, ongeacht de andere vetzuren, dat hoe hoger C16:0 komt, hoe meer PM uitstoot.

10.2.2 stikstofmonoxide uitstoot en mogelijk verband met methyl palmitaat

Als verder werd ingegaan op de NO-uitstoot en het aandeel methyl palmitaat, dan werd vastgesteld dat de ondergrens kon worden verlaagd voor een vermindering van stikstofmonoxide. Zo zullen brandstoffen die een aandeel C16:0 hebben die tussen de 4.07 % en 4.14 % ligt bij druk1 een vermindering in NO opleveren. Wel te constateren dat de toevoeging van andere vetzuren ook een sterkere invloed heeft dan bij de fijnstof uitstoot. De 3 brandstoffen die het nog slechter doen dan de referentiebrandstof A zijn: brandstof F, G en H. Brandstof G heeft een hoeveelheid C16:0 die sterk buiten de gehanteerde grenzen ligt. Er wordt een aandeel van 4.24% gemeten. Bij brandstoffen F & H lag hun aandeel onder de gebruikte ondergrens.

10.2.3 stikstofdioxide uitstoot en mogelijk verband met methyl palmitate

Indien vervolgens de invloed van methyl palmitaat bekeken wordt op de stikstofdioxide uitstoot, dan worden ook hier enkele opvallende eigenschappen waargenomen. De toevoeging van andere vetzuren wordt hier nog belangrijker. Zo wordt opgemerkt dat de ondergrens aan aandeel C16:0 voor een minder grote uitstoot aan stikstofdioxide eigenlijk nog verlaagd mag worden. Brandstoffen met een aandeel C16:0 die tussen de 4.05 en 4.14 % liggen, hebben een positief effect op vlak van NO₂-uitstoot. De 2 brandstoffen die het nog slechter doen dan de referentie brandstof zijn F & G. Van brandstof G is ondertussen al geweten dat het aandeel C16:0 aan de te hoge kant is met een meting van 4.24%, zeker in de wetenschap dat er een standaardafwijking van 0.0571% is. Brandstof F daarentegen ligt deze keer zelfs binnen de grenzen met een meting van 4.06%, niettegenstaande de slechtste uitstoot op vlak van NO₂. Dit kan worden toegewezen aan de toevoeging van andere vetzuren die wellicht buiten de grenzen zal liggen.

10.3 Druk 1: methyl stearaat (C18:0)

Nogmaals werden de composities van B & C vergeleken met de referentiebrandstof A maar deze keer getest op methyl stearaat C18:0. Ook hier werd vastgesteld dat op vlak van C18:0 de brandstoffen B & C gelijkwaardige aandelen bekomen. Deze aandelen zijn beide hoger dan de referentiebrandstof die een waarde opmeet van 0.87%. Brandstof B & C zullen respectievelijk een aandeel C18:0 hebben van 0.93 en 0.91%. Ook hier is het interessant om te weten dat een standaardafwijking van 0.0587% bekomen werd bij de metingen op alle 8 de brandstoffen.

10.3.1 Fijnstof uitstoot en mogelijk verband met methyl stearaat

Opnieuw wordt gekeken naar de brandstoffen die het slechter doen dan de referentie A, op vlak van fijnstof. Brandstoffen F, G en H komen dan terug in de schijnwerpers te staan.. Opnieuw werd geprobeerd grenzen op te stellen die een positief effect kunnen hebben op de uitstoot van fijnstof. Deze grenzen zijn tussen de 0.8 en 0.93%.

Van de 2 beste brandstoffen ligt het aandeel C18:0 tussen de 0.91 en 0.93%. Brandstof H ligt hier perfect tussen met een meting van 0.92%. Niettegenstaande heeft deze brandstof toch de slechtste uitstoot waarde op vlak van fijnstof. Uit 1.1.1 viel af te leiden dat deze brandstof een waarde had van C16:0 die buiten de grenzen lag. Hetzelfde fenomeen wordt geconstateerd bij brandstof E & G. Brandstof G ligt voor C18:0 binnen de grenzen maar uit 1.1.1 is gebleken dat het aandeel C16:0 sterk buiten de bepaalde grenzen lag. De mogelijke toevoeging van andere vetzuren speelt bij deze brandstoffen dus een belangrijke rol. Brandstof F tot slot gaf bij 1.1.1 een waarde voor C16:0 bij fijnstof en NO die buiten de grens lag. Bij NO₂ was dit niet het geval maar werd er aangenomen dat "dit wellicht te wijten was aan een ander vetzuur die buiten de grenzen ligt". Nu heeft dit een eerste resultaat hiervan tot gevolg : op brandstof F werd er voor C18:0 een meting gedaan van 1%. Met een standaardafwijking van 0.0587% op alle 8 de brandstoffen inzake C18:0, is een verschil tussen B en F van 0.07% wel degelijk een significant.

10.3.2 stikstofmonoxide uitstoot mogelijk verband methyl stearaat

Opnieuw werden de brandstoffen die het slechter doen dan onze referentie A onder de loupe genomen, maar dit keer op vlak van stikstofmonoxide. Opnieuw komen brandstof F, G en H aan bod. Ook hier werden de grenzen verbreed, zodat meerdere brandstoffen een positief effect zullen hebben op de uitstoot van stikstofmonoxide. Brandstoffen A, B en C hebben een aandeel methyl stearaat, C18:0 van respectievelijk 0.87, 0.93 en 0.91 % Op basis van deze data konden de grenzen worden opgesteld. We zullen dus een grens bekomen tussen de 0.8 en 0.93 %. Wat onmiddellijk opvalt is dat er dan nog steeds 2 brandstoffen zijn die het slechter doen dan A maar wel tussen deze grenzen liggen. Maar zoals reeds werd vastgesteld zijn de andere vetzuur composities van even groot belang op de totale compositie van de brandstof. Enkel bij F zag men een waarde van 1% die sterk buiten de grenzen ligt. Deze bewering kan worden gestaafd in de wetenschap dat bij C18:0 een standaardafwijking 0.0587% geldt.

10.3.3 stikstofdioxide uitstoot mogelijk verband methyl stearaat

Opnieuw worden de grenzen gesteld naargelang het aandeel van C18:0 in brandstof B & C. Grenzen die een voordeel op de uitlaat van stikstofdioxide zullen bekommen zijn 0.8 tot 0.93%. Opnieuw krijgen we te maken met de 2 gekende brandstoffen die het minder doen, brandstof F en G. Brandstof G ligt binnen de grenzen maar uit 1.1.1 & 1.2.1 is geweten dat deze brandstof bij Methyl palmitaat, C16:0 sterk buiten de grenzen liggen.

10.4 druk 1: methyl oleaat(C18:1)

Ingaand op het aandeel methyl oleaat in brandstoffen B & C ten opzichte van onze referentiebrandstof A kan men geen eenduidige conclusies maken.

Referentiebrandstof A zal een aandeel aan C18:1 hebben van 65.98%. De best presterende brandstof B zal een aandeel van 65.79% opmeten. Een meting die ligt onder de referentie brandstof A, meer bepaald een verschil van 0.19%. Brandstof C die de 2^{de} beste brandstof is op vlak van stikstofdioxide uitlaatgassen, meet een aandeel C18:1 op van 66.11%. Dit is een lichte stijging ten opzichte van referentiebrandstof A van 0.13%. Beide hebben dus een verschil die kleiner is dan onze standaardafwijking van 0,3913% en zijn dus niet sterk verschillend van onze standaard A.

10.4.1 fijnstof uitstoot mogelijk verband methyl oleaat

Ook bij methyl oleaat wordt gekeken naar de brandstoffen die het slechter doen dan referentie A op vlak van fijnstof uitlaat. Ook hier terug komen de 4 volgende brandstoffen aan bod: E, F, G en H. Brandstof A heeft een aandeel van C18:1 van 65.98%. Ook het aandeel bij B en C is geweten via 1.3 : B zal een aandeel opmeten licht onder de referentie en C zal een meting doen die licht boven de referentie uitkomt. Grenzen van methyl oleaat die een positief effect hebben op de uitstoot van fijnstof, zijn tussen de 65.79 en 66.82%. Maar om de beste fijnstof uitstoten te bekomen kan men beter grenzen nemen die dichter bij elkaar liggen zoals 65.79 en 66.11 %. Opnieuw te constateren dat er brandstoffen zijn die perfect binnen deze grenzen liggen : G en H. Maar de hoeveelheid andere vetzuren speelt ook een belangrijke rol. Zo was de vaststelling voor brandstof G bij 1.1.1 dat deze een zeer groot aandeel C16:0 heeft. Ook van brandstof H (bij 1.1.1 en 1.1.2) hetzelfde fenomeen, waarbij het aandeel C16:0 buiten de grenzen lag. Qua afwijking werd een verschil bij 1.1.1 voor brandstof H van 0.04% vastgesteld en voor brandstof G 0.1%. Hieruit valt af te leiden dat brandstof G nog slechter zal uitstoten dan H op vlak van fijnstof, mede dankzij de verdeling van C16:0 meer gespecificeerd in 1.1.

10.4.2 stikstofmonoxide uitstoot mogelijk verband methyl oleaat

Op het vlak van stikstofmonoxide zullen er 3 brandstoffen zijn die het slechter doen dan onze referentie A. Dit zijn de brandstoffen F, G en H. Ook hier kunnen opnieuw grenzen ingesteld worden die een positief effect zullen hebben op de uitlaat van stikstofmonoxide. Deze grenzen blijven hetzelfde als in 1.3.1 en zijn vastgesteld op 65.79 tot 66.82%. Brandstof G heeft zoals reeds aangehaald een te hoog aandeel aan methyl palmitaat C16:0. Brandstof F heeft zoals aangekaart in 1.2 een te hoog gehalte aan C18:0. Verder is er enkel nog brandstof H die bij C18:0 en C18:1 een waarde heeft die perfect tussen de grenzen ligt, maar bij C16:0 eerder een laag aandeel heeft.

10.4.3 stikstofdioxide uitstoot mogelijk verband methyl oleaat

Als laatste bij het mogelijk verband tussen methyl oleaat, C18:1 en stikstofdioxide worden 2 brandstoffen aangetroffen die meer uitstoten dan onze referentie brandstof A. Dit zijn de brandstoffen F en G. Ook bij de stikstofdioxide blijven de grenzen hetzelfde als in 1.3.1 en 1.3.2, waar deze vastgesteld werden aan 65.79 tot 66.82%. Enkel brandstof G ligt nog binnen deze grenzen maar deze heeft een te hoog aandeel C16:0. Bij brandstof F is dit niet het geval en valt hij met een aandeel van 66.89% juist uit de boot. Maar ook bij brandstof F geldt het geval dat er reeds bij C18:0 een te hoog gehalte is opgemeten.

10.5 Druk 1: methyl linoleaat (C18:2)

Als vervolgens gekeken wordt naar het aandeel methyl linoleaat in brandstoffen B en C ten opzichte van onze gekende referentiebrandstof A, vallen gelijkenissen op met 1.3. Een eenduidige conclusie over minder of meer C18:2 in vergelijking met A kan niet gemaakt worden. Brandstof B meet namelijk een aandeel op van 19.95% C18:2 in vergelijking met een meting van onze referentie A die 19.89% C18:2 was. Brandstof C daarentegen heeft een aandeel C18:2 van 19.76% . Voor alle brandstoffen kwam men terecht op een standaardafwijking van 0,2279%. Voor brandstof B geldt dus een lichte stijging en voor C een lichte daling ten opzichte van referentie A.

