Tampereen yliopisto

Juho-Verner Hautamäki

BIODIESELIN VAIKUTUKSET MOOTTORIN KULUMISEEN

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Huhtikuu 2025

TIIVISTELMÄ

Juho-Verner Hautamäki: Biodieselin vaikutukset moottorin kulumiseen
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Teknisten tieteiden kandidaattiohjelma, konetekniikka
Huhtikuu 2025

Tämän työn tarkoituksena on tutkia biopohjaisten dieseleiden vaikutuksia dieselmoottorin kulumiseen ja moottorin polttoainejärjestelmän kestävyyteen. Työ on kirjallisuuskatsaus, joka koostuu kolmesta osasta. Ensimmäisessä osassa tarkastellaan FAME-biodieselin (Fatty acid methyl ester) ja HVO:n (Hydrotreated vegetable oil) ominaisuuksia ja valmistusta verrattuna perinteiseen mineraalidieseliin. Toisessa osassa käsitellään dieselmoottorin polttoainejärjestelmää, sen materiaaleja sekä kulumismekanismeja. Lopuksi käsitellään eri biodiesel-polttoaineiden vaikutuksia moottorin kulumiseen.

Biopohjaiset dieselit valmistetaan uusiutuvista ja kierrätettävistä raaka-aineista, kuten kasviöljyistä, eläinrasvoista ja jäteöljyistä. FAME-diesel valmistetaan transesteröintiprosessilla, jossa öljy reagoi alkoholin kanssa. HVO valmistetaan vetykäsittelyllä, jossa raaka-aineesta poistetaan happi ja epäpuhtaudet. FAME-biodiesel sisältää tyydyttymättömiä yhdisteitä, mikä tekee siitä herkemmän hapettumiselle ja kosteuden imeytymiselle, kun taas HVO on stabiilimpi ja sisältää vain parafiinisia hiilivetyjä.

Moottorin kuluminen liittyy mekaanisiin ja kemiallisiin prosesseihin, kuten korroosioon, kitkaan, moottoriöljyn saastumiseen ja polttoaineen muuttuviin ominaisuuksiin. Polttoainejärjestelmän komponentit ovat alttiita kulumiselle biodieseliä käytettäessä, koska biodiesel absorboi vettä ja aiheuttaa korroosiota ja kerrostumia. Tribologiset- ja karstoittumisen ongelmat ovat myös merkittäviä erityisesti pitkäaikaisessa biodieselin käytössä.

Tutkimusten tulokset osoittivat, että eri materiaalit reagoivat eri tavoin biodieselin kanssa. Erityisesti FAME:n korrosoivat ominaisuudet lisäävät korroosiota alumiini- ja kuparikomponenteissa. Yli 20 % FAME:a sisältävien polttoaineseosten käyttö voi vahingoittaa polttoainejärjestelmän komponentteja. HVO:n yhteensopivuus polttoainejärjestelmän materiaalien kanssa on sama kuin mineraalidieselillä niiden kemiallisen koostumuksen samankaltaisuuden takia. FAME:lla havaittiin parempia voiteluominaisuuksia, mutta ne heikkenevät pitkällä aikavälillä. Työn perusteella voidaan todeta, että polttoainejärjestelmän materiaalit sekä moottoriöljyn vaihtoväli täytyy huomioida polttoaineen valinnassa.

Avainsanat: Biodiesel, FAME, HVO, kuluminen, korroosio, voitelu

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

TEKOÄLYN KÄYTTÖ OPINNÄYTTEESSÄ

Opinnäytteessäni on käytetty tekoälysovelluksia:

☐ Ei
☒ Kyllä

Ilmoitukseni mukaan olen käyttänyt opinnäytteessäni tutkielmaprosessin aikana seuraavia tekoälysovelluksia:
Scopus AI, ChatGPT

Tekoälysovellusten nimet ja versiot:
Scopus AI, ChatGPT versio 2

Käyttötarkoitus:
Scopus AI:ta on käytetty lähteiden etsimiseen ja ChatGPT:tä kääntämiseen.

Osiot, joissa tekoälyä on käytetty:
Lähteiden etsiminen ja niiden lukeminen

Olen tietoinen siitä, että olen täysin vastuussa koko opinnäytteeni sisällöstä, mukaan lukien osat, joissa on hyödynnetty tekoälyä, ja hyväksyn vastuun mahdollisista eettisten ohjeiden rikkomuksista.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO 1
2. DIESELTYYPIT JA NIIDEN OMINAISUUDET 2
2.1 Perinteinen diesel 2
2.2 FAME-biodiesel 2
2.3 HVO-uusiutuva diesel 4
3. MOOTTORIN KULUMINEN 6
3.1 Dieseljärjestelmän osat ja materiaalit 6
3.2 Korroosio 7
3.3 Voitelu 8
3.4 Moottoriöljyn heikkeneminen 9
4. BIOPOLTTOAINEIDEN VAIKUTUKSET MOOTTORIN KULUMISEEN 10
4.1 Korroosio 10
4.2 Voitelu 11
4.3 Karstoittuminen 12
4.4 Moottoriöljyn saastuminen 14
4.5 Elastomeerien vahingoittuminen 15
4.5.1 FAME-diesel 15
4.5.2 HVO-diesel 16
5. YHTEENVETO 18
LÄHTEET 19

LYHENTEET JA MERKINNÄT

B100	100 % biodieseliä sisältävä polttoaine
B20	20 % biodieseliä sisältävä polttoaine
CFPP	Cold filter plugging point
CP	Cloud point
DPF	Dieselhiukkassuodatin
EGR	Pakokaasun takaisinkierrätysjärjestelmä
FAME	Rasvahappometyyliesteri
HVO	Vetykäsiteltykasviöljy
NOx	Typpioksidit
POME	Palmuöljymetyyliesteri
RME	Rapsiöljymetyyliesteri
SME	Soijaöljymetyyliesteri
TAN	Total acid number

1. JOHDANTO

Biopolttoaineiden käyttö on lisääntynyt ja siitä on tullut merkittävä aihe maailmanlaajuisen kestävän kehityksen ja ympäristöhaasteiden ratkaisemiseksi. Vaikka biopolttoaineiden käyttö tarjoaa monia ympäristöetuja, niiden vaikutukset dieselmoottoreiden suorituskykyyn ja kulumiseen ovat herättäneet huolta. Dieselmoottorit ovat herkkiä järjestelmiä, joissa polttoaineen ruiskutuksen, palamisen ja voitelun optimoinnilla on keskeinen merkitys moottorin tehokkuudelle, kestävyydelle ja päästöille. Dieselmoottorit ovat alun perin suunniteltu käyvän mineraalidieselillä. Biopolttoaineiden kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet, kuten korkeampi viskositeetti ja hapettumisalttius voivat vaikuttaa merkittävästi moottorin kulumiseen ja sen kriittisiin komponentteihin, erityisesti polttoaineen ruiskutusjärjestelmässä.

Tässä kirjallisuuskatsauksessa perehdytään siihen, miten biopohjaiset dieselpolttoaineet vaikuttavat auton moottorin kulumiseen. Tässä työssä käsittelen kahta erityyppistä biopohjaista dieseliä, jotka ovat FAME ja HVO. Biodieselillä tarkoitetaan ensimmäisen sukupolven biodieseliä eli FAME:a ja uusiutuvalla dieselillä tarkoitetaan HVO:ta. Aihetta tutkitaan teknisestä näkökulmasta keskittyen siihen, miten biopolttoaineet vaikuttavat moottorin eri osien kulumiseen ja kestävyyteen. Tutkimuskysymykset ovat:

- Mitä ovat biopohjaiset dieselit ja miten ne valmistetaan?
- Miten ja miksi moottorin polttoainejärjestelmä kuluu?
- Miten eri materiaalit reagoivat biodieselin kanssa?

Luvussa 2 käsitellään eri dieseltyyppien ominaisuuksia ja valmistusmenetelmiä. Luvussa käydään myös läpi eri polttoainetyyppien standardeja. Luvussa 3 tarkastellaan moottorin kulumismenetelmiä, sekä tarkemmin polttoainejärjestelmää ja sen materiaaleja. Luvussa 4 käsitellään sitä, miten ja miksi biopolttoaineet kuluttavat moottorin eri osia ja materiaaleja.

