

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Energia- ja polttomoottoritekniikka

2016

Juho Laksio

# DIESELMOOTTORIN RUISKUTUSPARAMETRIEN OPTIMOINTI NESTE OILIN NEXBTL-POLTTOAINETTA KÄYTETTÄESSÄ



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Juho Laksio

## DIESELMOOTTORIN RUISKUTUSPARAMETRIEN OPTIMOINTI NESTE OILIN NEXBTL-POLTTOAINETTA KÄYTETTÄESSÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia, saadaanko Neste Oilin NEXBTL-polttoaineella vähennettyä pakokaasupäästöjä verrattuna fossiiliseen polttoaineeseen, jota käytettiin tässä tutkimuksessa referenssipolttoaineena. Tavoitteena oli saada mahdollinen päästöjen vähenemä hyödynnettyä kulutusetuna, kun moottorin päästöt optimoidaan referenssipolttoaineen tasolle. Tutkimus suoritettiin Agco Powerin 44 AWI - työkonedieselmoottorilla ilman pakokaasun jälkikäsitteilylaitteistoja. NEXBTL-polttoaine on biopolttoainetta, josta käytetään termiä RPD. Se valmistetaan sataprosenttisesti uusiutuvista raaka-aineista eli kasviöljyä ja eläinrasvoja vetykäsittelemällä

Moottoriin tehtiin useita yksittäisiä ruiskutuksen säätöjä. Ruiskutuksen säätöjä olivat pääruiskutuksen muuttaminen yhdellä asteella aikaisemmaksi, ruiskutuspaineen nosto kymmenellä barilla, esiruiskutuksen aikaistus 500 millisekuntia esiruiskutuksen ja määrän lisääminen kahdesta kolmeen milligrammaan. Esiruiskutus otettiin myös kokonaan pois käytöstä.

Lähimmäksi referenssipolttoaineen NO<sub>x</sub>-päästöjä päästiin 100-prosenttisella NEXBTL-dieselillä esiruiskutuksen aikaistamisella 500 millisekuntilla. Tilavuuspohjaisesti 50-50-sekoitetulla seospolttoaineella lähimmäksi referenssipolttoaineen typenoksidipäästöjä päästiin pääruiskutuksen ennakon aikaistamisella. Päästöjen vähenemää ei kuitenkaan saavutettu niin paljon kuin odotettiin edeltävien tuloksien perusteella, jolloin optimointivaraa jäi vähemmän.

### ASIASANAT:

Biopolttoaine, biodiesel, NEXBTL, polttoainetaloudellisuus, typenoksidipäästöt NO<sub>x</sub>- päästöt, Agco Power

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and production engineering | Energy technology and combustion engine

2016 | 43

Mika Laurén

Juho Laksio

## DIESEL ENGINE'S PARAMETERS OPTIMIZATION USING NEXBTL RENEWABLE FUEL

The purpose of this project was to investigate Neste Oil's NEXBTL renewable fuel exhaust emissions when compared to fossil fuel what was used in this project as a reference fuel. The aim was to take the potential emissions reduction to the consumption advantage when engine emissions are optimized to the reference fuel level. The study was conducted Agco Power 44 AWI - off-road engine with no exhaust gas after treatment systems. NEXBTL renewable fuel is a biofuel, which is also referred to as RPD. It is produced by one hundred percent renewable raw materials, such as vegetable oil and hydrotreating animal fats.

To the engine were made several individual injection adjustments. The injection adjustments includes changing the main injection to one degree earlier, lifting the injection pressure by ten bar, advancing the pilot injection by 500 milliseconds, increasing the amount of pre-injection two to three milligrams. Pilot injection was also disabled.

The closest reference fuel NO<sub>x</sub> emissions were achieved with 100 % NEXBTL renewable fuel advancing pilot injection by 500 milliseconds. 50-50-volume mixed fuel was reached nearest to reference fuel emissions with advancing main injection. Decreases in emissions were not achieved as much as expected based on the previous results, when the optimization of reserves was less.