10.5.1 fijnstof uitstoot en mogelijk verband met methyl linoleaat

Nogmaals opnieuw focus op de brandstoffen die het slechter doen dan de referentiebrandstof A ten opzichte van fijnstof. Ook hier komt men terecht bij dezelfde 4 brandstoffen. Brandstoffen E, F, G en H hebben fijnstof uitlaat waarden die slechter zullen zijn dan de referentiebrandstof A zonder toevoegingen. Er werd opnieuw gepoogd grenzen in te stellen die een positief effect zullen hebben op de uitstoot van fijnstof. De grenzen die dit maal werden ingesteld zijn 19.42 tot 19.95 % van bijvoeging aan het vetzuur methyl linoleaat. Toevoegingen tussen deze grenzen zullen een positief effect hebben op de uitstoot van fijnstof. Een verhoging van het aandeel methyl linoleaat in de brandstof zal sowieso een positief effect hebben op de uitlaat van fijnstof.

Van de 4 brandstoffen die het slechter doen dan referentie A is er slechts één brandstof die buiten deze grenzen ligt. Brandstof F zal een aandeel van 19.28% C18:2 hebben. Dus een waarde die onder de grenzen ligt en dus mogelijk samen met de versterkende werking van de andere vetzuren een negatief effect zal bekomen op de uitlaat van fijnstof.

De andere brandstoffen liggen wel binnen deze grenzen maar, zoals reeds geconcludeerd, speelt de invloed van de andere vetzuren en hun aandeel in de brandstof een even grote rol. Zo had brandstof G bijvoorbeeld een veel te hoog gehalte aan methyl palmitaat, C16:0. De redenen waarom deze brandstoffen slechter presteren dan referentiebrandstof A kan men terugvinden in 4.1 tot 4.3.

10.5.2 stikstofmonoxide en mogelijk verband met methyl linoleaat

Opnieuw zijn het brandstoffen F, G en H die het slechter doen dan onze referentiebrandstof A op vlak van stikstofmonoxide uitstoot. De grenzen die kunnen gebruikt worden met een positief effect op de NO-uitstoot zijn dezelfde als bij 1.1.4. Daar werden deze vastgesteld op een percentage tussen 19.42 en 19.95% van C18:2 toevoeging. Vanzelfsprekend zal het opnieuw enkel brandstof F zijn die hierbuiten valt met een aandeel van 19.28%. Net zoals in 1.1.4 kan tussen 4.1 en 4.3 teruggevonden worden waarom deze andere brandstoffen binnen deze grenzen

liggen maar toch een negatief effect zullen hebben. Dit komt zo goed als altijd door een niet correcte toevoeging van C16:0, C18:0, C18:1 of C18:3.

10.5.3 stikstofdioxide en mogelijk verband met methyl linoleaat

Ook bij de toevoeging van C18:2 zijn het brandstoffen G en F die het slechter doen dan referentie A. De grenzen van toevoeging van C18:2 blijven op dezelfde plaats staan zoals in 4.4.1 en 4.4.2. Daar werden deze vastgesteld tussen de 19.42 en 19.95%. Zoals reeds aan bod kwam in de vorige hoofdstukken op methyl linoleaat heeft brandstof F een te laag gehalte C18:2. Dit gebeurde niet alleen bij C18:2 maar deze brandstof overschreed al eerder de grenzen van toevoeging van vetzuren. Brandstof G daarentegen ligt wel perfect tussen de waarden maar heeft zoals we reeds weten een te hoog gehalte aan Methyl palmitaat C16:0.

10.6 Druk1: methyl linolenaat , (18:3)

Voor een laatste keer op openingsdruk 1 werd het aandeel methyl linolenaat in brandstoffen B en C bekeken, dit ten opzichte van referentiebrandstof A. De referentiebrandstof A zal een aandeel methyl linolenaat hebben van 9.14%. De 2 beste brandstoffen op vlak van uitstoot in fijnstof, stikstofmonoxide en stikstofdioxide zijn brandstoffen B en C. Deze zullen respectievelijk een aandeel methyl linolenaat gaan opmeten van 9.23% en 9.13%. Brandstof C zal dus een iets kleiner gehalte hebben van C18:3 dan referentie A. Maar dit verschil kan men redelijk gaan verwaarlozen met een standaardafwijking op alle geteste brandstoffen van 0,15165%

10.6.1 fijnstof en mogelijk verband met methyl linolenaat

Voor de laatste maal wordt gezocht naar de brandstoffen die het slechter doen dan referentie A op vlak van fijnstof uitstoot, dit op een openingsdruk van 19.83Mpa. Nogmaals opnieuw zullen brandstoffen E, F, G en H een slechter resultaat opleveren op vlak van fijnstof uitstoot dan brandstof A zonder toevoeging van vetzuren. Nogmaals werd geprobeerd grenzen in te stellen die een positief effect hebben op de uitstoot van fijnstof. Grenzen die men dan bekomt zijn een percentuele toevoeging van methyl linolenaat / C18:3 die tussen de 9.13 en 9.23% ligt. Wat onmiddellijk opvalt is dat brandstof D een percentage heeft dat veel lager is, met een meting van 8.82%. Dat deze brandstof dan toch goede fijnstof uitlaat metingen opmeet kan liggen aan de enorm goede aandeel vetzuur toevoeging bij C16:0, C18:0, C18:1 en C18:2. Brandstoffen G, H, E en F zullen buiten deze grenzen liggen of juist erop, maar zoals we reeds weten uit vorige hoofdstukken is de toevoeging van andere vetzuren vaak niet optimaal bij de brandstoffen.

Er kan gesteld worden dat een hoger percentage dan referentie A van C18:3 in onze brandstoffen, een positief effect zal hebben op de fijnstof uitlaat.

10.6.2 stikstofmonoxide en mogelijk verband met methyl linolenaat

Opnieuw krijgen we brandstoffen F, G en H die het slechter doen dan referentiebrandstof A op vlak van stikstofdioxide uitstoot. 9.01 en 9.23% zijn de grenzen die gebruikt worden voor de toevoeging van methyl linolenaat. Deze zullen een positief effect hebben op de uitstoot van stikstofmonoxide. Brandstoffen H en G vallen nu wel binnen deze grenzen maar zullen nog altijd meer gaan uitstoten op vlak van stikstofmonoxide dan referentie A. Dit komt zoals reeds aangekaart door de wisselwerking met de andere vetzuren en in welke hoeveelheden deze zijn toegevoegd. Brandstof F blijft de buitenstaander die bijna bij alle vetzuren niet in de juiste hoeveelheid is toegevoegd en daardoor ook zeer slechte uitstoot waarden geeft. Nogmaals wordt duidelijk dat een goede toevoeging van alle vetzuren binnen onze gemaakte grenzen van uiterst belang is om goede uitlaat resultaten te bekomen.

10.6.3 stikstofdioxide en mogelijk verband met methyl linolenaat

Bij methyl linolenaat constateert men opnieuw dezelfde brandstoffen G en F die een slechtere uitstoot van stikstofdioxide zullen hebben dan referentiebrandstof A. De grenzen van toevoeging van C18:3 voor een positief effect op de stikstofdioxide uitstoot blijven hetzelfde als bij 4.5.2. Toen werden deze vastgesteld op een toevoeging van C18:3 tussen de 9.01 en 9.23%. Brandstof F heeft van bijna alle toegevoegde vetzuren een toevoeging die niet in de correcte verdeling is gebeurd. Hierdoor zie je op vlak van zowel fijnstof, stikstofmonoxide als stikstofdioxide dat brandstof F steeds de slechtste uitstoter is. Brandstof G gaat ook deze richting uit maar in een minder sterke vorm. Zo weten we dat er van methyl stearaat (C18:0), methyl oleaat (C18:1) en methyl linoleaat (C18:2) bij brandstof G een toevoeging is gebeurd die perfect binnen de grenzen ligt. Niettegenstaande heeft deze brandstof een toevoeging van Methyl palmitaat (C16:0) die sterk buiten deze grenzen ligt.

11 Vetzuur samenstelling en invloed op de uitstoot van PM, NO en NO₂

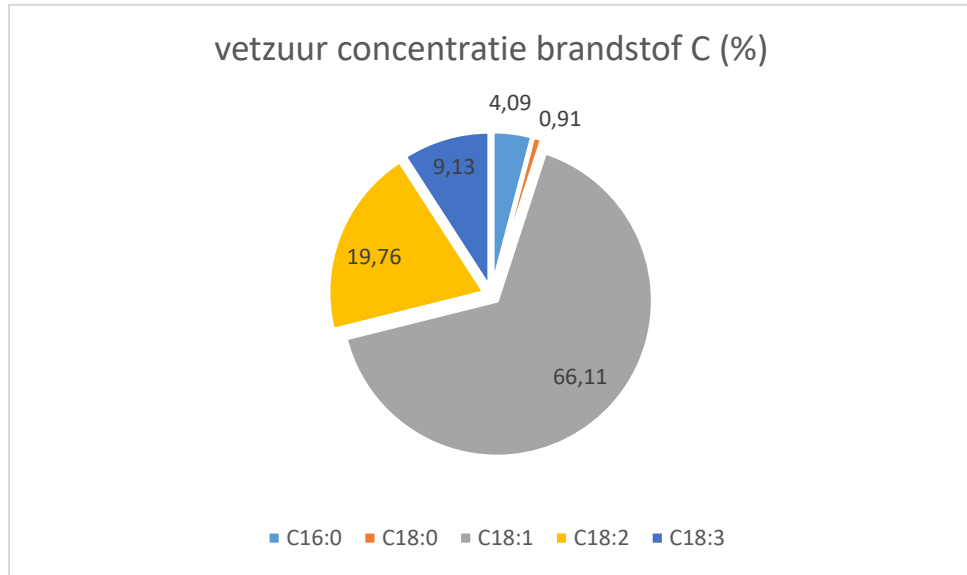
Het is zeer duidelijk dat een juiste verhouding van alle vetzuren binnen de opgestelde grenzen van uiterst belang is voor de uitstoot van fijnstof, stikstofmonoxide en stikstofdioxide. Het is niet mogelijk van één vetzuur te beweren dat deze specifiek in een verminderde uitstoot zal resulteren. Wel dat een hoge aanwezigheid van vetzuren met een lange keten zoals C18:2 en C18:3 een positief effect zal hebben op een vermindering van fijnstof, stikstofmonoxide en stikstofdioxide uitstoot. Een heel kleine aanwezigheid van methyl oleaat, C18:1 zal een positief effect hebben op een vermindering van fijnstof, stikstofmonoxide en stikstofdioxide uitstoot.

Op een openingsdruk 1 van de injector van 19.83Mpa kunnen specifieke zaken worden afgeleid inzake uitstootwaarden in vergelijking met de referentiebrandstof A .