2. DIESELTYYPIT JA NIIDEN OMINAISUUDET

2.1 Perinteinen diesel

Perinteinen fossiilinen diesel eli mineraalidiesel valmistetaan jalostamalla raakaöljyä tai maakaasua. Standardin SFS-EN 590:n mukaan moottorikäyttöön tarkoitettu diesel saa sisältää enintään 7 % FAME:a ja sen setaaniluvun täytyy olla vähintään 51. Setaaniluku kertoo dieselin syttymisherkkyydestä. Dieselin suodatettavuus kylmässä eli CFPP (engl. Cold filter plugging point) ja samepiste eli CP (engl. Cloud point) on myös määritelty dieselluokan mukaan. CFPP on dieselin alin käyttölämpötila ja CP on lämpötila, jossa parafiinien kiteytyminen alkaa ja diesel muuttuu sameaksi (SFS-EN ISO 5165). Pumppuasemilla jakelussa olevat diesellaadut on määrätty vuodenajan mukaan. Esimerkiksi Suomessa kesällä jaossa olevan dieselin suodatettavuus on enintään -5°C ja talvikautena suodatettavuus ja samepiste ovat -26°C ja -16°C. (SFS-EN 590 2022, s.10)

Mineraalidiesel koostuu pääasiassa hiilivedyistä. Hiilivedyt vastaavat polttoaineen energiasisällöstä ja palamisominaisuuksista. Mineraalidieselillä on alhaisempi viskositeetti ja korkeampi haihtuvuus verrattuna vaihtoehtoisiin polttoaineisiin. Moottoritehon osalta mineraalidiesel tarjoaa yleensä parempia tuloksia erityisesti polttoaineenkulutuksessa ja lämpöhyötysuhteessa verrattuna biodieseliin ja kasviöljyseoksiin. (Agarwal & Dhar 2010)

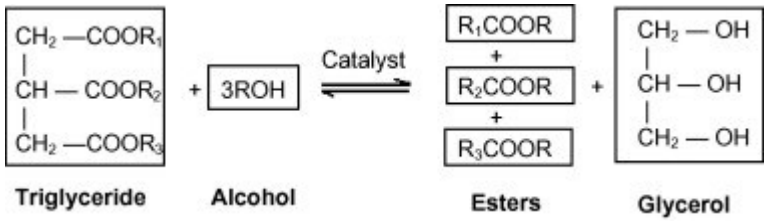
Dieselmoottorit tuottavat hiukkaspäästöjä ja kaasupäästöjä. Hiukkaspäästöt ovat sekoitus hiilipohjaista nokea ja liukoista orgaanista ainesta, joka koostuu hiilivedyistä. Mineraalidieselistä peräisin olevat hiukkaspäästöt sisältävät erilaisia hivenmetalleja, kuten kadmiumia, lyijyä, natriumia, nikkeliä, rautaa, kromia, sinkkiä ja magnesiumia. Esimerkiksi kadmiumia, lyijyä natriumia ja nikkeliä esiintyy mineraalidieselin pakokaasuissa enemmän kuin biodieselseoksissa. Metallit lisäävät päästöjen myrkyllisyyttä ja karsinogeenisuutta. Kaasupäästöjä ovat esimerkiksi typpioksidit (engl. Nitrogen Oxides, NOx). Dieselmoottorit tuottavat huomattavia määriä typpioksideja (NOx), jotka ovat haitallisia saasteita ja edistävät savusumun ja happosateiden muodostumista. NOx-päästöjen määrä vaihtelee moottorin kuormituksen ja polttoaineen mukaan. Dieselmoottorin kaasupäästöihin kuuluu myös hiilidioksidi, hiilimonoksidi ja hiilivety päästöt. (Dwivedi et al. 2006; Fino 2007)

2.2 FAME-biodiesel

FAME biodiesel on perinteistä dieseliä vastaava uusiutuvista raaka-aineista valmistettu polttoaine. Se koostuu rasvahapon metyyliestereistä. (engl. Fatty acid methyl ester).

Niitä saadaan kasviöljyistä, eläinrasvoista tai jäteöljyistä transesteröintiprosessilla. Transesteröintiprosessissa alkoholin orgaaninen ryhmä (alkyyli) korvataan raaka-aineen pääkomponentin, triglyseridin, orgaanisella ryhmällä. Reaktiotuotteina syntyy rasvahappoalkyyliesteriä (biodieseliä) ja raakaglyserolia. (Elgharbawy et al. 2021) FAME-tyyppisissä biodieseleissä esteripitoisuuden tulee olla vähintään 96,5 massaprosenttia (SFS-EN 14214 2013, s.11).

Haseebin (2011) mukaan glyseridit tekevät öljystä paksua ja tahmeaa, jolloin sen viskositeetti on korkeampi. Raaka-aineen eli öljyn viskositeettiä täytyy pienentää, jotta siitä saadaan käyttökelpoista polttoainetta. Puhdas öljy muunnetaan luonnollisesta triglyseridiöljystä kolmeksi erilliseksi pitkäketjuiseksi hiilimolekyyliksi transesteröinnillä. Kuvassa 1 R_1, R_2 ja R_3 edustavat triglyseridin eli valitun öljyn rasvahappojen hiilivetyketjuja. Alkoholilla katalysoidussa prosessissa syntyy estereitä eli FAME:a ja sivutuotteena glyserolia. (Haseeb et al. 2011).



Kuva 1. Transesteröintiprosessi biodieselin (esterin) tuottamiseen öljystä (triglyseridistä) lähteestä (Haseeb et al., 2011)

Prosessissa syntyvillä estereillä on useita lyhenteitä, joilla kuvataan lyhytketjuisia biodieselpolttoaineita, kuten SME (soijaöljymetyyliesteri), RME (rapsiöljymetyyliesteri), POME (palmuöljymetyyliesteri) ja FAME (rasvahappometyyliesteri), joka kattaa monista lähteistä saatavat öljyt. Estereiden kokonaispitoisuus kertoo transesteröintiprosessin täydellisyydestä. Erilaisten biodiesellajien esteripitoisuus riippuu biodieselin valmistuksessa käytetystä raaka-aineesta. (Haseeb et al. 2011)

Transesteröintiprosessi aiheuttaa merkittävän muutoksen kasviöljyn viskositeetissa. Tällä prosessilla tuotettu biodiesel on täysin sekoittuva mineraalidieselin kanssa missä tahansa suhteessa. Leimahduspiste, tiheys, samepiste, setaaniluku ja lämpöarvo ovat hyvin lähellä mineraalidieselin vastaavia arvoja. (Agarwal 2007)

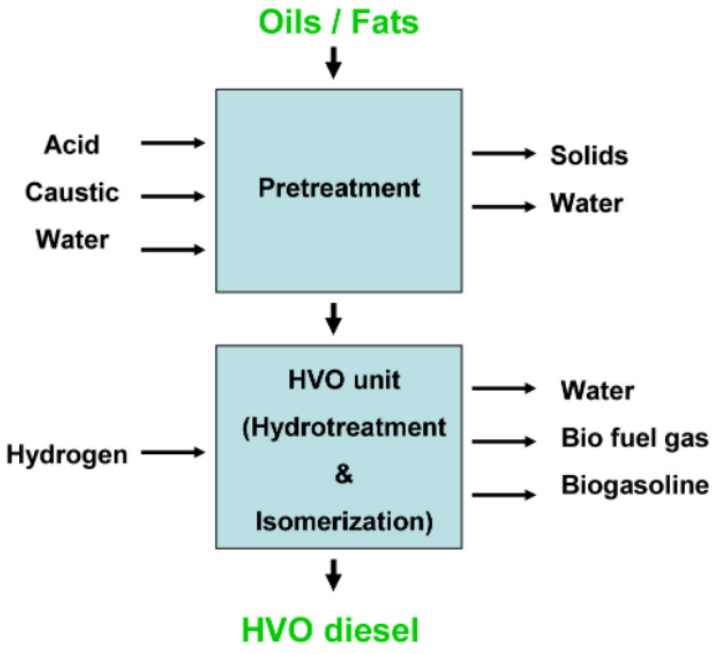
Biodieseliä voidaan käyttää puhtaana (B100) tai eri sekoituksina mineraalidieselin kanssa. Suuret autovalmistajat kuten BMW, Audi ja Mercedes sallivat autoissaan takuunalaisesti enintään 20 % biodieselin (B20) käytön (Alternative Fuels Data Center 2023).