### KEYWORDS:

Biofuel, biodiesel, NEXBTL, fuel economy, nitrogen oxide emissions, NO<sub>x</sub>-emissions, Agco Power, Neste Oil

# SISÄLTÖ

<b>LYHENTEET</b>	<b>6</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
<b>2 NEXBTL-DIESELÖLJY</b>	<b>8</b>
<b>3 TUTKIMUSLAITTEISTO JA POLTTOMOOTTORILABORATORIO</b>	<b>12</b>
3.1 Moottori	12
3.2 Mittauslaitteisto	13
3.4 Mittausjärjestelyt	14
<b>4 POLTTOAINEEN RUISKUTUKSEN PARAMETRIMUUTOKSET</b>	<b>16</b>
4.1 Päästöjen hallinta	17
4.2 Päästöjen vähenemä	17
4.3 Typenoksidipäästöt	17
<b>5 TULOKSET</b>	<b>18</b>
5.1 Polttoaineiden ominaisuudet	18
5.2 Typenoksidipäästöt (NO <sub>x</sub> ) ilman optimointia	19
5.3 Typenoksidipäästöt (NO <sub>x</sub> ) parametrimuutoksilla	22
5.4 Polttoaineen ominaiskulutus SFC (g/kWh)	24
5.5 Moottorin hyötysuhde	28
5.6 Hiukkaspäästöt PM	31
<b>6 TULOSTEN ARVIOINTI</b>	<b>34</b>
<b>7 YHTEENVETO</b>	<b>36</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>37</b>

## LIITTEET

- Liite 1. Ajopäiväkirja
- Liite 2. Polttoaineanalyysi
- Liite 3. Hiilivety- ja hiilimonoksidipäästöt
- Liite 4. Polttoaineiden ominaisuudet

## KUVIOT

Kuvio 2.1 NO <sub>x</sub> -päästöt NEXBTL-polttoaineen seossuhteilla (VTT 2011.)	11
Kuvio 2.2 Hiukkaspäästöt NEXBTL-polttoaineen seossuhteilla (VTT 2011.)	11
Kuvio 3.1 Moottorin testiajopisteet	15
Kuvio 5.1 Typenoksidipäästöt ilman optimointia	19
Kuvio 5.2 Typenoksidipäästöt esiruiskutuksen aikaistuksella	22
Kuvio 5.3 Typenoksidipäästöt polttoaineen pääruiskutuksen ennakon aikaistuksella	23
Kuvio 5.4 Polttoaineen ominaiskulutus esiruiskutuksen aikaistuksella	25
Kuvio 5.5 Polttoaineen ominaiskulutus pääruiskutuksen ennakon aikaistuksella	26
Kuvio 5.6 Moottorin hyötysuhde ilman optimointia	28
Kuvio 5.7 Hyötysuhde esiruiskutuksen aikaistamisella	29
Kuvio 5.8 Hyötysuhde pääruiskutuksen ennakon aikaistamisella	30
Kuvio 5.9 FSN-lukema esiruiskutuksen aikaistamisella	32
Kuvio 5.10 Hiukkaspäästöt pääruiskutuksen ennakon aikaistamisella	33

## TAULUKOT

Taulukko 2.1 NEXBTL-polttoaineen päästöjen lasku	9
Taulukko 2.2 Testissä käytetyt bussit	10
Taulukko 3.1 Moottorin tiedot	12
Taulukko 3.2 Säädetty raja-arvo ajopisteessä 1	13
Taulukko 3.3 Mittalaitteet	13
Taulukko 4.1 Ruiskutuksen parametrimuutokset	16
Taulukko 4.2 Pääruiskutuksen ennakon muuttaminen	16
Taulukko 5.1 Polttoaineiden ominaisuudet	18
Taulukko 5.2 NEXBTL- polttoaineen typenoksidipäästöjen muutokset ilman optimointia	20
Taulukko 5.3 Seospolttoaineen typenoksidipäästöjen muutokset ilman optimointia	20
Taulukko 5.4 NEXBTL- polttoaineen typenoksidipäästöjen muutokset eri optimoinneilla	21
Taulukko 5.5 Seospolttoaineen typenoksidipäästöjen muutokset eri optimoinneilla	21
Taulukko 5.6 NEXBTL-polttoaineen typenoksidipäästöjen muutokset	22
Taulukko 5.7 Seospolttoaineen typenoksidipäästöjen muutokset	23
Taulukko 5.8 NEXBTL-polttoaineen ominaiskulutuksen muutokset	26
Taulukko 5.9 Seospolttoaineen ominaiskulutuksen muutokset	27
Taulukko 5.10 Moottorin hyötysuhteet ilman optimointia	28
Taulukko 5.11 NEXBTL-polttoaineen hyötysuhteen muutokset	29
Taulukko 5.12 Seospolttoaineen hyötysuhteen muutokset	30
Taulukko 5.13 FSN-lukema muutokset esiruiskutuksen aikaistamisella	32
Taulukko 5.14 Seospolttoaineen hiukkaspäästöjen muutokset FSN-luvulla	33