Toevoeging van eender welke vetzuur in gelijk welke concentratie heeft het sterkste verminderende uitstoot effect op de uitstoot van stikstofdioxide. Er zullen slechts twee brandstoffen zijn die door een slechte percentuele toevoeging van vetzuren een verhoogde uitstoot van stikstofdioxide zullen hebben in vergelijking met brandstof A. Als we ons daarentegen concentreren op de vetzuur toevoeging en de wisselwerking op uitstoot van stikstofmonoxide, zien we dat het effect van deze toevoegingen vermindert. Er zullen meer brandstoffen zijn, 3 meer bepaald, die een slechtere uitstootwaarde stikstofmonoxide zullen hebben dan brandstof A. Als tot slot gekeken wordt naar de werking van de vetzuur toevoeging op de uitstoot van fijn stof, komt weer een ander fenomeen naar voor. De toevoeging van vetzuren aan brandstoffen zal bij de meeste gevallen resulteren in een verhoging van de fijnstof concentratie. We hebben in ons onderzoek te maken met 4 brandstoffen op de 7 met vetzuurtoevoeging, die een hogere fijnstofuitstoot zullen creëren dan referentiebrandstof A zonder toevoegingen van vetzuren. Hieruit kunnen we dus wel degelijk concluderen dat op een vaste openingsdruk van 19.83Mpa, toevoeging van vetzuren aan je brandstof in een verhoging van de fijnstofconcentratie zal resulteren

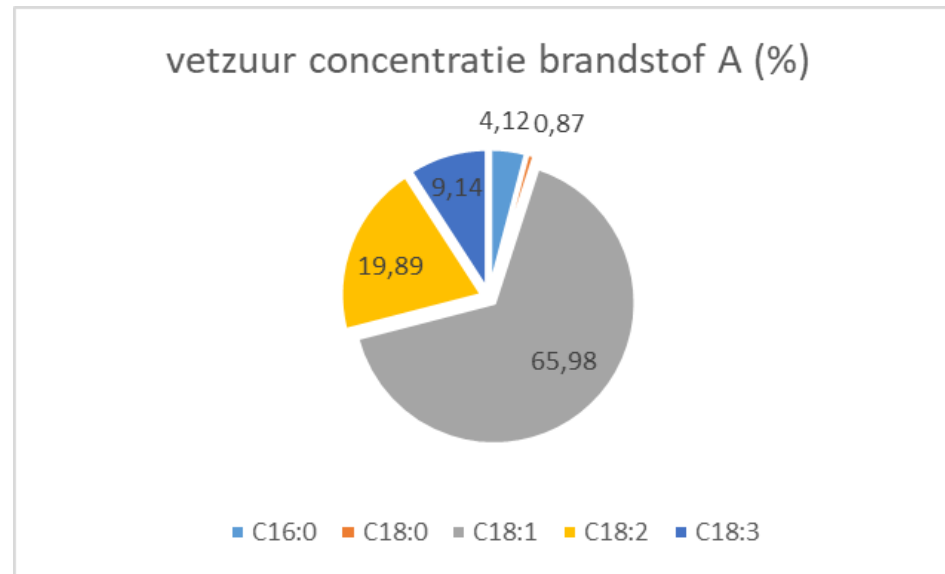
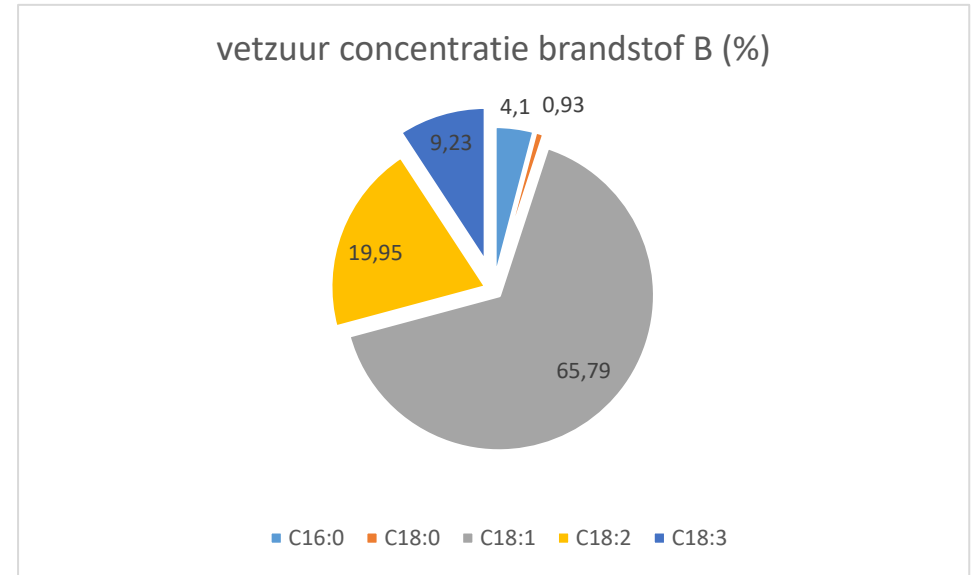
Figuur 13: Brandstof C vetzuur samenstelling

Bron: eigen werk



Figuur 12: Brandstof B vetzuur samenstelling

Bron: eigen werk



Figuur 11: Brandstof A vetzuur samenstelling

Bron: eigen werk

12 Hypothese 3: Meting van PM op 8 verschillende biobrandstoffen op verschillende openingsdrukken

Zoals reeds in herinnering gebracht willen we gaan testen of de vetzuur toevoegingen een verhoogd effect zullen hebben op de uitstoot van fijnstof. In de vorige hoofdstukken werd reeds het effect van deze vetzuren bekeken op een constante openingsdruk van de injector van 19.83Mpa. In deze hypothese werd nagegaan of deze vetzuren een betere of slechtere werking hebben op vlak van uitstoot indien de openingsdruk werd verhoogd. Want we weten reeds dat als we de openingsdruk van de injector verhogen, dit ook de inspuitdruk van de generator zal verhogen.

12.1 Openingsdrukken

Zoals in hoofdstuk “openingsdruk injector” reeds aangehaald, wordt in dit deel van het onderzoek de openingsdruk van de injector 2 maal veranderd. Zo bekomt men 3 verschillende openingsdrukken en uiteindelijk ook 3 verschillende inspuitdrukken.

Deze openingsdrukken zijn vastgesteld op:

- druk 1 : 19.83 Mpa
- druk 2 : 22.5 Mpa
- druk 3 : 21.33 Mpa

12.2 Fijnstof uitstoot op verschillende openingsdrukken

Wat wellicht redelijk snel opvalt, indien de uitstootwaarden van fijnstof op deze 3 openingsdrukken bestudeerd worden; bij druk 3 registreert men een enorme slechte verbranding. Deze is zodanig exponentieel buiten de proportie van de andere 2 openingsdrukken dat men er kan van uitgaan dat men hier met een fout zit. Deze fout is een menselijke fout die kan optreden door de verkeerde of slechte montage van de injector of een verkeerde handeling bij het vervangen van de afstelplaatjes/shims. Wel kan deze druk vergeleken worden met de omstandigheden indien er in realiteit een verkeerde montage of andere fout is opgetreden. Zo zal een injector die slecht gemonteerd is of waaraan de injectorkop beschadigd is over het algemeen een lagere inspuitsdruk gaan creëren.

In de volgende tabellen worden de gemiddelde waarde in fijnstof uitstoot per brandstof bij het doorlopen van het identieke meetproces weergegeven. Deze waarden zijn gemeten op de 3 verschillende openingsdrukken van de injector.

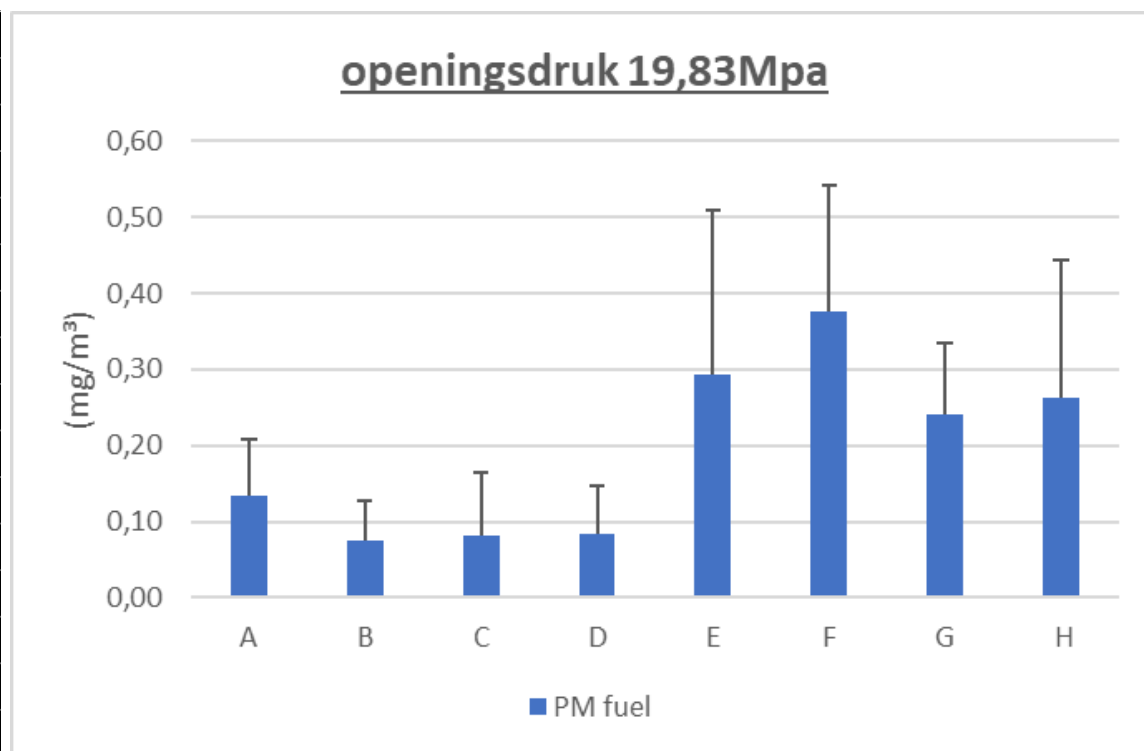
Tabel 7: Fijnstof uitstoot verschillende brandstoffen- injectiedruk 1

Bron: eigen werk

PM brandstof A	gemiddelde	0,1340
	standaardafwijking	0,0748
PM brandstof B	gemiddelde	0,0742
	standaardafwijking	0,0539
PM brandstof C	gemiddelde	0,0808
	standaardafwijking	0,0838
PM brandstof D	gemiddelde	0,0830
	standaardafwijking	0,0639
PM brandstof E	gemiddelde	0,2941
	standaardafwijking	0,2143
PM brandstof F	gemiddelde	0,3762
	standaardafwijking	0,1647
PM brandstof G	gemiddelde	0,2404
	standaardafwijking	0,0933
PM brandstof H	gemiddelde	0,2619
	standaardafwijking	0,1824

Figuur 14: Injectiedruk 1 t.o.v.. fijnstof uitstoot verschillende brandstoffen

Bron:eigen werk



Berekend gemiddelde fijnstof uitstoot bij druk 1 is 0.193075 mg/m³.

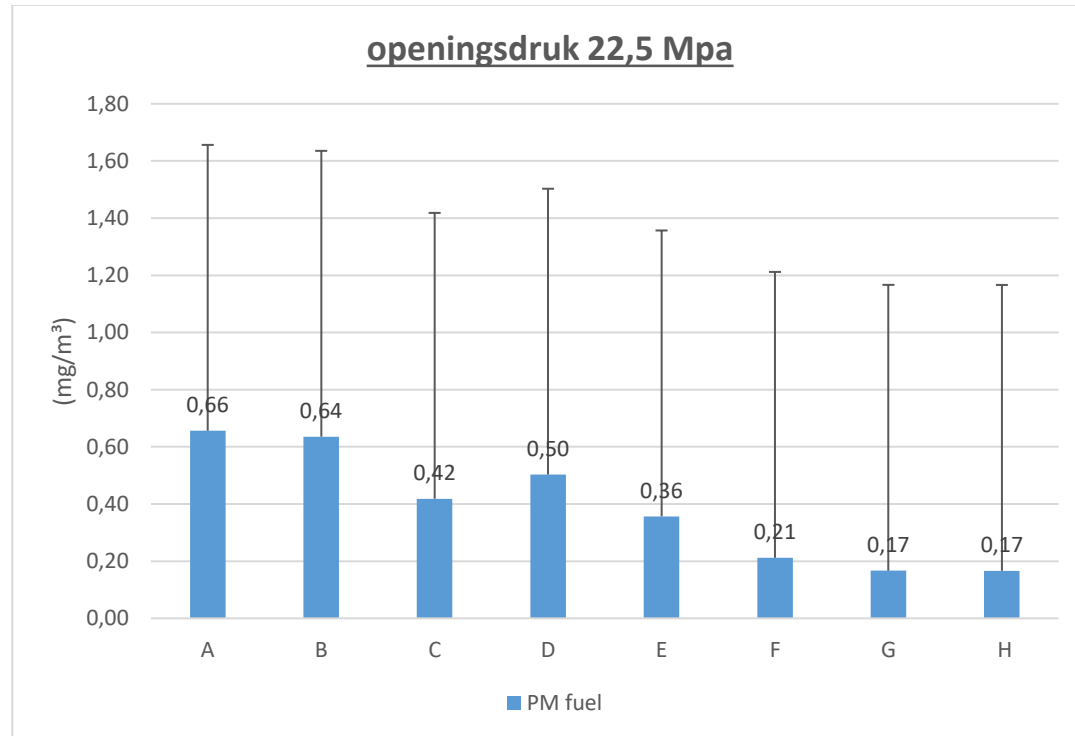
Tabel 8: Fijnstof uitstoot- druk 2

Bron: eigen werk

PM brandstof A	gemiddelde	0,6563
	standaardafwijking	0,5890
PM brandstof B	gemiddelde	0,6355
	standaardafwijking	0,6669
PM brandstof C	gemiddelde	0,4184
	standaardafwijking	0,4582
PM brandstof D	gemiddelde	0,5030
	standaardafwijking	0,5094
PM brandstof E	gemiddelde	0,3569
	standaardafwijking	0,3582
PM brandstof F	gemiddelde	0,2119
	standaardafwijking	0,0966
PM brandstof G	gemiddelde	0,1666
	standaardafwijking	0,0583
PM brandstof H	gemiddelde	0,1664
	standaardafwijking	0,0845

Figuur 15: Injectiedruk 2 t.o.v. fijnstof uitstoot verschillende brandstoffen

Bron: eigen werk



Berekend gemiddelde fijnstof uitstoot bij druk 2 is 0.389375 mg/m³.