2.3 HVO-uusiutuva diesel

Toinen biodieseltyyppi on vetykäsitelty kasviöljy (engl. Hydrotreated Vegetable Oil, HVO). Nesteen valmistamaa biopohjaista dieseliä kutsutaan uusiutuvaksi dieseliksi. Aikaisemmin sitä kutsuttiin HVO:ksi, mutta raaka-ainepohjan laajennuttua jätteisiin ja tähteisiin, vakiintui nimeksi uusiutuva diesel (Neste 2025). Standardin SFS-EN 15940:n mukaan moottorikäyttöön tarkoitettu uusiutuva diesel saa sisältää enintään 7 %:a FAME:a ja sen setaaniluvun täytyy olla vähintään 70.

HVO on uusiutuva, korkealaatuinen parafiininen diesel, joka vastaa mineraalidieseliä ominaisuuksiltaan. Sitä valmistetaan vetykäsittelemällä biomassapohjaisia raaka-aineita, kuten kasviöljyjä, eläinrasvoja ja jäteöljyjä. Raaka-aineen vaikutus lopputuotteen ominaisuuksiin on hyvin vähäinen. HVO:ta voidaan käyttää suoraan polttoaineena tai seoksena mineraalidieselin kanssa. Sen setaaniluku on erittäin korkea (75–90), sen sisältämien parafiinien ansiosta. (Hartikka et al. 2012; Hemanandh et al. 2025; Pellegrini et al. 2015)

Valmistusprosessit perustuvat raaka-aineessa olevan hapen poistamiseen vedyn avulla. Valmistusprosessi on esitetty kuvassa 2. Valmistusprosessissa raaka-aineesta poistetaan epäpuhtaudet, jonka jälkeen vedyn avulla poistetaan happiatomit katalyyttisellä prosessilla. Tuloksena on puhdasta hiilivetyä, jolla on korkea energiatiheys. Valmistusprosessin toisessa vaiheessa hiilivedyt isomeroidaan ja niiden rakennetta haaroitetaan. Lopputuloksena syntyy korkealaatuinen uusiutuva diesel tarvittavilla ominaisuuksilla. (Hartikka et al. 2012; Neste 2025)



Kuva 2. HVO:n tuottamisprosessi lähteestä (Hartikka et al., 2012)

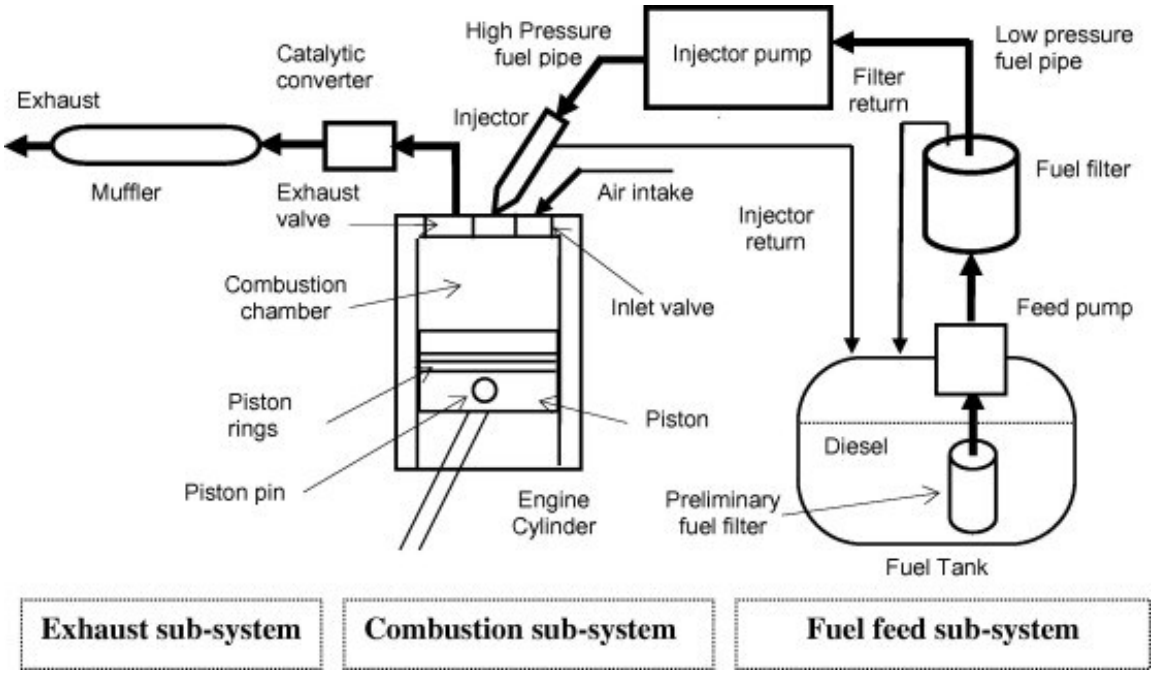
HVO:n kylmäominaisuuksia säädetään isomerointiprosessilla. HVO:ta voidaan tuottaa niin, että sen samepiste on -40 °C tai tarvittaessa jopa alempi. Samaa prosessia on käytetty uusiutuvan lentopolttoaineen valmistuksessa, jossa samepiste voi olla jopa -55 °C. HVO:n CFPP:tä ei voida parantaa jäätymisenestoaineilla, jotka on suunniteltu mineraalidieselille HVO:n kapean hiilijaukaman takia. HVO ei sisällä epäpuhtauksia toisin kuin FAME. Epäpuhtaudet voivat saostua samepisteen yläpuolella ja tukkia polttoainesuodattimet. Raskaan vetykäsittelyprosessin (korkea lämpötila ja vetypaine) ansiosta kaikki kasviöljyt muuttuvat parafiineiksi, eikä reaktiotuotteiksi jää glyseridejä, glyserolia tai vapaita rasvahappoja. (Hartikka et al. 2012)

3. MOOTTORIN KULUMINEN

3.1 Dieseljärjestelmän osat ja materiaalit

Kuvassa 3 dieseljärjestelmän osat ovat jaoteltuina kolmeen systeemiin: syöttöjärjestelmään, puristusjärjestelmään ja pakojärjestelmään. Polttoaineen syöttöjärjestelmä siirtää polttoaineen tankista eri sylinterien suuttimille. Järjestelmä koostuu tankista, esisuodattimesta, syöttöpumpusta, suodattimesta, ruiskutuspumpusta, suuttimista ja liitosputkista. Tankista syöttöpumppu kuljettaa polttoaineen suodattimen kautta ruiskutuspumpulle. Ruiskutuspumppu syöttää dieselin korkeassa paineessa polttoainesuuttimille, jotka ruiskuttavat polttoaineen sylintereihin.

Puristusjärjestelmässä polttoaine palaa palotilassa. Järjestelmä koostuu sylinteristä, sylinterinkannesta, imu- ja pakoventtiileistä, männästä, männänrenkaista, männäntapista ja kiertokangesta. Männän tehtävänä on puristaa ilmaa ja nostaa sen lämpötila yli 500 °C:seen. Männän halkaisija on hieman pienempi kuin sylinterin, mikä mahdollistaa männän liikkumisen ylös ja alas sylinterissä. Männän ja sylinterin seinämän välin tiivistämiseksi männän ympärille asennetaan männänrenkaat, jotka on yhdestä kohdasta katkaistu. Moottorin pakokaasujärjestelmä koostuu pakosarjasta, katalysaattorista ja äänenvaimentimesta. Palamisen jälkeen pakokaasut virtaavat katalysaattorin ja äänenvaimentimen läpi. Katalysaattori muuntaa suurimman osan pakokaasujen saasteista vaarattomiksi aineiksi ja äänenvaimennin vaimentaa moottorin tuottamaa ääntä.



Kuva 3. Dieseljärjestelmän osat lähteestä (Haseeb et al. 2011)

Autojen polttoainejärjestelmässä on monenlaisia materiaaleja sisältäviä osia. Haseebin et al. (2011) mukaan nämä voidaan luokitella kolmeen kategoriaan:

- rautaa sisältävät metalliseokset, kuten teräs ja valurauta
- rautaa sisältämättömät metalliseokset, kuten alumiini ja kupariseokset
- elastomeerit eli elastiset polymeerit, kuten muovit ja kumiosat.

Biodieselillä on erilaiset kemialliset ominaisuudet kuin perinteisellä mineraalidieselillä, joten se reagoi järjestelmän kanssa eri tavalla. Biodiesel voi aiheuttaa korroosiota ja tribologisia ongelmia metallisille osille. Tribologisilla ominaisuuksilla tarkoitetaan voitelun ja kitkan vaikutuksia mekaanisissa järjestelmissä. Muoviosat sen sijaan voivat kulua enemmän biodieseliä käytettäessä. Polttoaineen virratessa eri järjestelmien läpi se on kosketuksissa näiden osien kanssa eri lämpötilassa, paineessa, nopeudessa ja olomuodossa aiheuttaen osille korroosiota ja kulumista. (Haseeb et al. 2011) Näitä vaikutuksia käsitellään tarkemmin luvussa 4.