## LYHENTEET

RPD	Renewable Paraffinic Diesel, uusiutuva parafiininen diesel
FAME	Fatty Acid Methyl Ester, rasvahapon metyyliesteri
EGR	Exhaust Gas Recirculation, pakokaasun takaisinkierätys
RME	Rapeseed Methyl Ester, rypsimetyyliesteri
PME	Palm Methyl Ester, palmumetyyliesteri
SME	Soybean Methyl Ester, soijametyyliesteri
NO <sub>x</sub>	Nitrous Oxide, yhteisnimitys typenoksidipäästöille
SFC	Specific Fuel Consumption, polttoaineen ominaiskulutus
CO	Carbon Oxide, hiilimonoksidi
THC	Total Hydro Carbons, hiilivetypäästöt

# 1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena on tutkia, saadaanko Neste Oilin NEXBTL-polttoaineella mahdollinen pakokaasupäästöjen vähenemä hyödynnettyä kulutusetuna. Käytännössä pakokaasupäästöjen vähenemällä tarkoitetaan typenoksidipäästöjä, koska typenoksidipäästöt ovat lähes ainoa päästökomponentti, joka nousee muiden pakokaasupäästöjen laskiessa ja palamisen tehokkuuden noustessa. Työ on Neste Oilin tilaama, ja tutkimus tehdään Agco Powerin 44 AWI - työkonedieselmoottorilla ilman pakokaasujen jälkikäsitteilylaitteistoa.

Tutkimusajot suoritetaan ensin ilman polttoaineen ruiskutuksen optimointia ja sitten polttoaineen ruiskutuksen parametrimuutosten kanssa. Tässä työssä parametrien muuttamista kutsutaan optimoinniksi. Polttoaineen ruiskutuksen parametreja muutetaan kuudella muutoksella. Optimointimuutokset ovat pääruiskutuksen ennakon muuttaminen, ruiskutuspaineen kasvatus, esiruiskutuksen määrän kasvattaminen sekä aikaistaminen ja esiruiskutuksen kytkeminen kokonaan pois käytöstä.

Ensimmäisenä suoritetaan vertailuajo referenssipolttoaineella. Referenssipolttoaineeseen ei tehdä polttoaineen ruiskutuksen optimointia. Toisena ajetaan sataprosenttisella NEXBTL-polttoaineella ensiksi ilman optimointia ja sitten parametrimuutoksien kanssa. Viimeisenä ajetaan normaalin referenssipolttoaineen ja NEXBTL-polttoaineella sekoituksella. Seos on tilavuuspohjaisesti puolet referenssipolttoainetta ja puolet sataprosenttista NEXBTL-polttoainetta. Seospolttoaineella ajetaan myös ensin ilman optimointia ja sitten parametrimuutosten kanssa.

NEXBTL-polttoainetta on maailmalla testattu entuudestaan paljon, ja kyseistä dieselöljyä myydään yksityisille kuluttajille Nesteen Pro Dieselinä polttoainemasemilla. Kyseinen diesel on perinteistä biodieseliä, johon on lisätty vähintään 15 % NEXBTL-dieselöljyä. Nesteen Pro-Dieselin luvataan laskevan päästöjä, polttoaineen kulutusta ja pitävän moottorin puhtaampana. (Neste Oil 2016.)

## 2 NEXBTL-DIESELÖLJY

Biodiesel on yleensä metyyli- tai etyyliesteri rasvahapoista koostuva polttoneste. Kustannussyistä alkoholina käytetään metanolia, mutta etanoli tai muu lyhytjakoinen alkoholikin käy. Metanolilla valmistetusta biodieselistä käytetään termiä FAME joka on valmistettu kasviöljystä tai eläinrasvoista. Suurin osa tällä hetkellä tuotetusta biodieselistä valmistetaan auringonkukka-, rypsi-, rapsi-, palmu- tai soijaöljystä. (Bioste Oy 2016.)