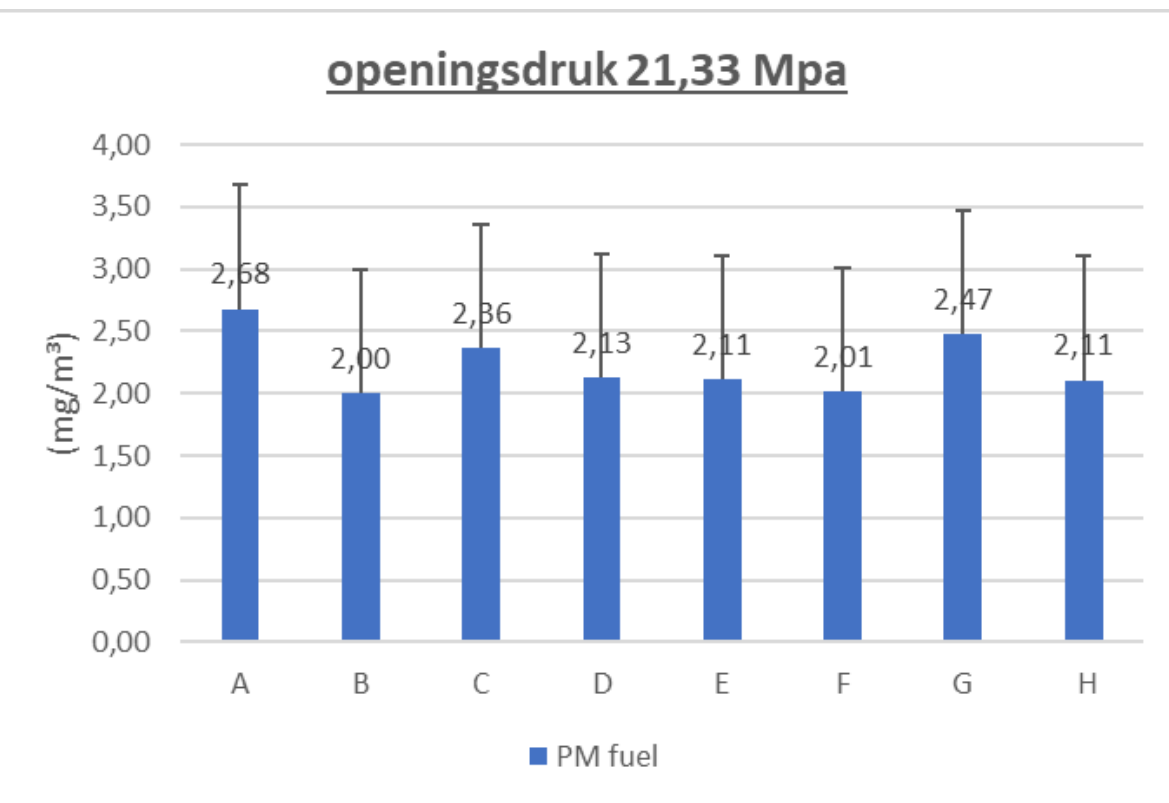
Tabel 9: Fijnstof uitstoot verschillende brandstoffen- injectiedruk 3

Bron:eigen werk

PM brandstof A	gemiddelde	2,6771
	standaardafwijking	0,7860
PM brandstof B	gemiddelde	1,9999
	standaardafwijking	1,0232
PM brandstof C	gemiddelde	2,3633
	standaardafwijking	1,2480
PM brandstof D	gemiddelde	2,1251
	standaardafwijking	0,9577
PM brandstof E	gemiddelde	2,1126
	standaardafwijking	1,1414
PM brandstof F	gemiddelde	2,0141
	standaardafwijking	1,0199
PM brandstof G	gemiddelde	2,4748
	standaardafwijking	0,4928
PM brandstof H	gemiddelde	2,1067
	standaardafwijking	0,8688

Figuur 16: Injectiedruk 3 t.o.v. fijnstof uitstoot verschillende brandstoffen

Bron:eigen werk



Berekend gemiddelde fijnstof uitstoot bij druk 3 is 2.2342 mg/m³.

12.3 Hypothese 3: meting van fijnstof op druk 1 t.o.v. druk 2

In deze hypothese wordt getoetst of er een significant verschil is tussen de uitstoot die de brandstoffen genereren bij een verandering van de inspuitedruk van de injector.

Tabel 10: druk1 - Fijnstof uitstoot

Bron: eigen werk

pressure 1

	PM uitstoot van minst naar meer met uitstoot waarden								
	--	B	C	D	A	G	H	E	++
PM ₁ (mg/m ³)		0,0742	0,0808	0,083	0,134	0,2404	0,2619	0,2941	0,3762
stdv ₁		0,0539	0,0838	0,0639	0,0748	0,0933	0,1824	0,2143	0,1647

Tabel 11: Druk 2 - Fijnstof uitstoot

Bron: eigen werk

pressure 2

	PM uitstoot van minst naar meer met uitstoot waarden								
	--	H	G	F	E	C	D	B	++
PM ₂ (mg/m ³)		0,1664	0,1666	0,2119	0,3569	0,4184	0,503	0,6355	0,6563
stdv ₂		0,0845	0,0583	0,0966	0,3582	0,4582	0,5094	0,6669	0,589

12.3.1 Hypothese 3.1: fijnstof uitstoot vermeerdering bij referentiebrandstof A

hypothese toets zonder vetzuur bijvoeging, alternatie druk

brandstof A (druk 1) t.o.v. brandstof A (druk 2)		
nul hypothese $H_0=$	$PM_{1A} > PM_{2A}$	
alternatieve hypothese $H_1=$	$PM_{1A} < PM_{2A}$	
significantie niveau $\alpha=$	0,05	
aantal metingen: n=	6	
aantal metingen n=	18	
t- toets (n=6):	17,10385685	
t-toets (n=18):	29,62474908	
éénzijdige aanvaarding H_0 (n=6)	2,015048373	H_0 word genegeerd , H_1 word geaccepteerd
éénzijdige aanvaarding H_0 (n=18)	1,739606726	H_0 word genegeerd , H_1 word geaccepteerd

Vergelijking 4: Hypothese proef verhoging druk - Brandstof A

Bron: eigen werk

Uit voorgaande hypothese kan worden besloten dat er een significante verhoging zal zijn van fijnstof uitstoot, bij een verhoging van de injectiedruk bij brandstof A zonder vetzuur toevoeging.

12.3.2 Hypothese 3.2: fijnstof uitstoot bij brandstof B druk 1 t.o.v. brandstof H druk 2

In deze hypothese wordt onderzocht of de verhoging van de inspuitdruk een significant verschil maakt op de werking van de brandstoffen met vetzuur en het effect van deze toevoeging.

brandstof B (druk 1) t.o.v. brandstof H (druk 2)		
nul hypothese $H_0=$	$PM_{1B} > PM_{2H}$	
alternatieve hypothese $H_1=$	$PM_{1B} \leq PM_{2H}$	
significantie niveau $\alpha=$	0,05	
aantal metingen: n=	6	
aantal metingen n=	18	
t- toets (n=6):	4,190036258	
t-toets (n=18):	7,257355684	
éénzijdige aanvaarding H_0 (n=6)	2,015048373	H_0 word genegeerd , H_1 word geaccepteerd
éénzijdige aanvaarding (n=18)	1,739606726	H_0 word genegeerd , H_1 word geaccepteerd

Vergelijking 5: Hypothese proef verhoging druk - Minste uitstoters

Bron: eigen werk

Eerst en vooral kan besloten worden dat men bij druk 2 een andere brandstof heeft die het minst zal uitstoten op vlak van fijnstof . Verder op te merken dat er nog steeds een significant verschil is tussen de beste presterende brandstof bij inspuitdruk 1 t.o.v. inspuitdruk 2.

Uit de vastgestelde meetwaarden mag geconcludeerd worden dat de positieve werking van bepaalde vetzuren zal verhogen bij een verhoging van de injectordruk. Wat opvalt is dat men een complete verandering heeft van brandstoffen die de minste uitstoot van fijnstof zullen geven bij druk 2.

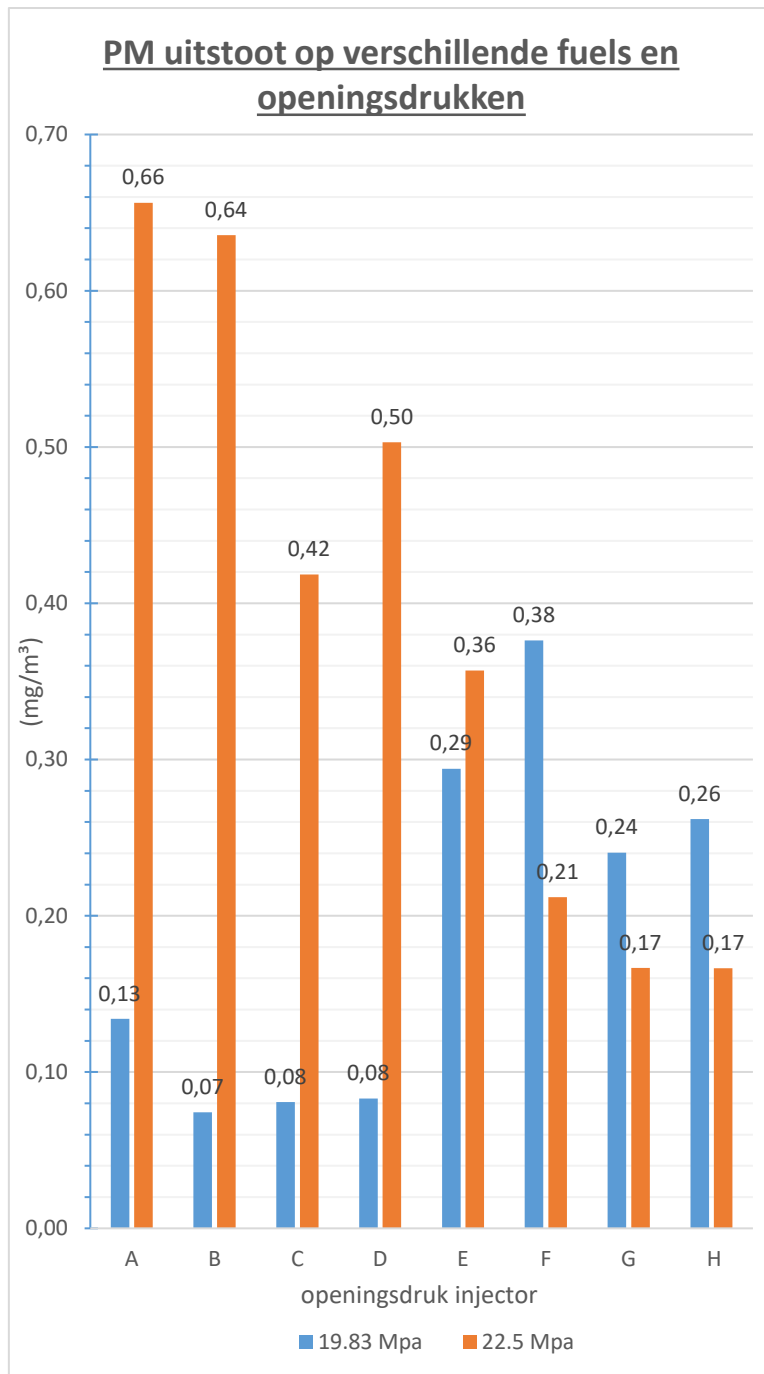
Zo zal brandstof H die bij inspuitdruk 1 nog een grote uitstoot waarde aan fijnstof had van 0.2619 mg/m^3 , nu een uitstoot waarde gaan optekenen van 0.1664 mg/m^3 . Een sterke vermindering van fijnstof dus.