3.2 Korroosio

Korroosio on ympäristön aiheuttamaa metallin syöpymistä. Se voi olla joko kemiallista tai elektrokemiallista. Yleisesti tiedetään, että biodiesel on syövyttävämpää kuin mineraalidiesel. Biodieselin korroosiovaikutukset ovat erittäin tärkeitä moottorin osien pitkäaikaisen kestävyyden kannalta. Metallien korroosio tietyssä osassa voi myös laukaista tai katalysoida muita ei-toivottuja reaktioita, jotka johtavat biodieselin epävakauteen ja hajoamiseen. (Haseeb et al. 2011)

Korroosio ja kuluminen ovat yhteydessä toisiinsa. Jos polttoaineen ruiskutusjärjestelmässä esiintyy korroosiota, se voi lisätä kulumisnopeutta ja päinvastoin. Kulumista tapahtuu aina ruiskutusjärjestelmän liukupinnoilla, mutta korroosiota syntyy, kun järjestelmän metalliosat joutuvat elektrokemiallisiin tai kemiallisiin reaktioihin. Kun ruiskutusjärjestelmän komponentit joutuvat kosketuksiin biodieselin kanssa, voi tapahtua metallin kulumista. Se voi tapahtua yhdellä tai useammalla tavalla, kuten korroosiolla, naarmuuntumisella, hankauksella, tartunnalla tai lisäaineiden häviämisellä. Metallin kuluminen näkyy komponenttien mittojen menetyksenä. Korroosiota voi tapahtua kaikissa metallisissa osissa. Sen vakavuus vaihtelee eri metallien välillä riippuen polttoaineiden hapettumiskyvystä ja ympäristöolosuhteista, kuten lämpötilasta ja kosteudesta. (Reddy et al. 2016)

Tribologiset vuorovaikutukset vaikuttavat merkittävästi polttoainejärjestelmän-komponenttien kulumiseen ja painonmenetykseen. Myös testausolosuhteilla on suuri vaikutus tribologisiin tutkimuksiin. Polttoaineen ruiskutusjärjestelmä on keskeinen kokonaisuus

moottorissa. Se ohjaa polttoaineen ruiskutusta, ilman ottoa ja palamista. Polttoainejärjestelmän toiminta moottorissa on verrattavissa ihmisen sydämen toimintaan, koska se hallitsee polttoaineen virtausta kaikissa moottorin käyttöolosuhteissa. Sen merkitys korostuu siinä, että jopa pieni kuluminen, vika tai painonmenetys komponenteissa voi aiheuttaa merkittävän ja hyväksymättömän päästöjen kasvun ja tehon laskun. Polttoainejärjestelmän päätehtävä on annostella ruiskutettava polttoainemäärä ja hallita tarkasti ruiskutusajankohtaa. Kriittisin kuluva komponentti on suuttimen neula, koska se osuu jatkuvasti korkealla taajuudella suuttimen istukkaan. Sen kuluminen johtaa huonoon polttoaineen annosteluun, suuttimen tiputteluun ja suurempaan tukkeutumisriskiin. (Reddy et al. 2016)

3.3 Voitelu

Moottoreissa on paljon metalli vasten metallia toimivia osia, jotka tarvitsevat voitelua toimiakseen. Polttoaineen täytyy voidella niitä komponentteja, joiden kanssa se on kosketuksessa. Polttoainepumput ja suuttimet ovat komponentteja, jotka vaativat voitelua tai ne hajoavat. (PCS Instruments 2024) Voiteluominaisuudet johtuvat polttoaineessa olevista yhdisteistä. Ennen diesel sisälsi korkean pitoisuuden rikkiä, joka voiteli tarvittavat osat. Polttoaineen rikkipitoisuutta koskevien lainsäädännöllisten rajoituksien vuoksi öljyyhtiöt ovat tehneet suuria investointeja kompensoidakseen polttoaineen voiteluominaisuuksien heikkenemisen. Tämä puolestaan nostaa lopullisten öljytuotteiden hintaa. (Reddy et al. 2016)

Ilman dieselin voiteluominaisuuksia polttoainejärjestelmän osat ovat alttiimpia ongelmille, kuten leikkaantumiselle ja mikropittingille. Leikkaantumisella tarkoitetaan voitelukalvojen hajoamista, mikä lisää kitkaa ja kulumista, kun taas mikropittingissä metallipinnoille syntyy pieniä kuoppia tai painaumia jatkuvan rasituksen ja riittämättömän voitelun vuoksi. Molemmat ilmiöt voivat nopeuttaa moottorin osien kulumista ja heikentää suorituskykyä kokonaisuudessaan. Dieselmoottoreissa polttoaineen täytyy voidella paremmin kuin bensamoottoreissa korkeampien paineiden ja lämpötilojen takia. (PCS Instruments 2024)

Biodiesel ei tarvitse voitelua parantavia lisäaineita sen kemiallisten ominaisuuksien ansiosta. Rasvahappometyyliestereerit, vapaat rasvahapot ja monoglyserit parantavat biodieselin voiteluominaisuuksia. (Peng 2015) Biodieseliä voidaan käyttää dieselmoottoreissa ilman teknisiä muutoksia. Moottorin suorituskyky on suoraan sidoksissa käytetyn polttoaineen laatuun ja ominaisuuksiin. (Çetinkaya et al. 2005; Agarwal 2007)

3.4 Moottoriöljyn heikkeneminen

Moottoriöljyn voitelukyky vähenee saastumisen takia. Saastumia moottoriöljyssä on erilaisia, kuten metallipartikkelit, noki, pakokaasu, polttoaine, vesi ja pöly. Mikäli polttoaine sisältää alkoholia, se poistaa moottoriöljystä voitelua parantavia lisäaineita ja vähentää sen kykyä vastustaa hapettumista. (Kurre et al. 2017)

Noki on mikroskooppinen hiilipitoinen hiukkanen, joka syntyy hiilivetyjen epätäydellisessä palamisessa. Se on peräisin dieselin hiilestä. Noen molekyylirakenteen takia se kerääntyy yhteen muiden aineiden kanssa moottorin osiin muodostaen suurempia nokihiukkasia. Noen sekoittuessa moottoriöljyn kanssa öljyn viskositeetti kasvaa, jolloin siitä tulee paksumpaa ja se voi lisätä moottorin kulumista. Moottoriöljyn saastuminen noella voi johtaa myös pumpattavuusongelmiin. (Kurre et al. 2017)

Pakokaasun takaisinkierrätysjärjestelmää (engl. Exhaust gas recirculation, EGR) käytetään moottorin typen oksidipäästöjen hallintaan. EGR-järjestelmässä osa pakokaasusta kierrätetään takaisin imusarjaan, mikä johtaa sylinterin lämpötilan laskuun ja vähentää näin typen oksideja päästöissä. Järjestelmä kuitenkin lisää hiukkaspäästöjä ja noen määrää moottorissa. (Kurre et al. 2017)

Dieselhiukkassuodatin (engl. Diesel particulate filter, DPF) kerää pakokaasun hiukkaspäästöjä. DPF-suodattimet vaativat säännöllistä puhdistusta, jotta suodattimeen kerääntynyt noki saadaan poistettua. Noki hapetetaan eli poltetaan nostamalla pakokaasun lämpötila yli 500 °C. Toimenpidettä kutsutaan regeneroinniksi ja se voidaan tehdä sähköisellä lämmittimellä tai yleisemmin käyttäen dieseliä. Dieseliä ruiskutetaan pakoputkeen käyttämällä jälkiruiskutusta tai erillistä suutinta. (Hartikka et al. 2012)