Dieselin laatudirektiivin ja -standardin mukaan biodieseliksi kutsutaan vain FAME-tyyppistä tuotetta, ja sen pitoisuus dieselöljyssä on rajoitettu enintään 7 tilavuusprosenttiin. (Öljy- ja biopolttoaineala ry 2014.)

Toinen yleinen biopolttoaine RPD (vetykäsitelty kasviöljy), on dieseliin sekoitettava toisen sukupolven biopolttoaine. EU-direktiivien mukaan RPD ei ole biodieseliä, vaan öljykasveista tai eläinrasvoista vetykäsittelyllä valmistettua synteettistä polttoainetta, parafiinista dieseliä. (Öljy- ja biopolttoaineala ry 2014.)

NEXBTL-dieselöljy on biopolttoainetta, josta käytetään termiä RPD. Se valmistetaan sataprosenttisesti uusiutuvista raaka-aineista, eli kasviöljyä ja eläinrasvoja vetykäsittelemällä. NEXBTL-dieselöljy on kemiallisesti fossiilisen polttoaineen kaltainen hiilivety ja siksi se soveltuu käytettäväksi kaikissa nykyaikaisissa dieselmootoreissa. Sen käytöllä voidaan vähentää jopa 40–60 % kasvihuonepäästöjä verrattuna fossiiliseen dieseliin, kun huomioidaan koko valmistusprosessi ja kuljetus. (Neste Oil 2016.)

NEXBTL-dieselöljy on laadultaan selvästi parempaa kuin perinteinen biodiesel (FAME). Se on rikitön, hapeton ja hajuton. Polttoaineessa on korkea setaaniluku ja hyvät kylmäominaisuudet. Suomalaisille kuluttaja-asiakkaille NEXBTL-dieselöljyä on ollut tarjolla Neste Pro Dieselin muodossa vuodesta 2012 lähtien. Neste Pro Diesel sisältää aina vähintään 15 % uusiutuvaa NEXBTL-dieselöljyä. (Neste Oil 2016.)



NEXBTL-dieselöljyn käyttö on aikaisemmissa testauksissa todettu vähentävän pakokaasupäästöjä rikittömään, tavalliseen polttoaineeseen verrattuna (taulukko 2.1).

Taulukko 2.1 NEXBTL-polttoaineen päästöjen lasku. (Neste Oil 2016.)

Pienhiukkaset	-33 %
Typenoksidit NO <sub>x</sub>	-9 %
Hiilivedyt HC	-30 %
Hiilimonoksidi CO	-24 %

Uusiutuvan NEXBTL-polttoaineen vertailu FAME-polttoaineeseen (Neste Oil 2016.):

NEXBTL-dieselöljy (RPD)	Perinteinen biodiesel (FAME)
Voidaan sekoittaa ilman rajoitusta fossiiliseen dieseliin, perinteiseen biodieseliin (FAME) tai käyttää dieselmoottoreissa sellaisenaan.**	Suurin sallittu pitoisuus fossiiliseen dieseliin sekoitettuna on 7 %*. Suuremmat pitoisuudet saattavat aiheuttaa moottoriongelmia.
Auttaa merkittävästi kansallisten biovelvoitteiden täyttämässä.	FAME-pitoisuutta koskevat rajoitukset pienentävät polttoaineen tarjoamia hyötyjä biovelvoitteen täyttämässä.
Täyttää tiukimmatkin viranomaisten, kuljetus- ja jakeluyhtiöiden sekä autonvalmistajien ja loppuasiakkaiden asettamat laatuvaatimukset.	Laadultaan RPD:tä huonompi, minkä vuoksi enimmäismäärälle polttoaineseoksessa on Euroopan dieselstandardissa määritelty yläraja.
Pienemmät kasvihuone- ja pakokaasupäästöt verrattuna fossiiliseen polttoaineeseen.	Typenoksidipäästöt lisääntyvät verrattuna fossiiliseen dieseliin.