Daarentegen heb je ook brandstoffen die een verhoging van fijnstof zullen creëren. Waar brandstof B bij injectiedruk 1 nog het minste zal uitstoten, komt men bij druk 2 tot een verhoging van het fijnstof. Bij druk 1 werd er namelijk een meting gedaan van 0.0742 mg/m^3 en bij druk 2 een sterke stijging naar 0.6355 mg/m^3 .

12.4 Resultaat fijnstof uitstoot op verschillende openingsdrukken

De referentie brandstof A gaat bij een hogere druk (druk 2) een slechtere uitstoot gaan geven van 0.6563 mg/m^3 terwijl deze in vergelijking met de referentiedruk (druk 1) niet de meeste of minste fijnstof uitstoot heeft maar 0.1340 mg/m^3 ; wat lager ligt dan de gemiddelde uitstoot bij druk 1 die 0.193075 mg/m^3 is.

Brandstof B daarentegen zal bij de referentiedruk (druk 1) de minste uitstoot geven : 0.0742 mg/m^3 . Daarenboven zal deze brandstof bij de slechte omstandigheden die druk 3 weergeeft nogmaals de minste uitstoot aan fijn stof gaan vormen, 1.9999 mg/m^3 meer bepaald. Ondanks deze resultaten zien we dan opmerkelijk genoeg dat bij druk 2, die hoger ligt dan druk 3 en een openingsdruk van 22.5 Mpa voorstelt, brandstof A de 2^{de} slechtste uitstoot, 0.6355 mg/m^3 aan fijn stof zal krijgen



Figuur 17: Fijnstof uitstoot bij openingsdruk 1 t.o.v. 2

Bron: eigen werk

Als men omgekeerd te werk gaat, ziet men dat de fijnstofconcentratie uitstoot, bij de ref. openingsdruk 1/ 19.83Mpa het hoogste is bij brandstof F, met als bewijs een meting van 0.3762mg/m³. Als de openingsdruk verder opgevoerd wordt door een andere shim te plaatsen naar druk 2/ 22.5Mpa, ziet men dat de uitstoot zelfs afneemt in sommige gevallen. Brandstof F zal bij druk 2 een fijnstof concentratie uitstoot geven van 0.2119 mg/m³ wat zelfs onder het gemiddelde van 0.389375mg/m³ ligt van alle brandstoffen met een openingsdruk van 22.5Mpa. Dit keert vaker terug bij onder andere brandstoffen zoals H en G die respectievelijk verminderen qua fijnstofconcentratie uitstoot van 0.2619 en 0.2404 mg/m³ naar 0.1664 en 0.1666 mg/m³.

12.5 Onderscheiding van soorten geteste brandstoffen op verschillende openingsdrukken

3 soorten brandstoffen kunnen onderscheiden worden. Enerzijds brandstoffen zoals A, B & D die een exponentiele verhoging aan uitstoot van meer dan 15% fijnstofconcentratie zullen vormen bij een verhoging van de openingsdruk. In tegenstelling tot een volgende groep van brandstoffen zoals de brandstof F, G & H die een verlaging van fijnstofconcentratie zullen bekomen bij een verhoging van openingsdruk van de injector. Daartussen in heeft men nog een laatste groep van brandstoffen zoals C & E die een lichtere stijging van fijnstofconcentratie uitstoot zal bekomen bij een hogere openingsdruk.

Vergelijking 6: Alternatie fijnstof uitstoot door verandering van injectiedruk

Bron: eigen werk

Uitlaat fijnstofconcentratie (mg/m ³)			
Brandstof:	Openingsdruk 1/ 19.83Mpa	Percentuele Verhoging of verlaging (%)	Openingsdruk 2/ 22.45Mpa
A	0.1340	+389.77	0.6563
B	0.0742	+756.47	0.6355
C	0.0808	+417.82	0.4184
D	0.0830	+506.02	0.5030
E	0.2941	+21.35	0.3569
F	0.3762	-43.67	0.2119
G	0.2404	-30.7	0.1666
H	0.2619	-36.46	0.1664

ROOD= stijging > 500%

ORANJE= stijging < 500% en > 0%

blauw= daling > 0% en < -50%

13 Vergelijking van brandstoffen en de werking van hun vetzuur toevoegingen op een variabele injectiedruk

In hoofdstuk 10 werd onderzocht in welke mate toevoeging van vetzuren een positief effect zal hebben op de uitstoot van fijnstof, stikstofmonoxide en stikstofdioxide. Er werd geprobeerd percentuele grenzen van vetzuur toevoegingen op te stellen om een positief effect te hebben op de uitstoot. De vetzuren methyl palmitaat (C16:0), methyl stearaat (C18:0), methyl oleaat (C18:1), methyl linoleaat (C18:2) en methyl linoleaat (C18:3) werden in bepaald percentage toegevoegd. Men mag spreken van een positief effect als de brandstof met toevoeging minder zal uitstoten dan onze referentiebrandstof A.

13.1 Percentuele vetzuur toevoeging bij constante druk

Bij een constante druk (zie hoofdstuk 10) kon men deze percentuele grenzen als volgt gaan toewijzen .

- methyl palmitaat (C16:0)
 - fijnstof uitstoot vermindering, toevoeging van (4.09 - 4.14 %)
 - stikstofmonoxide vermindering, toevoeging van (4.07 – 4.14 %)
 - stikstofdioxide vermindering, toevoeging van (4.05 – 4.14 %)

- methyl stearaat (C18:0)
 - fijnstof uitstoot vermindering, toevoeging van (0.8 – 0.93 %)
 - stikstofmonoxide vermindering, toevoeging (0.8 – 0.93 %)
 - stikstofdioxide vermindering, toevoeging van (0.8 – 0.93 %)

- methyl oleaat (C18:1)
 - fijnstof uitstoot vermindering, toevoeging van (65.79 – 66.1 %)
 - stikstofmonoxide vermindering, toevoeging (65.79 – 66.82 %)
 - stikstofdioxide vermindering, toevoeging (65.79 – 66.82 %)

- methyl linoleaat (C18:2)
 - fijnstof uitstoot vermindering, toevoeging van (19.42 – 19.95 %)
 - stikstofmonoxide vermindering, toevoeging (19.42 – 19.95 %)
 - stikstofdioxide vermindering, toevoeging (19.42 – 19.95 %)

- methyl linolenaat (C18:3)
 - fijnstof uitstoot vermindering, toevoeging van (9.13 – 9.23 %)
 - stikstofmonoxide vermindering, toevoeging (9.01 – 9.23 %)
 - stikstofdioxide vermindering, toevoeging (9.01 – 9.23 %)

13.2 Percentuele vetzuur toevoeging bij variabele druk

Vanaf nu werd gekeken in welke mate de toevoeging van vetzuren een positief effect zal hebben op de uitstoot bij veranderlijke inspuitdruk .

Verder werd onderzoek gedaan of de grenzen van vetzuur toevoeging, die een positief effect hebben op de uitstoot, zullen gaan veranderen. En indien deze effectief veranderen, in welke richting deze dan veranderen. Om dit opnieuw te onderzoeken op een variabele druk worden de uitstoot tabellen van fijnstof, stikstofmonoxide en stikstofdioxide bovengehaald. Ditmaal zijn we meer geïnteresseerd in de tabellen die de uitstootwaarden geven op injectiedruk 2 & 3 t.o.v. de hoeveelheid vetzuren in de brandstof.

Belangrijk hierbij is te weten dat de manier waarop de grenzen werden vastgesteld lichtjes veranderd werden. Bij hoofdstuk 10 deed men dit door toe te spitsen op de brandstoffen met toevoeging die het beter deden dan de referentiebrandstof A. Bij inspuitdruk 2 wordt vastgesteld dat alle brandstoffen het op vlak van fijnstof uitstoot beter doen dan referentie A, daarom wordt geconcentreerd op de 3 beste brandstoffen en hun vetzuur samenstelling.

Druk 1

		PM uitstoot van minst naar meer							
		--	met compositie van vetzuren					++	
vetzuur concentratie (%)		B	C	D	A	G	H	E	F
	C16:0	4,1	4,09	4,14	4,12	4,24	4,05	4,07	4,06
	C18:0	0,93	0,91	0,8	0,87	0,85	0,92	0,84	1
	C18:1	65,79	66,11	66,82	65,98	65,95	66,04	66,48	66,89
	C18:2	19,95	19,76	19,42	19,89	19,84	19,87	19,6	19,28
	C18:3	9,23	9,13	8,82	9,14	9,11	9,13	9,01	8,78

Tabel 12:Druk 1 fijnstof uitstoot t.o.v. vetzuur samenstelling

Bron: eigen werk

Druk 2

		PM uitstoot van minst naar meer							
		--	met compositie van vetzuren					++	
vetzuur concentratie (%)		H	G	F	E	C	D	B	A
	C16:0	4,05	4,24	4,06	4,07	4,09	4,14	4,1	4,12
	C18:0	0,92	0,85	1	0,84	0,91	0,8	0,93	0,87
	C18:1	66,04	65,95	66,89	66,48	66,11	66,82	65,79	65,98
	C18:2	19,87	19,84	19,28	19,6	19,76	19,42	19,95	19,89
	C18:3	9,13	9,11	8,78	9,01	9,13	8,82	9,23	9,14

Tabel 13:Druk 2 fijnstof uitstoot t.o.v. vetzuur samenstelling

Bron: eigen wer

De 3 brandstoffen die het op vlak van fijnstof uitstoot bij een openingsdruk van 22.45Mpa het beste zullen presteren zijn respectievelijk brandstoffen H, G en F. Zoals in hoofdstuk 10 werd geprobeerd de grenzen te bepalen. Deze grenzen geven de toevoeging van vetzuren weer die een positieve werking op vlak van fijnstof uitstoot zal bekomen.

13.2.1 Druk 2 t.o.v. druk 1 : methyl palmitaat (C16:0)

Eerder in hoofdstuk 10 werden de percentuele grenzen van toevoeging bepaald die een positief effect zouden hebben op de uitstoot van fijnstof. Ditmaal werden deze grenzen bepaald door te kijken naar de toevoeging van methyl palmitaat in de brandstoffen die het minst zullen uitstoten. Door de verhoging van openingsdruk kunnen deze grenzen van methyl palmitaat toevoeging verbreed worden. Zo valt te constateren dat brandstoffen die een waarde methyl palmitaat hebben bij druk 2 tussen de 4.05 en 4.24%, een positief effect zullen hebben op de fijnstof uitstoot. Ook te constateren dat de marge van toevoeging zal uitbreiden. Zo bij druk 2 een marge van 0.19% terwijl dit bij druk 1 nog een marge van 0.05% was. Anderzijds valt vast te stellen dat andere brandstoffen inclusief de referentiebrandstof A een aandeel methyl palmitaat hebben dat hier perfect tussen ligt, maar toch meer zullen uitstoten. Voor het eerst ziet men dat de werking van bepaalde vetzuren sterk gecorreleerd is aan de inspuitsdruk.