4. BIOPOLTTOAINEIDEN VAIKUTUKSET MOOTTORIN KULUMISEEN

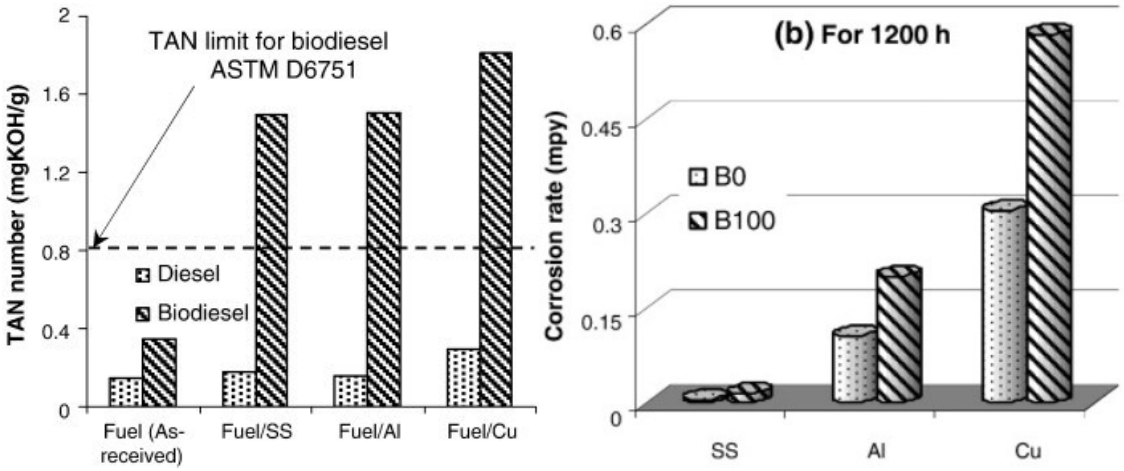
Biodiesel voi merkittävästi vaikuttaa voiteluparametreihin, erilaisten moottorin osien kulumiseen, karstan eli hiilikerrostumien muodostumiseen ja vastaaviin ilmiöihin. Biodieselin vaikutukset tribologisiin ominaisuuksiin riippuvat siitä, mistä raaka-aineesta ja millä tavalla se on tehty. FAME:n tietyt ominaisuudet, kuten korkeampi viskositeetti, alhaisempi haihtuvuus ja tyydyttymättömien hiilivetyketjujen reaktiivisuus voivat johtaa erilaisiin ongelmiin. Näitä ongelmia biodieselin pitkäaikaisessa käytössä ovat esimerkiksi suuttimien tukkeutuminen, karstoittuminen, männänrenkaiden juuttuminen ja moottoriöljyn saastuminen. (Pehan et al. 2009) Seuraavaksi käydään läpi tarkemmin näitä ongelmia.

4.1 Korroosio

Korroosio johtuu biodieselin happiryhmien sisältämästä hapesta, biopolttoaineiden hygroskooppisesta luonteesta, vapaiden rasvahappojen esiintymisestä ja tyydyttymättömyydestä. (Reddy et al., 2016) Biodiesel hapettuu herkästi altistuessaan ilmalle sekä varastointiolosuhteille, mikä riippuu rasvahappojen tyydyttymättömyysasteesta. Hapettuessaan biodiesel muodostaa hydroperoksideja rasvahappojen tyydyttymättömille kohdille. Nämä hydroperoksidit hajoavat myöhemmin aldehydeiksi, ketoneiksi ja lyhyemmiksi karboksyylihappoketjuiksi. Hapettuminen voi myös voimistaa sen syövyttäviä ominaisuuksia ja heikentää polttoaineen ominaisuuksia. (Knothe & Steidley 2005)

Biodieselistä tulee syövyttävämpää, jos siinä on vapaata vettä ja vapaita rasvahappoja. Mineraalidieseliin verrattuna, biodiesel on alttiimpi imemään vettä, joka tiivistyy metallipinnoille ja voi aiheuttaa lisääntynyttä korroosiota. Biodiesel hajoaa varastoinnin tai käytön aikana hapettumisen, kosteuden imeytymisen, mikro-organismien hyökkäysten jne. seurauksena. Mahdollisia ongelmia ovat metallien syövyttäminen ja samalla biodieselin ominaisuuksien heikkeneminen. Polttoaineen hajoaminen metallikontaktin takia voi myös vaihdella metallista toiseen. Eri metallien altistuminen biodieselille voi aiheuttaa liuenneen hapen syövyttävyyden pahenemisen eri tasoilla. Ilmiön selittäminen on hyvin monimutkaista, sillä siinä on mukana useita tekijöitä kuten muutokset TAN-arvossa, veden määrä, hapettumistuotteet, metallihiukkasten läsnäolo sekä biodieselin komponenttien rakenteelliset muutokset. TAN-arvo (engl. Total acid number) kuvaa biodieselin happamuutta. Happamampi biodiesel on syövyttävämpää eli korrosoivempaa. Polttoaineella on siis selvä rooli eri metallien korroosiokäyttäytymistä. (Fazal et al. 2011)

Haseebin et al. (2010) tutkimustulosten perusteella kupari ja lyijypinnoitettu pronssi osoittivat suurempaa korroosioastetta biodieselissä verrattuna mineraalidieseliin. Biodieselin altistaminen kuparille tai lyijypinnoitetulle pronssille aiheutti sen merkittävää heikkenemistä, mikä näkyi kohonneena TAN-arvona ja hapettumisnopeuden ja veden lisääntymisenä. Kuvassa 4 on tulokset Fazalin et al. (2011) testistä, jossa mineraalidieseliin ja B100-biodieseliin upotettiin eri metalleja. Testimetalleja olivat kupari (Cu), alumiini (Al) ja ruostumaton teräs (SS). Upotus tehtiin 80 °C lämpötilassa ja se kesti 1200 h. Testin aikana polttoaineita sekoitettiin jatkuvasti.



Kuva 4. Polttoaineen TAN-arvot ja metallien korroosioasteet testin jälkeen lähteestä (Fazal et al. 2011)

Alumiinille ja kuparille altistuneen biodieselin TAN-arvon muutokset ovat lähes samanlaisia riippumatta niiden syövyttävyydestä. Toisin sanoen upotuksen myötä happoluku kasvaa molemmilla metalleilla samanlaisella trendillä, vaikka eri metallien korroosioaste vaihtelee. Tämä viittaa siihen, että metallin omat ominaisuudet vaikuttavat polttoaineen syövyttävyyteen. Kuvasta 4 nähdään myös se, että kuparille altistuneen biodieselin TAN-arvo on suhteellisen korkeampi kuin muiden. Tästä voidaan päätellä, että kupari toimii vahvana katalyyttinä biodieselin hapettumisessa. On huomattava, että ero ruostumattomalle teräkselle ja kuparille altistuneen biodieselin TAN-arvojen välillä on hyvin pieni, mutta niiden vastaavat korroosioasteet eroavat huomattavasti. Tämä viittaa siihen, ettei happoluvun muutoksen ja polttoaineen syövyttävyyden välillä ole vahvaa korrelaatiota. (Fazal et al. 2011)

4.2 Voitelu

Biodiesel on syövyttävämpää kuin mineraalidiesel, mutta sen voiteluominaisuudet ovat paremmat. Tutkimuksissa on raportoitu, että metyyliesterit ja monoglyseridit ovat kaksi merkittävintä tekijää, jotka vastaavat biodieselin voiteluominaisuuksista. Kirjallisuudessa

on todettu, että mitä korkeampi biodieselin viskositeetti on, sitä paremmat ovat sen voiteluominaisuudet. Kuitenkin korkeampi viskositeetti heikentää myös polttoaineen atomisoitumista, mikä puolestaan vaikuttaa polttoaineen ruiskutusjärjestelmään haitallisesti. Kasviöljyt ja eläinrasvat koostuvat pääasiassa triglyseridеistä, jotka ovat ensisijaisesti vastuussa kitkan ja kulumisen vähentämisestä. Biodieselin käyttö parantaa polttoaineen voitelukykyä ja vähentää moottorin kulumista. Suuremmat sekoitukset voivat kuitenkin aiheuttaa operatiivisia ongelmia, kuten huonoa palamista ja lisääntyneitä päästöjä. (Reddy et al. 2016)

Pitkäkestoisessa 250 tunnin testissä on tutkittu polttoaineen ruiskutusjärjestelmän kulumista käytettäessä biodieseliä. Kokeellisessa tutkimuksessa tutkittiin erilaisten testipolttoaineiden vaikutusta kriittisten polttoainejärjestelmän komponenttien mittojen pienenemiseen, painon menetykseen ja pinnan muutoksiin. Biodieselin parempi voitelukyky johtuu muun muassa, vapaista rasvahapoista, happipitoisista molekyyleistä, pitkäketjuisista molekyyleistä, estereiden molekyylipolariteetista, viskositeetista, hapettuvasta luonteesta ja triglyseridеistä. Voitelukyky heikkenee biodieselin hajotessa. Se voi johtua, kosteuden imeytymisestä, hapettumisesta, saostumien muodostumisesta, korroosiosta, epäpuhtauksista, korkeista lämpötiloista ja viskositeetin laskemisesta. (Reddy et al. 2016)