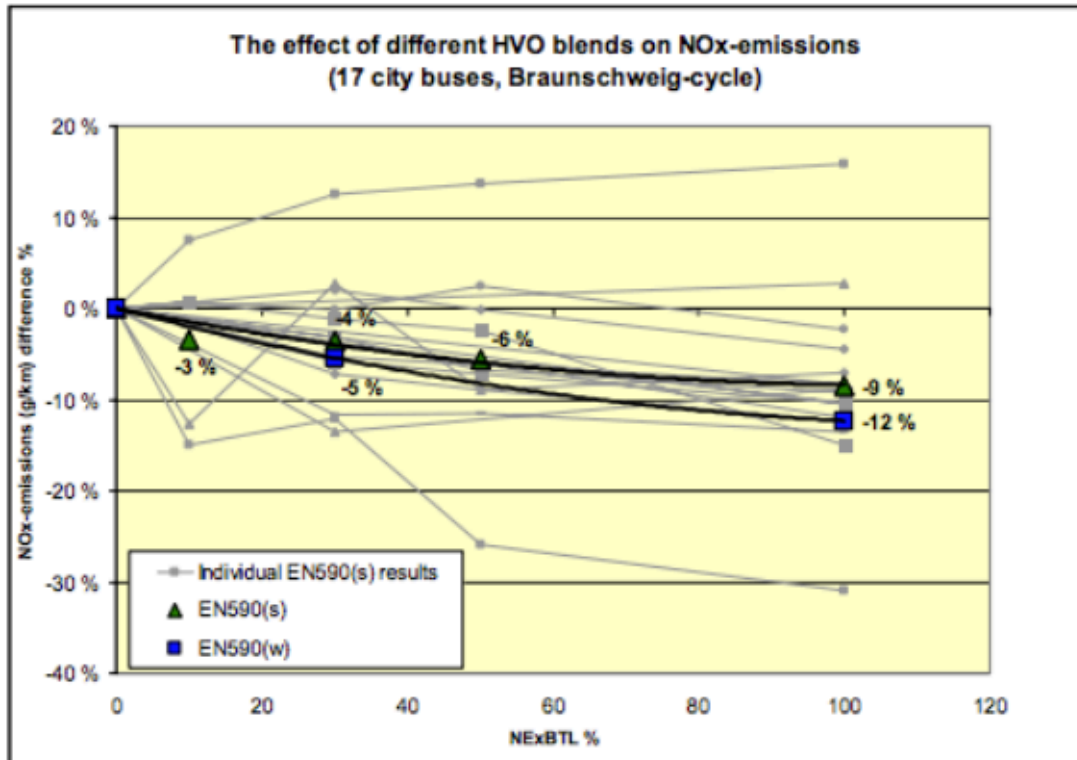
\*Euroopan dieselstandardin (EN590) mukainen enimmäismäärä.

\*\*EN590-dieselstandardi rajoittaa talvilaatujen tiheydeksi vähintään 800 kg/m<sup>3</sup>, ja tämä voi rajoittaa uusiutuvan NEXBTL-dieselin sekoittamista. Yhdysvaltalainen ASTM D976 -standardi ja kanadalainen CAN/CGSB 3.517 -standardi sallivat 100-prosenttisen NEXBTL:n käytön.