13.2.2 Druk 2 t.o.v. druk 1 : methyl stearaat (C18:0)

Ook bij het opstellen van de grenzen van toevoeging van methyl stearaat die een positief effect zullen hebben op de uitstoot van fijnstof, veranderen de grenzen. Zo zullen brandstoffen met een methyl stearaat aandeel tussen de 0.85 en 1% een positief effect hebben op de uitstoot. Er is een marge van 0.15% bij druk 2. Ten opzichte van druk 1 is dit een lichte verschuiving opwaarts. Bij druk 1 werden er namelijk grenzen voorgesteld van 0.8 en 0.93%, die resulteerden in een marge van 0.13%.

Hieruit mag worden afgeleid dat een lichte verhoging van methyl stearaat de uitstoot van fijnstof op inspuitsdruk 2 ten goede zou komen.

13.2.3 Druk 2 t.o.v. druk 1 : methyl oleaat (C18:1)

Bij methyl oleaat zijn er veel gelijkenissen met methyl stearaat op vlak van de grenzen opstellen op inspuitdruk 2. Opnieuw nemen we een verhoging van de grenzen waar. Brandstoffen met een aandeel methyl oleaat die tussen de 65.95 en 66.89% liggen, zullen bij openingsdruk 2 een positief effect hebben op de uitstoot van fijnstof. Bij druk 2 is er een marge van 0.94% tussen de grenzen. Ter vergelijking had men bij druk 1 een marge van 0.31% tussen de grenzen van 65.79 en 66.1%.

13.2.4 Druk 2 t.o.v. druk 1 : methyl linoleaat (C18:2)

Bij de toevoeging van methyl linoleaat op een inspuitdruk 2 is de vaststelling dat een kleiner percentuele toevoeging van dit vetzuur een positief effect zal hebben op de uitstoot van fijnstof. Brandstoffen die een toevoeging methyl linoleaat hebben die tussen de 19.28 en 19.87 % ligt, zal resulteren in een vermindering van fijnstof uitstoot op een grotere openingsdruk. Bij de methyl linoleaat toevoeging op druk 2 heeft men dus een marge van 0.59% tussen de grenzen. Opnieuw is dit een lichte verbreding van de grenzen van toevoeging in de wetenschap dat bij druk 1 men nog een marge van 0.53% had tussen de grenzen 19.42% en 19.95%.

13.2.5 Druk 2 t.o.v. druk 1 : methyl linolenaat (C18:3)

Tot slot wordt de toevoeging van ons laatste vetzuur, methyl linolenaat behandeld. Hier stelt men een enorme verbreding vast van de grenzen van methyl linolenaat toevoeging die een positief effect zullen hebben op de uitstoot van fijnstof. Waarbij een toevoeging van methyl linolenaat bij druk 1 met een marge van 0.1% tussen de grenzen van 9.13 en 9.23% nog positieve effecten creëren. Aan te merken dat bij druk 2 er een enorme vergroting is van de marge tussen de grenzen van toevoeging die een positief effect zullen hebben. Bij druk 2 voor methyl linolenaat namelijk een marge van 0.35% tussen de grenzen van 8.78 en 9.13%.

14 Resultaten en besluiten

In dit hoofdstuk vatten we de gemaakte besluiten, inzichten en conclusies samen die tijdens het totale onderzoek gevormd zijn. Omdat we gebruik maakten van verschillende hypothesen in ons onderzoek, gaan we onze resultaten en besluiten gaan opdelen in verschillende deelbevindingen.

14.1 Resultaten en besluiten op vaste druk

Wij deden in ons onderzoek een test naar de toevoeging van vetzuren op een vaste inspuitdruk. We spreken van een “vaste” inspuitdruk maar welke druk dit is wordt in ons onderzoek niet verder bepaald. We weten wel dat we gedurende het hele onderzoek gebruik maakten van dezelfde soort injector. Door de afstelplaatjes in de injector aan te passen kunnen we een andere injectiedruk bekomen. We bekomen niet alleen een andere injectiedruk maar de timing verandert ook. Door een aanpassing van de veerconstanten zouden we een reële vergelijking kunnen maken tussen de verschillende drukken. In ons onderzoek hebben we echter de veerconstanten niet aangepast en kan er dus ook niet van uitgegaan worden dat de invloed op de vetzuren op de uitstoot zuiver afhankelijk is van de openingsdruk van de injector.

14.1.1 fijnstof

- ✚ Een 1^{ste} besluit die vaststaat is dat er een significant verschil merkbaar is tussen onze referentiebrandstof A en brandstof B op vlak van fijnstof uitstoot. De toevoeging van vetzuren zal dus wel merkkelijk een verschil maken in de uitstoot van fijnstof. De kans dat de juiste toevoeging van vetzuren bij B toch op zuiver toeval berust en een verschil in uitstoot zal creëren is 5%.
- ✚ Een 2^{de} besluit die kan gevonden worden is dat er tussen brandstof B en C, die het minst uitstoten, geen significant verschil merkbaar is. Beide brandstoffen hebben toevoegingen van vetzuren die positieve eigenschappen zullen hebben op hun uitstoot. Maar onderling hebben ze geen merkbaar verschil op vlak van uitstoot. Dit kan te wijten zijn aan een te klein verschil in toevoeging van vetzuren tussen de 2 brandstoffen.

14.1.2 Stikstofmonoxide

- ✚ Een 1^{ste} besluit die we kunnen maken is dat brandstoffen B en C onderling een significant verschil hebben op vlak van stikstofmonoxide uitstoot indien er uit wordt gegaan van 18 metingen. Brandstof B zal dus een bepaalde toevoeging hebben van vetzuren die op vlak van uitstoot een significant verschil geeft met brandstof C. De kans dat deze goedkeuring van de alternatieve hypothese toch op zuiver toeval berust is 5%.
- ✚ Een 2^{de} besluit concludeert dat er tussen referentiebrandstof A en brandstof B, die het minst zal uitstoten, wel degelijk een significant verschil is op vlak van stikstofmonoxide uitstoot. De toevoegingen van vetzuren aan brandstof B hebben een merkbaar verschil ten opzichte van brandstof A zonder toevoeging, als we dit bekijken op vlak van stikstofmonoxide uitstoot.

14.1.3 Stikstofdioxide

- ✚ Een 1^{ste} besluit die kan gevonden worden op vlak van stikstofdioxide tussen brandstof B en A is dat er een significant verschil is. De toevoegingen aan brandstof B hebben een significant merkbaar verschil op vlak van uitstoot van stikstofdioxide.
- ✚ Een laatste besluit behelst een significant verschil tussen brandstof B en C op vlak van stikstofdioxide uitstoot, indien we uitgaan van 18 metingen. Beide brandstoffen hebben dus toevoegingen van vetzuren die een positief effect zullen hebben op de uitstoot van stikstofdioxide. Maar onderling zullen deze toevoeging of de mate waarin ze zijn toegevoegd toch nog zorgen voor een significant verschil tussen brandstof B en C op vlak van stikstofdioxide.

14.2 Fijnstof uitstoot en vetzuur samenstelling

Op deze vaste injectiedruk zien we dat de toevoeging van vetzuren wel degelijk een effect zal hebben, indien dit gebeurt binnen bepaalde grenzen van elk vetzuur. Bij de vaste injectiedruk zien we dat bij deze juiste toevoegingen dit in een vermindering van de fijnstof uitstoot kan resulteren tussen de 38,06 en 44.63 % ten opzichte van onze referentiebrandstof A. Deze verminderingen kunnen we vormen indien we volgende vetzuren toevoegen in bijgevoegde hoeveelheden.

- methyl palmitaat C16:0 -- (4.09 - 4.14 %)
- methyl stearaat C18:0 -- (0.8 – 0.93 %)
- methyl oleaat C18:1 -- (65.79 – 66.1 %)
- methyl linoleaat C18:2 -- (19.42 – 19.95 %)
- methyl linolenaat C18:3 -- (9.13 – 9.23 %)

Daarentegen zien we ook wel dat brandstoffen die een toevoeging van vetzuren hebben die totaal niet binnen deze hoeveelheden liggen een vermeerdering van fijnstof uitstoot zal creëren ten opzichte van referentiebrandstof A.

Deze vermeerdering van fijnstof zal dan tussen de 79.40 en 180.75 % liggen.

We zien op het vlak van fijnstof uitstoot dat een juiste toevoeging van vetzuren dus van uiterst belang is op een vaste injectiedruk. Bij een juiste toevoeging kan er wel degelijk een verbetering zijn in uitstoot. Indien deze totaal niet correct gebeurt, zal dit juist resulteren in een verslechtering van fijnstof uitstoot tot waarden die bijna 2 maal hoger liggen dan onze referentiebrandstof A zonder vetzuur toevoegingen.

14.3 Stikstofmonoxide uitstoot en vetzuur samenstelling

Opnieuw zien we dat de toevoeging van vetzuren wel degelijk een invloed heeft op de uitstoot van stikstofmonoxide. Opnieuw is het belangrijk dat we deze toevoegingen doen in bepaalde hoeveelheden. De grenzen die de hoeveelheid van toevoegingen samenvatten worden breder, een complete juiste toevoeging wordt dus gemakkelijker op vlak van stikstofmonoxide uitstoot. Indien deze toch binnen nagenoemde grenzen blijven kunnen we een vermindering van stikstofmonoxide gaan creëren tussen de 0.9 en 26.08%. Deze verminderingen zijn berekend ten opzichte van onze referentiebrandstof A.

- Methyl palmitaat C16:0 -- (4.07 - 4.14 %)
- methyl stearaat C18:0 -- (0.8 – 0.93 %)
- methyl oleaat C18:1 -- (65.79 – 66.82 %)
- methyl linoleaat C18:2 – (19.42 – 19.95 %)
- methyl linolenaat C18:3 -- (9.01 – 9.23 %)

Maar opnieuw zien we dat een brandstof met toevoeging van vetzuren die totaal niet binnen deze lijnen ligt een verhoging van stikstofmonoxide zal krijgen. Bij een verkeerde toevoeging zal dit resulteren in een verhoging van stikstofmonoxide tussen de 15.65 en 60%.

14.4 Stikstofdioxide en vetzuur samenstelling

Ook op vlak van stikstofdioxide zien we dat toevoeging van vetzuren een positief effect zal hebben op de uitstoot waarden. Nogmaals zullen de grenzen van bepaalde vetzuur toevoegingen verbreden. Hierdoor hebben we een grotere marge op vetzuur toevoegingen die toch nog een positief effect zullen hebben op de uitstoot van stikstofdioxide. Als we de toevoeging binnen onderstaande grenzen respecteren en naleven zien we dat we een vermindering van stikstofdioxide kunnen krijgen tussen de 5.15 en 38,49 %.

- Methyl palmitaat C16:0 -- (4.05 - 4.14 %)
- methyl stearaat C18:0 -- (0.8 – 0.93 %)
- methyl oleaat C18:1 -- (65.79 – 66.82 %)
- methyl linoleaat C18:2 – (19.42 – 19.95 %)
- methyl linolenaat C18:3 -- (9.01 – 9.23 %)

Niettegenstaande zien we dat brandstoffen die genoten hebben van een toevoeging van vetzuren die totaal niet binnen deze grenzen ligt, juist een verhoging van stikstofdioxide uitstoot zullen krijgen. Wij vinden in ons onderzoek een verhoging van stikstofdioxide tussen de 27.5 en 31.62 % bij een verkeerde toevoeging van vetzuren.