Testipolttoaineina käytettiin biodieselin 5 ja 20 %:n seoksia mineraalidieselin kanssa. Käytettäessä B20 seosta, polttoainejärjestelmän komponenttien vahingoittuminen ja kuluminen oli vähäisintä. Mineraalidieseliä käytettäessä, komponentit kuluivat eniten. Komponenttien kuluminen johtui ensisijaisesti mekaanisista jännityksistä, lämpörasituksesta ja testipolttoaineiden kemiallisesta reaktiivisuudesta. Polttoaineet, joilla oli alhaisempi voitelukyky, aiheuttivat enemmän kulumista liukupinnoilla. Matalan rikkipitoisuuden sisältämillä polttoaineilla oli huonompi voitelukyky, mikä lisäsi metalliosien kulumista. (Dhar & Agarwal 2014; Reddy et al. 2016)

HVO-diesel tarvitsee lisäaineita tarvittavan voitelukyvyn saavuttamiseksi. Ilman lisäaineita HVO:n voitelukyky on riittämätön, jolloin se vastaa rikkivapaan mineraalidieselin talvilaadun voitelukykyä. Mineraalidieselin kanssa käytettyjä voitelua parantavia lisäaineita voidaan käyttää HVO:n kanssa. Lisäaineiden tarvittava määrä on sama kuin mineraalidieselin kanssa. (Hartikka et al. 2012)

4.3 Karstoittuminen

Pehanin et al. (2009) tutkimuksessa käsitellään biodieselin käyttöä linja-auton dieselmoottorissa, jossa on mekaanisesti ohjattu polttoaineen ruiskutusjärjestelmä. Tarkastelu

keskittyy polttoainepumpun pintojen ja hiilikerrostumien vaikutuksiin kriittisimmissä osissa. B100:n käyttö lisäsi pumpun männän pinnan karheutta. Palotilojen hiilikerrostumat ovat melko samanlaisia käytettäessä mineraalidieseliä tai B100-biodieseliä. Hiilikerrostumat muodostuivat eri paikkoihin palotilassa, mikä johtuu todennäköisesti biodieselin korkeammasta viskositeetista ja suuresta molekyylipainosta, mikä vaikuttaa ruiskutusominaisuuksiin. Agarwal (2007) selittää biodieselin ruiskutusominaisuuksia sen heikolla atomisaatiolla, jonka vuoksi pisarat ovat suurempia. Polttoainesuihku muodostuu usein kiinteäksi virtaukseksi pienten pisaroiden suihkun sijaan, joten polttoaine ei sekoitu palamiseen tarvittavan ilman kanssa. HVO:ta käytettäessä ongelmaa ei ole, sillä sen pisarakoko ja ruiskutuskäyttäminen on samanlaista kuin mineraalidieseliä käytettäessä (Hartikka et al. 2012).

Dharin ja Agrawalin (2014) tutkimuksessa selvitettiin kasvipohjaisen B20:n vaikutusta moottorin kulumiseen ja kestävyyteen 250 tunnin testissä. Vertailu polttoaineena oli mineraalidiesel. Moottorin komponenttien visuaalinen tarkastus osoitti, että biodieselkäyttöisessä moottorissa oli enemmän hiilikerrostumia männän päällä, sylinterinkannessa ja suuttimen kärjessä. Biodieselmoottorin männän hiilikerrostumien massa oli myös suurempi kuin mineraalidieselillä käyneessä moottorissa. Komponenttien fyysinen kulumismittaus osoitti, että venttiilien, männän, männänrenkaiden, sylinterin ja kiertokankien pienten laakereiden kuluminen oli vähäisempää biodieseliä käytettäessä. Sen sijaan kiertokankien alapään laakereiden, kampiakselin tappien ja runkolaakereiden kuluminen oli suurempaa B20 biodieseliä käytettäessä. Sylinterin seinämien kulumisen tarkastelu osoitti, että sylinterien pinnan rakenne pysyi hyväksyttävässä kunnossa molemmilla polttoaineilla testin jälkeen. Toiminnallisia ongelmia ei havaittu testin aikana. Näin ollen 20 %:n tai pienempää biodieselmäärää voidaan käyttää muokkaamattomissa dieselmoottoreissa. (Dhar & Agarwal 2014)

Çetinkayan et al. (2005) tutkimuksessa käytetystä paistoöljystä valmistetun biodieselin vaikutuksia moottoriin ja ajosuorituskykyyn arvioitiin Renault Megane -autossa talvi- ja kesäolosuhteissa. Ajotesti oli 7500 km:n pituinen ja tuloksia verrattiin mineraalidieseliin. Talviolosuhteissa biodieseliä käytätettäessä havaittiin suuttimissa liiallista karstoittumista, mikä johtui riittämättömästä palamisesta. Kesäkaudella suuttimet havaittiin puhtaammiksi, mikä todennäköisesti johtui biodieselin alhaisemmasta viskositeetista korkeammissa lämpötiloissa. Sylinterien ja mäntien pinnoilla ei havaittu karstoittumista. Katalysaattori oli talvikauden aikana tukkeutunut viskositeetin vuoksi, mutta kesäkaudella katalysaattorin kanssa ei havaittu ongelmia.

4.4 Moottoriöljyn saastuminen

Kurren et al. (2017) tutkimus moottoriöljyn saastumisesta noen takia osoittaa, että biodieselin käyttö dieselmoottorissa vähentää moottoriöljyn noen määrää, mikä johtaa vähäisempään moottorin osien kulumiseen. Kasviöljystä valmistetun biodieselin matalan palamislämpötilan, alhaisen kiehumispisteen ja hitaan palamisen vuoksi sylinterin lämpötila alenee, mikä vähentää moottorin nokipäästöjä. Noen muodostuminen riippuu ilman eli hapen ja polttoaineen seossuhteesta sekä lämpötilasta. Polttoaineen palaminen ilman riittävää happea muodostaa nokea. Biodieselin korkeampi happipitoisuus edistää noen hiukkasten hapettumista, jolloin nokea muodostuu vähemmän. Kun moottorissa käytetään biodieseliä, palamisessa syntyy vähemmän nokea ja hiiltä, mikä vähentää moottoriöljyn noen saastumista. Noen määrä moottoriöljyssä on huomattavasti pienempi B20 biodieseliä käyttävissä moottoreissa verrattuna mineraalidieselillä käyviin moottoreihin. Biodieselin käyttö vähentää noen muodostumista riippumatta sen valmistuksessa käytetystä raaka-aineesta.

Moottoriöljyn laimentuminen on ongelma erityisesti autoissa, joiden moottorit käyttävät jälkiruiskutusta DPF:n regenerointiin. Polttoainetta joutuu öljyn sekaan, kun sen korkean kiehumispisteen komponentit, pääasiassa FAME:n lisäämisen vuoksi, eivät haihdu ja nestemäinen polttoaine osuu sylinterin seiniin myöhäisen jälkiruiskutuksen aikana. Moottoriöljyn seassa FAME aiheuttaa öljyn heikkenemistä hapettumisen ja kasvaneen TAN-arvon vuoksi. FAME ei myöskään pysty haihtumaan pois öljyn seasta sen korkean kiehumispisteen vuoksi. (Hartikka et al. 2012) Moottoriöljyn vaihtoväliin kannattaa siis kiinnittää huomiota ja mahdollisesti lyhentää sitä autoissa, joissa on kyseinen järjestelmä.

HVO:lla on kapea tislausalue eli sen sisältämien yhdisteiden kiehumispisteet ovat lähellä toisiaan. HVO:n tislausalue on huomattavasti kapeampi ja sen kiehumispiste on matalampi, kuin FAME:lla. Näiden ominaisuuksien ansiosta HVO:ta käytettäessä polttoainetta joutuu vähemmän moottoriöljyn sekaan ja sekoittuneen HVO:n haihtumisnopeus on suurempi. Koska HVO koostuu vain reagoimattomista parafiinisista hiilivedyistä, se ei aiheuta kemiallista yhteensopimattomuutta moottoriöljyn kanssa. (Hartikka et al. 2012) Kaupunkibussien kenttäkokeet osoittivat, että moottoriöljyn laimentuminen, TAN-arvo ja käytetyn öljyn viskositeetti olivat samalla tasolla 100 % HVO:lla ja EN590-dieselillä ilman FAME:a (Nylund et al. 2011).

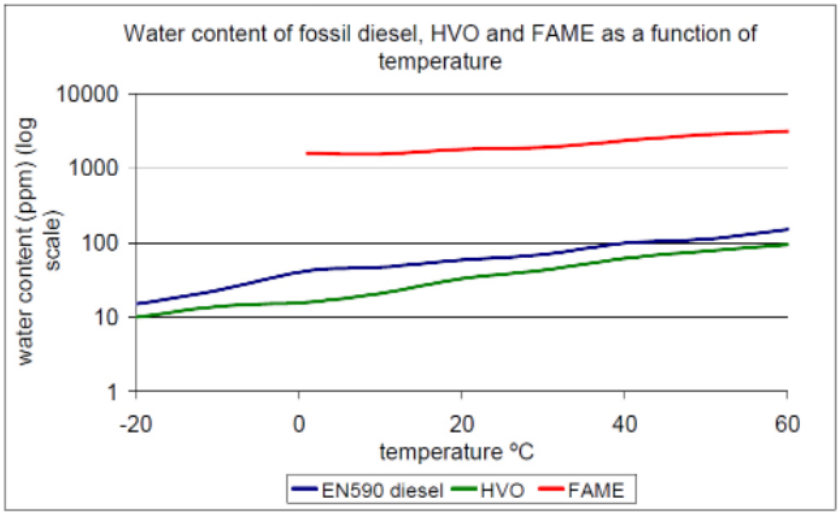
4.5 Elastomeerien vahingoittuminen

Auton polttoainejärjestelmissä yleisesti käytettyjen tiivisteiden ja letkujen materiaalien yhteensopivuus mineraalidieselin kanssa on ollut pitkään vakiintunut. Sen sijaan polttoainejärjestelmän elastomeerien yhteensopivuudesta biodieselin kanssa on saatavilla vähemmän tietoa. Mineraalidieselillä ja biodieselillä on hyvin erilaiset kemialliset rakenteet, ja ne vaikuttavat elastomeereihin eri tavoin. FAME- ja HVO-dieseleillä on erilaiset kemialliset ominaisuudet, joten niiden vaikutukset elastomeereihin käsitellään erillisinä alalukuina.

4.5.1 FAME-diesel

Komariahin et al. (2019) mukaan elastomeerit hajoavat huomattavasti enemmän biodieselissä, kuin mineraalidieselissä. Hajoamiselle on useita syitä, kuten B100:n korkea happipitoisuus, jonka vuoksi biodiesel hajottaa ja hapettaa elastomeerejä. Biodieselin hapettumisen aikana muodostuneet hydroperoksidit ovat epästabiileja ja kuluttavat elastomeerisia materiaaleja. Yli B20 sekoituksen käyttö voi vahingoittaa polttoainejärjestelmän komponentteja, kuten letkuja ja pumppujen tiivisteitä, koska ne sisältävät biodieselin kanssa yhteensopimattomia elastomeerejä (Silveira 2015). Biodieselin aiheuttaman turpoamisen lisäksi se voi aiheuttaa myös rakenteellisia muutoksia tilavuudessa ja massassa sekä muutoksia mekaanisissa ominaisuuksissa, kuten venyvyydessä, kovuudessa ja vetolujuudessa polymeereissä (Komariah et al. 2019).

Toinen tekijä, joka voi edistää biodieselin aiheuttamaa elastomeerimateriaalien heikkenemistä on happamuus. Veden läsnäolo biodieselissä ja vapaat rasvahapot, joita löytyy biodieselin sisältämistä triglyserideistä aiheuttavat happamuutta. Biodiesel on hydroskooppista eli se vetää puoleensa vettä. Kun biodiesel joutuu kosketuksiin veden kanssa, se voi hydrolysoitua ja muodostaa erilaisia orgaanisia happoja, jotka osittain aiheuttavat sen yhteensopivuusongelmia eri elastomeerien ja metallien kanssa. Ylimääräinen vesipitoisuus biodieselissä aiheuttaa hydrolyysireaktioiden lisääntymistä. Myös valmistusprosessista peräisin olevien emäksien läsnäolo voi lisätä vapaiden rasvahappojen muodostumista biodieselissä ja lisätä biodieselin vesipitoisuutta. (Komariah et al. 2019) Kuvassa 5 on esitetty veden kyky liueta eri polttoaineisiin eri lämpötiloissa. Kuvaajasta nähdään, että veden liukoisuus FAME:en on noin 100 kertainen verrattuna HVO:hon tai mineraalidieseliin lämpötilan ollessa 0 °C.



Kuva 5. Veden liukoisuus mineraalidieseliin, HVO:hon ja FAME:en eri lämpötiloissa lähteestä (Hartikka et al. 2012)

4.5.2 HVO-diesel

HVO-dieselin fyysiset ja kemialliset ominaisuudet vastaavat mineraalidieselin ominaisuuksia, joten polttoainejärjestelmän materiaalit ovat yhteensopivia HVO:n kanssa (Nylund et al. 2011; Paasi et al. 2008). Parafiinisen koostumuksen ja ei-polaarisen luonteensa vuoksi HVO hylkii vettä. Veden erottuminen tapahtuu paremmin kuin fossiilisilla dieselpolttoaineilla ja huomattavasti paremmin kuin FAME:lla tai FAME:a sisältävillä dieselpolttoaineilla. Polttoaineeseen liuenneen veden määrän minimointi on erittäin tärkeää erityisesti kylmän talvikauden aikana, jolloin jäätynyt vesi aiheuttaa ongelmia. (Hartikka et al. 2012) HVO ei sisällä lainkaan kaksoissidoksia, toisin kuin FAME, eikä näin ollen omaa vastaavia reaktiivisia ominaisuuksia. Tämän seurauksena sillä on hyvä hapettumiskestävyys. Kenttäkokeiden ja pitkäaikaisten varastointitestien perusteella voidaan todeta, että HVO:n vakaus on erittäin hyvä, myös ankarissa talviolosuhteissa. (Nylund et al. 2011)

Hartikan et al. (2012) mukaan kumiosien turpoamien riippuu polttoaineen aromaattisten yhdisteiden määrästä, joita HVO:ssa ei ole. Müllerin et al. (2024) tutkimuksessa upotettiin elastomeereista valmistettuja O-renkaita eri polttoaineisiin, tavoitteena selvittää polttoaineiden yhteensopivuutta. Upotusjakso vaihteli 0,9–15,2 kuukauden välillä. Sen aikana polttoaineen havaittiin heikentävän O-renkaiden mekaanisia ominaisuuksia. Hajoamisprosessin ajallinen kehitys ei ollut selvästi havaittavissa, mutta yksittäisillä testipolttoaineilla oli merkittävä vaikutus O-renkaiden mekaanisiin ominaisuuksiin. Merkittäviä muutoksia havaittiin jo lyhyen upotuksen jälkeen, esimerkiksi 0,9 kuukauden kohdalla

O-renkaiden turpoamista havaittiin, jolloin myös niiden massa kasvoi. HVO- ja mineraalidieseliin upotetut O-renkaat turposivat vähiten. Kokeelliset tulokset osoittivat, että elastomeerirenkaat menettivät vetolujuuttaan ja murtovenymä pieneni polttoaineisiin upotuksen jälkeen. HVO-diesel ei heikentänyt merkittävästi elastomeeristen O-renkaiden kuntoa.

5. YHTEENVETO

Tutkielmassa perehdyttiin kirjallisuuskatsauksen muodossa erityyppisten biopohjaisten polttoaineiden vaikutuksiin dieselmoottorin kulumisessa. Tavoitteena oli selvittää miten erilaiset biopohjaiset dieselit vaikuttavat moottorin komponenttien kulumiseen ja pitkän aikavälin kestävyyteen verrattuna perinteiseen mineraalidieseliin. Dieselmoottorin kuluminen on monisyinen prosessi, johon vaikuttaa polttoaineen kemialliset ominaisuudet, moottorin materiaalit sekä niiden vuorovaikutus polttoaineen kanssa.

Työssä käytiin läpi dieselpolttoaineiden ominaisuuksia, ja erityisesti FAME:n ja HVO:n eroavaisuudet nostettiin esiin. FAME-pohjainen biodiesel on herkempi hapettumiselle ja kosteuden imeytymiselle, mikä lisää moottorin komponenttien korroosiota ja kulumista. Toisaalta sen voiteluominaisuudet ovat paremmat kuin mineraalidieselillä, mikä vähentää kitkaa ja kulumista. HVO-diesel puolestaan tarjoaa paremman hapettumisstabiilisuuden ja pienemmän kosteuden imeytymisen. HVO-dieselin ominaisuudet ovat hyvin lähellä mineraalidieselin ominaisuuksia, joten merkittäviä ongelmia ei löydetty.