14.5 Eindresultaat samenstelling van vetzuren en uitstootwaarden op een vaste druk

Bij een constante druk en openingsdruk van de injector van 19.83Mpa zien we dat enkele vetzuren van uiterst belang zijn om een verlaging in uitstoot van fijnstof, stikstofmonoxide en kolstofdioxide te bekomen. Zo zien we dat een hoge aanwezigheid van vetzuren met lange keten zoals methyl linolenaat (C18:3) en methyl linoleaat (C18:2) een positief effect hebben op de uitstoot. Ook brandstoffen met een laag gehalte aan methyl oleaat (C18:1) zullen verlaagde uitstootwaarden gaan bekomen. Indien er hoge aanwezigheid is van methyl stearaat (18:0) zien we ook verbeterende uitstootwaarden. Tot slot hebben we nog het belang van Methyl palmitaat. Hier zien we dat dit vetzuur van minder belang is en beter in een gemiddeld niveau kan worden toegevoegd.

Ook zien we dat deze toevoeging het meeste effect heeft op een vermindering van stikstofdioxide uitstoot, als we dit bekijken over alle brandstoffen. Een slechte toevoeging zal een vermeerdering in uitstoot gaan creëren maar deze is beperkt tot een vermeerdering van 31.62%.

Een toevoeging zal het minste effect hebben op de uitstoot van stikstofmonoxide als dit bekeken wordt over alle geteste brandstoffen. Niettegenstaande zal een minder goede toevoeging van vetzuren mogelijk worden afgestraft door juist een verhoging van stikstofmonoxide te gaan creëren tot wel 60% meer uitstoot.

Tot slot komen we tot het effect van eender welke toevoeging op vlak van fijnstof uitstoot. Bij een juiste toevoeging kan een vermindering van fijnstof uitstoot worden bekomen die het hoogst ligt van alle 3 de uitstoten tot wel 44.63%. We kunnen door een juiste toevoeging van vetzuren dus onze uitstoot fijnstof gaan verminderen tot bijna de helft van de uitstoot bij onze referentie. Wat enorm interessant oogt. Waar je wel bij moet stilstaan is dat deze werking een keerzijde heeft. Zo zal een slechte toevoeging ook sterker worden afgestraft. Een slechte toevoeging van vetzuren kan op vlak van fijnstof een uitstoot gaan bekomen die 180.75% meer bedraagt.

15 Conclusie op vlak van vetzuur samenstelling en fijnstof uitstoot op een variabele druk

Een eenzijdig antwoord zal zeer moeilijk te vormen zijn indien we beginnen kijken naar een variabele druk. Eerste en vooral zien we dat brandstoffen die op een injectiedruk 1 nog zeer goede resultaten boeken op vlak van uitstoot, bij druk 2 enorm slechte uitstoot waarden gaan creëren.

Om zeker te zijn of een verhoging van de injectiedruk wel degelijk een verschil van fijnstofuitstoot zal creëren, maken we gebruik van een hypothese proef. Voor andere proeven kijken we eerst wat deze verandering doet aan de fijnstofuitstoot zonder dat er nog maar sprake is van vetzuur toevoeging. We testten en vonden dus een significante verhoging in fijnstof uitstoot bij brandstoffen zonder vetzuur toevoeging bij een verhoging van de injectiedruk.

Vervolgens keken we naar een hypothese die toetst of er een significant verschil is tussen de twee brandstoffen die het minste fijnstof zullen uitstoten op de verschillende openingsdrukken. Brandstof B zal bij druk 1 het minste uitstoten en brandstof H bij druk 2. De hypothese proef tussen deze 2 brandstoffen op verschillende openingsdrukken wijst uit dat er een significant verschil merkbaar is tussen de 2 brandstoffen. Brandstof H zal bij een inspuitdruk 2 significant meer fijnstof gaan uitstoten dan brandstof B bij druk 1. De kans dat dit op zuiver toeval berust is 5%.

15.1 Soorten brandstoffen op variabele druk door vetzuur toevoegingen

Ook zien we buiten de hypothese proeven dat we onderscheid kunnen gaan maken tussen de brandstoffen en hun achterliggende vetzuur samenstelling. Zo hebben we brandstoffen zoals B, C en D die een samenstelling van vetzuren hebben, die op een relatieve lage injectiedruk een positieve invloed zal hebben op de uitstoot van fijnstof. Bij brandstof B zie je bijvoorbeeld een uitstoot van 0.0742 mg/m^3 . Indien we de openingsdruk bij deze brandstoffen verhogen zien we dat de fijnstofuitstoot ook toeneemt en dit met een percentuele toename van wel 756.47% bij brandstof B.

Daar tegenover heb je brandstoffen zoals F, G en H die bij een openingsdruk 1 nog redelijk slechte uitstoot waarden geven tot wel 0.3762 mg/m^3 bij brandstof F. Door de werking van vetzuren zie je dat deze waarden verbeteren indien je hier de inspuitdruk gaat verhogen. Zo zie je bij de brandstoffen juist een afname van fijnstof uitstoot tot een percentuele afname van 43.67% bij F.

Daartussen heb je een brandstof E die door zijn samenstelling van vetzuren eerder een gematigde werking van vetzuren vertoont. Deze brandstof toont bij openingsdruk 1 een slechte uitstoot van 0.2941 mg/m^3 . Indien we hierbij de openingsdruk opvoeren zien we een lichte toename van fijnstof met een percentuele toename van 21.35%.

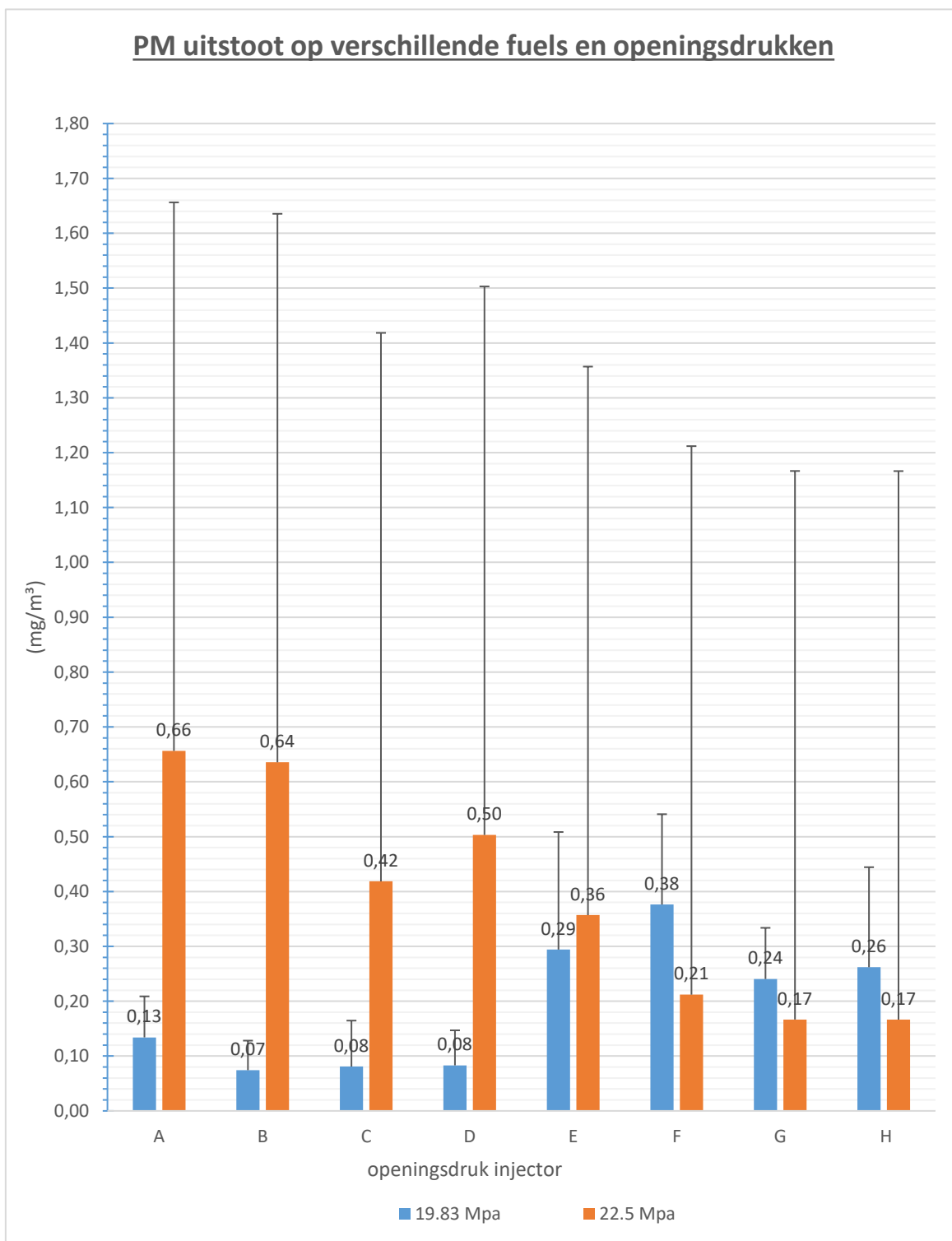
15.2 Eindconclusie op variabele druk

Uit voorgaande kunnen we afleiden dat de perfecte balans tussen vetzuur concentraties zeer moeilijk te vinden is. Mede doordat deze afhangt van je inspuitdruk.

We zien dat de fijnstof uitstoot sterk afhankelijk is van de inspuitdruk in de eerste plaats. Daarbovenop zien we ook dat we te maken hebben met verschillende brandstoffen die een verschillende hoeveelheid van ieder vetzuur bezit. Tot slot zien we dat de werking van deze vetzuren versterkt/verzwakt wordt door een verhoging van de injectiedruk.

Uiteindelijk kunnen we gaan concluderen dat we een bepaalde samenstelling van brandstof met vetzuren best gecreëerd word voor op een vaste injectiedruk, waarop deze vetzuren de beste van hun werking kunnen laten zien door een verlaging van fijnstof te creëren.

16 Bijlage



Figuur 18: Fijnstof uitstoot bij openingsdruk 1 t.o.v. 2 met standaardafwijking

Bron: eigen werk

17 Bibliografie

Antolín, G., Tinaut, F. V., Briceño, Y., Castaño, V., Pérez, C., & Ramírez, A. I. (2002). Optimisation of biodiesel production by sunflower oil transesterification. *Bioresource Technology*, 83(2), 111–114. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00200-0](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00200-0)

Bhale, P. V., Deshpande, N. V., & Thombre, S. B. (2009). Improving the low temperature properties of biodiesel fuel. *Renewable Energy*, 34(3), 794–800. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.04.037>

Biodiesel production from various feedstocks and their effects on the fuel properties | Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology | Oxford Academic. (z.d.). Geraadpleegd 1 februari 2021, van <https://academic.oup.com/jimb/article/35/5/431/5993870?login=true>

Connolly, D., Mathiesen, B. V., & Ridjan, I. (2014). A comparison between renewable transport fuels that can supplement or replace biofuels in a 100% renewable energy system. *Energy*, 73, 110–125. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.05.104>

Continuous Production of Soybean Biodiesel in Supercritical Ethanol–Water Mixtures | Energy & Fuels. (z.d.). Geraadpleegd 1 februari 2021, van <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ef800175e>

Creation of a Bacterial Cell Controlled by a Chemically Synthesized Genome | Science. (z.d.). Geraadpleegd 28 mei 2021, van <https://science.sciencemag.org/content/329/5987/52>

Čuček, L., Martín, M., Grossmann, I. E., & Kravanja, Z. (2014). Large-Scale Biorefinery Supply Network – Case Study of the European Union. In J. J. Klemeš, P. S. Varbanov, & P. Y. Liew (Red.), *Computer Aided Chemical Engineering* (Vol. 33, pp. 319–324). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63456-6.50054-5>

Cvengroš, J., & Považanec, F. (1996). Production and treatment of rapeseed oil methyl esters as alternative fuels for diesel engines. *Bioresource Technology*, 55(2), 145–150. [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(95\)00190-5](https://doi.org/10.1016/0960-8524(95)00190-5)

Darda, S., Papalás, T., & Zabaniotou, A. (2019). Biofuels journey in Europe: Currently the way to low carbon economy sustainability is still a challenge. *Journal of Cleaner Production*, 208, 575–588. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.147>