Työn tavoite saavutettiin, sillä työssä selvisi miten biopohjaiset dieselit eroavat toisistaan ja mineraalidieselistä. Niiden valmistusmenetelmät ja kemialliset ominaisuudet selvitettiin. Materiaalista yhteensopivuutta tutkittiin ja selvisi että kupari ja alumiini syöpyvät biodieselin vaikutuksesta. Työssä selvisi myös biodieselin palamisessa huomioitavia asioita, kuten kylmän vaikutus huonomman palamisen kautta karstoittumiseen. Moottoriöljyn saastuminen on myös merkittävä riski biodieseliä käytettäessä, varsinkin jälkiruiskutusta käyttävillä autoissa. Moottoriöljyn vaihtoväliä kannattaa lyhentää, mikäli käyttää FAME-tyypin biodieseliä.

LÄHTEET

[1] Agarwal, A. K. (2007). Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. Progress in Energy and Combustion Science, vol.33(3), pp. 233–271. https://doi.org/10.1016/j.pecs.2006.08.003

[2] Agarwal, A. K., & Dhar, A. (2010). Karanja oil utilization in a direct-injection engine by preheating. Part 1: Experimental investigations of engine performance, emissions, and combustion characteristics. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, vol.224(1), pp. 73–84. https://doi.org/10.1243/09544070JAUTO1266

[3] Alternative Fuels Data Center (2025). Diesel Vehicles Using Biodiesel. Saatavissa (viitattu 6.2.2025): https://afdc.energy.gov/vehicles/diesel

[4] Çetinkaya, M., Ulusoy, Y., Tekìn, Y., & Karaosmanoğlu, F. (2005). Engine and winter road test performances of used cooking oil originated biodiesel. Energy Conversion and Management, vol.46(7–8), pp. 1279–1291. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2004.06.022

[5] Dhar, A., & Agarwal, A. K. (2014). Effect of Karanja biodiesel blend on engine wear in a diesel engine. Fuel, 134, vol.81–89. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.05.039

[6] Dwivedi, D., Agarwal, A. K., & Sharma, M. (2006). Particulate emission characterization of a biodiesel vs diesel-fuelled compression ignition transport engine: A comparative study. Atmospheric Environment, vol.40(29), pp. 5586–5595. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.05.005

[7] Elgharbawy, A. S., Sadik, W. A., Sadek, O. M., & Kasaby, M. A. (2021). A review on biodiesel feedstocks and production technologies. Journal of the Chilean Chemical Society, vol.65(1), pp. 5098–5109. https://doi.org/10.4067/S0717-97072021000105098

[8] Fazal, M. A., Haseeb, A. S. M. A., & Masjuki, H. H. (2011). Biodiesel feasibility study: An evaluation of material compatibility; performance; emission and engine durability. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.15(2), pp. 1314–1324. https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.10.004

[9] Fino, D. (2007). Diesel emission control: Catalytic filters for particulate removal. Science and Technology of Advanced Materials, vol.8(1–2), pp. 93–100. https://doi.org/10.1016/j.stam.2006.11.012

[10] Hartikka, T., Kuronen, M., & Kiiski, U. (2012). Technical performance of HVO (hydrotreated vegetable oil) in diesel engines. SAE Techni. Paper., 9. https://doi.org/10.4271/2012-01-1585

[11] Haseeb, A. S. M. A., Fazal, M. A., Jahirul, M. I., & Masjuki, H. H. (2011). Compatibility of automotive materials in biodiesel: A review. Fuel, vol.90(3), pp. 922–931. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.10.042

[12] Haseeb, A. S. M. A., Masjuki, H. H., Ann, L. J., & Fazal, M. A. (2010). Corrosion characteristics of copper and leaded bronze in palm biodiesel. Fuel Processing Technology, vol.91(3), pp. 329–334. https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2009.11.004

[13] Hemanandh, J., Tureya, H., Barmavatu, P., Kumar, G. M., Bharadwaj, A. S., Viswanathan, M. R., & Sikarwar, V. S. (2025). Experimental investigation on the effect of hydrotreated vegetable oils as a renewable source: Valorization of food waste. Biomass Conversion and Biorefinery. https://doi.org/10.1007/s13399-024-06473-6

[14] Knothe, G., & Steidley, K. R. (2005). Lubricity of components of biodiesel and petrodiesel. The origin of biodiesel lubricity. Energy and Fuels, vol.19(3), pp. 1192–1200. https://doi.org/10.1021/ef049684c

[15] Komariah, L. N., Arita, S., Aprianjaya, F., Novaldi, M. G., & Fathullah, M. F. (2019). O-Rings Material Deterioration due to Contact with Biodiesel Blends in a Dynamic Fuel Flow, vol.1167(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/1167/1/012050

[16] Kurre, S. K., Garg, R., & Pandey, S. (2017). A review of biofuel generated contamination, engine oil degradation and engine wear. Biofuels, vol.8(2), pp. 273–280. https://doi.org/10.1080/17597269.2016.1224291

[17] Müller, M., Mishra, R. K., Šleger, V., Pexa, M., & Čedík, J. (2024). Elastomer-Based Sealing O-Rings and Their Compatibility with Methanol, Ethanol, and Hydrotreated Vegetable Oil for Fueling Internal Combustion Engines. Materials, vol.17(2).

[18] Neste (2025). NEXBTL™-teknologia muuntaa uusiutuvia rasvoja ja öljyjä huippuluokan tuotteiksi. Saatavissa (viitattu 18.2.2025): https://www.neste.com/fi-fi/tuotteet-ja-innovaatio/innovaatio/nexbtl-teknologia

[19] Nylund, N.-O., Erkkilä, K., Ahtiainen, M., Murtonen, T., Saikkonen, P., Amberla, A., & Aatola, H. (2011). Optimized usage of NExBTL renewable diesel fuel. OPTI-BIO. https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/1050573

[20] Paasi, J., Lahtinen, R., Kalliohaka, T., & Kytö, M. (2008). Biopolttonesteiden turvallinen jakelu: Loppuraportti. Saatavissa (viitattu 13.3.2025): https://cris.vtt.fi/en/publications/biopolttonesteiden-turvallinen-jakelu-loppuraportti

[21] PCS Instruments (2024). The Importance of Fuel Lubricity in Diesel Engines: Ensuring Longevity and Performance. 3.10.2024. Saatavissa (viitattu 15.2.2025): https://pcs-instruments.com/articles/fuel-lubricity-diesel-engines/

[22] Pehan, S., Jerman, M. S., Kegl, M., & Kegl, B. (2009). Biodiesel influence on tribology characteristics of a diesel engine. Fuel, vol.88(6), pp. 970–979. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.11.027

[23] Pellegrini, L., Beatrice, C., & Di Blasio, G. (2015). Investigation of the Effect of Compression Ratio on the Combustion Behavior and Emission Performance of HVO Blended Diesel Fuels in a Single-Cylinder Light-Duty Diesel Engine. SAE Techni. Paper. https://doi.org/10.4271/2015-01-0898

[24] Peng, D.-X. (2015). Tribological performance of various types of biodiesel. Materials Transactions, vol.56(12), pp. 1953–1959. https://doi.org/10.2320/matertrans.M2015263

[25] Reddy, M. S., Sharma, N., & Agarwal, A. K. (2016). Effect of straight vegetable oil blends and biodiesel blends on wear of mechanical fuel injection equipment of a constant speed diesel engine. Renewable Energy, vol.99, pp. 1008–1018. https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.07.072

[26] SFS-EN 590 (2022). Automotive fuels. Diesel. Requirements and test methods. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki. 15 s.

[27] SFS-EN 15940 (2023). Automotive fuels. Paraffinic diesel fuel from synthesis or hydrotreatment. Requirements and test methods. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki. 20 s.

[28] SFS-EN 14214 (2013). Liquid petroleum products. Fatty acid methyl esters (FAME) for use in diesel engines and heating applications. Requirements and test methods. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki. 22 s.

[29] SFS-EN ISO 5165 (2020). Petroleum products. Determination of the ignition quality of diesel fuels. Cetane engine method Helsinki. 27 s.

[30] Silveira, K. P., Ornaghi, H. L., Wander, P. R., Carvaljo, G. A., Giovanela, M., Reckzegiel, K. R. & Crespo, J. S. (2015). Degradation study of engine polymeric components using soybean biodiesel Global NEST Journal vol.17(3). https://doi.org/10.30955/gnj.001613