Demirbas, A. (2005). Biodiesel production from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical methanol transesterification methods. *Progress in Energy and Combustion Science*, 31(5), 466–487. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2005.09.001>

“Designer” Biodiesel: Optimizing Fatty Ester Composition to Improve Fuel Properties | Energy & Fuels. (z.d.). Geraadpleegd 28 mei 2021, van <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ef700639e>

Dominković, D. F., Bačeković, I., Pedersen, A. S., & Krajačić, G. (2018). The future of transportation in sustainable energy systems: Opportunities and barriers in a clean energy transition. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1823–1838. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.117>

- Dorado, M. P., Ballesteros, E., Arnal, J. M., Gómez, J., & López, F. J. (2003). Exhaust emissions from a Diesel engine fueled with transesterified waste olive oil☆. *Fuel*, *82*(11), 1311–1315. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(03\)00034-6](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(03)00034-6)
- Fukuda, H., Kondo, A., & Noda, H. (2001). Biodiesel fuel production by transesterification of oils. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, *92*(5), 405–416. [https://doi.org/10.1016/S1389-1723\(01\)80288-7](https://doi.org/10.1016/S1389-1723(01)80288-7)
- GEORG, ZACHMANN. G., FREDRIKSSON. GREGORY, CLAEYS. (2018). *Distributional effects of climate policies*. BRUEGEL.
- Gouw, T. H., & Vlugter, J. C. (1964). Physical properties of fatty acid methyl esters. I. density and molar volume. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, *41*(2), 142–145. <https://doi.org/10.1007/BF02673494>
- Graboski, M. S., McCormick, R. L., Alleman, T. L., & Herring, A. M. (2003). *Effect of Biodiesel Composition on Engine Emissions from a DDC Series 60 Diesel Engine: Final Report; Report 2 in a Series of 6* (NREL/SR-510-31461). National Renewable Energy Lab., Golden, CO. (US). <https://doi.org/10.2172/15003583>
- Graboski, Michael S., & McCormick, R. L. (1998). Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, *24*(2), 125–164. [https://doi.org/10.1016/S0360-1285\(97\)00034-8](https://doi.org/10.1016/S0360-1285(97)00034-8)
- Haas, M. J., Scott, K. M., Alleman, T. L., & McCormick, R. L. (2001). Engine Performance of Biodiesel Fuel Prepared from Soybean Soapstock: A High Quality Renewable Fuel Produced from a Waste Feedstock. *Energy & Fuels*, *15*(5), 1207–1212. <https://doi.org/10.1021/ef010051x>
- Halim, R., Gladman, B., Danquah, M. K., & Webley, P. A. (2011). Oil extraction from microalgae for biodiesel production. *Bioresource Technology*, *102*(1), 178–185. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.136>
- Harrington, K. J. (1986). Chemical and physical properties of vegetable oil esters and their effect on diesel fuel performance. *Biomass*, *9*(1), 1–17. [https://doi.org/10.1016/0144-4565\(86\)90008-9](https://doi.org/10.1016/0144-4565(86)90008-9)
- Jamaluddin, N. a. M., Riayatsyah, T. M. I., Silitonga, A. S., Mofijur, M., Shamsuddin, A. H., Ong, H. C., Mahlia, T. M. I., & Rahman, S. M. A. (2019). Techno-Economic Analysis and Physicochemical Properties of Ceiba pentandra as Second-Generation Biodiesel Based on ASTM D6751 and EN 14214. *Processes*, *7*(9), 636. <https://doi.org/10.3390/pr7090636>
- Kalam, M. A., & Masjuki, H. H. (2002). Biodiesel from palmoil—An analysis of its properties and potential. *Biomass and Bioenergy*, *23*(6), 471–479. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(02\)00085-5](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(02)00085-5)
- Knothe, G. (2005). Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters. *Fuel Processing Technology*, *86*(10), 1059–1070. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2004.11.002>
- Knothe, G. (2009). Improving biodiesel fuel properties by modifying fatty ester composition. *Energy & Environmental Science*, *2*(7), 759–766. <https://doi.org/10.1039/B903941D>

- Knothe, G., Cermak, S. C., & Evangelista, R. L. (2009). Cuphea Oil as Source of Biodiesel with Improved Fuel Properties Caused by High Content of Methyl Decanoate. *Energy & Fuels*, 23(3), 1743–1747. <https://doi.org/10.1021/ef800958t>
- Knothe, G., Matheaus, A. C., & Ryan, T. W. (2003). Cetane numbers of branched and straight-chain fatty esters determined in an ignition quality tester☆. *Fuel*, 82(8), 971–975. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(02\)00382-4](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(02)00382-4)
- Knothe, G., Sharp, C. A., & Ryan, T. W. (2006). Exhaust Emissions of Biodiesel, Petrodiesel, Neat Methyl Esters, and Alkanes in a New Technology Engine. *Energy & Fuels*, 20(1), 403–408. <https://doi.org/10.1021/ef0502711>
- Lapuerta, M., Armas, O., Ballesteros, R., & Fernández, J. (2005). Diesel emissions from biofuels derived from Spanish potential vegetable oils. *Fuel*, 84(6), 773–780. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2004.11.010>
- Lapuerta, M., Armas, O., & Rodríguez-Fernández, J. (2008). Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34(2), 198–223. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2007.07.001>
- Lapuerta, M., Herreros, J. M., Lyons, L. L., García-Contreras, R., & Briceño, Y. (2008). Effect of the alcohol type used in the production of waste cooking oil biodiesel on diesel performance and emissions. *Fuel*, 87(15), 3161–3169. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.05.013>
- Lapuerta, M., Rodríguez-Fernández, J., & Armas, O. (2010). Correlation for the estimation of the density of fatty acid esters fuels and its implications. A proposed Biodiesel Cetane Index. *Chemistry and Physics of Lipids*, 163(7), 720–727. <https://doi.org/10.1016/j.chemphyslip.2010.06.004>
- Lec. 16 Diesel inj,mixing,combustion.pdf*. (z.d.). Geraadpleegd 1 februari 2021, van <http://web.mit.edu/2.61/www/Lecture%20notes/Lec.%2016%20Diesel%20inj,mixing,combustion.pdf>
- Lee, P. T.-W., Kwon, O. K., & Ruan, X. (2019). Sustainability Challenges in Maritime Transport and Logistics Industry and Its Way Ahead. *Sustainability*, 11(5), 1331. <https://doi.org/10.3390/su11051331>
- M. Mittelbach, & Remschmidt, C. (2004). *Biodiesel: The Comprehensive Handbook* (Boersedruck Ges. M.B.H.).
- Ma, F., & Hanna, M. A. (1999). Biodiesel production: A review1Journal Series #12109, Agricultural Research Division, Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska–Lincoln.1. *Bioresource Technology*, 70(1), 1–15. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00025-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00025-5)
- Millo, F., Debnath, B. K., Vlachos, T., Ciaravino, C., Postrioti, L., & Buitoni, G. (2015). Effects of different biofuels blends on performance and emissions of an automotive diesel engine. *Fuel*, 159, 614–627. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.06.096>
- Nie, K., Xie, F., Wang, F., & Tan, T. (2006). Lipase catalyzed methanolysis to produce biodiesel: Optimization of the biodiesel production. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 43(1), 142–147. <https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2006.07.016>

- Peterson, C. L., Reece, D. L., Thompson, J. C., Beck, S. M., & Chase, C. (1996). Ethyl ester of rapeseed used as a biodiesel fuel—A case study. *Biomass and Bioenergy*, 10(5), 331–336. [https://doi.org/10.1016/0961-9534\(95\)00073-9](https://doi.org/10.1016/0961-9534(95)00073-9)
- Physical properties of fatty acid methyl esters. IV. Ultrasonic sound velocity | SpringerLink.* (z.d.). Geraadpleegd 28 mei 2021, van <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02898122>
- Pinzi, S., Rounce, P., Herreros, J. M., Tsolakis, A., & Pilar Dorado, M. (2013). The effect of biodiesel fatty acid composition on combustion and diesel engine exhaust emissions. *Fuel*, 104, 170–182. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.08.056>
- Plant triacylglycerols as feedstocks for the production of biofuels—Durrett—2008—The Plant Journal—Wiley Online Library.* (z.d.). Geraadpleegd 28 mei 2021, van <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-313X.2008.03442.x>
- Ramos, M. J., Fernández, C. M., Casas, A., Rodríguez, L., & Pérez, Á. (2009). Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties. *Bioresource Technology*, 100(1), 261–268. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.06.039>
- Recent trends and projections in EU greenhouse gas emissions—European Environment Agency.* (z.d.). [Publication]. Geraadpleegd 1 februari 2021, van <https://www.eea.europa.eu/publications/recent-trends-and-projections-in>
- Rounce, P., Tsolakis, A., Leung, P., & York, A. P. E. (2010). A Comparison of Diesel and Biodiesel Emissions Using Dimethyl Carbonate as an Oxygenated Additive. *Energy & Fuels*, 24(9), 4812–4819. <https://doi.org/10.1021/ef100103z>
- Rounce, P., Tsolakis, A., Rodríguez-Fernández, J., York, A. P. E., Cracknell, R. F., & Clark, R. H. (2009). *Diesel Engine Performance and Emissions when First Generation Meets Next Generation Biodiesel* (SAE Technical Paper Nr. 2009-01-1935). SAE International. <https://doi.org/10.4271/2009-01-1935>
- Schönborn, A., Ladommatos, N., Williams, J., Allan, R., & Rogerson, J. (2009). The influence of molecular structure of fatty acid monoalkyl esters on diesel combustion. *Combustion and Flame*, 156(7), 1396–1412. <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2009.03.011>
- Scovronick, N., & Wilkinson, P. (2013). The impact of biofuel-induced food-price inflation on dietary energy demand and dietary greenhouse gas emissions. *Global Environmental Change*, 23(6), 1587–1593. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.09.013>
- Şensöz, S., & Kaynar, İ. (2006). Bio-oil production from soybean (*Glycine max* L.); fuel properties of Bio-oil. *Industrial Crops and Products*, 23(1), 99–105. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2005.04.005>
- Shameer, P. M., Ramesh, K., Purnachandran, R., & Sakthivel, R. (2017). Effects of Injection Timing and Injection Pressure on Biodiesel Fuelled Engine Performance Characteristics: A Review. *Asian Journal of Research in Social Sciences and Humanities*, 7(2), 310. <https://doi.org/10.5958/2249-7315.2017.00093.4>

- Song, M., Duc Pham, H., Seon, J., & Chul Woo, H. (2015). Marine brown algae: A conundrum answer for sustainable biofuels production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 782–792. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.021>
- Tagliapietra, S., Zachmann, G., Edenhofer, O., Glachant, J.-M., Linares, P., & Loeschel, A. (2019). The European union energy transition: Key priorities for the next five years. *Energy Policy*, 132, 950–954. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.06.060>
- Tonini, D., & Astrup, T. (2012). LCA of biomass-based energy systems: A case study for Denmark. *Applied Energy*, 99, 234–246. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.03.006>
- Tsolakis, A., Megaritis, A., Wyszynski, M. L., & Theinnoi, K. (2007). Engine performance and emissions of a diesel engine operating on diesel-RME (rapeseed methyl ester) blends with EGR (exhaust gas recirculation). *Energy*, 32(11), 2072–2080. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2007.05.016>
- van Maanen, P. (z.d.). *Scheepsdieselmotoren* (1e druk). *Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils—Freedman—1984—Journal of the American Oil Chemists' Society—Wiley Online Library*. (z.d.). Geraadpleegd 1 februari 2021, van <https://aocs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1007/BF02541649>
- Xu, B., Luo, L., Wu, J., & Ma, Z. H. (2013). *The Influence of Injection Timing on Emissions Characteristics of a DI Diesel Engine Fuelled with Pistacia Chinensis Bunge Seed Biodiesel*. Advanced Materials Research; Trans Tech Publications Ltd. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.634-638.846>