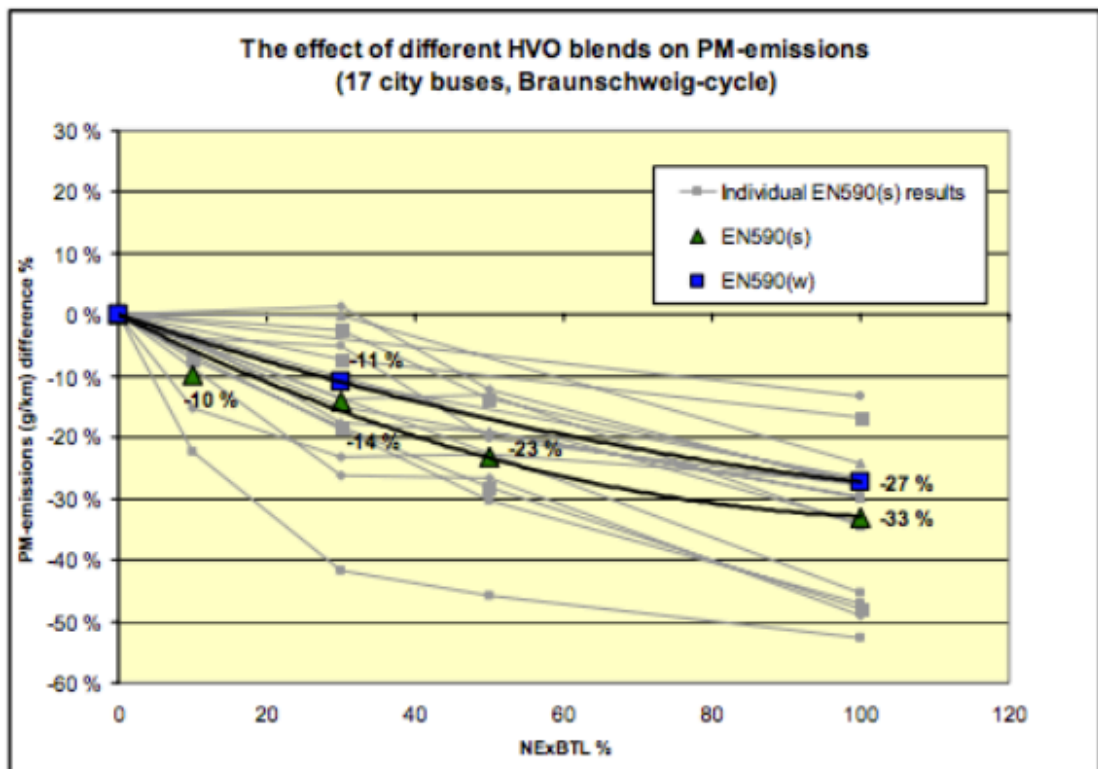
Teknologian tutkimuskeskus (VTT) suoritti kolmen ja puolen vuoden aikana tutkimuksen kaupunkibussien päästöistä Neste Oilin NEXBTL-polttoaineella. Tutkimuksessa käytettiin 300 bussia neljältä eri liikennöitsijältä. NEXBTL-polttoainetta käytettiin eri seossuhteilla (30-100 %). 100-prosenttisella NEXBTL-polttoaineella ajettiin 1,5 miljoonaa kilometriä. Lopullisessa päästötutkimuksessa käytettiin 17 eri bussin tuloksia (taulukko 2.2). Korkealaatuiseen rikittömään dieselöljyyn (EN590) verrattuna keskimääräisesti päästöjen vähenemää tuli sataprosenttisella NEXBTL-polttoaineella typenoksidipäästöissä 10 % (kuvio 2.1) ja hiukkaspäästöissä 30 % (kuvio 2.2). Tutkimuksessa huomiointiin kesä- sekä talvilaatu EN590-standardin mukaisessa referenssipolttoaineessa. (VTT 2011.)

Taulukko 2.2 Testissä käytetyt bussit (VTT 2011.)

	Päästöluokka	Vuosimalli	Mittarilukema km	Iskutilavuus	Pakok.käsit.	Ruiskutusjärj.
1.	Euro II	1998	951 000	9.6	Oxycat	In-line pump
2.	Euro II	1998	1 126 000	9.6	Oxycat	In-line pump
3.	Euro III	2005	336 000	9.0	Oxycat	In-line pump
4.	Euro III	2003	277 000	9.0	Oxycat	In-line pump
5.	Euro III	2004	852 000	9.0	Oxycat	In-line pump
6.	Euro III	2002	652 000	9.0	Oxycat	In-line pump
7.	Euro III	2002	786 000	9.0	Oxycat	In-line pump
8.	Euro III	2004	391 000	9.0	DPF	In-line pump
9.	Euro IV	2006	128 000	8.9	EGR+Oxycat	Unit-injectors
10.	Euro IV	2007	141 000	8.9	EGR+Oxycat	Unit-injectors
11.	Euro IV	2007	173 000	8.9	EGR+Oxycat	Unit-injectors
12.	Euro IV	2006	158 000	12.1	SCR	Unit-injectors
13.	Euro V	2007	1 000	7.1	SCR	Common-rail
14.	EEV	2008	45 000	7.1	SCR	Common-rail
15.	EEV	2007	79 000	7.8	SCR+DPF	Unit-injectors
16.	EEV	2008	24 000	8.9	EGR+FTF	Common-rail
17.	Euro IV hybrid	2007	3 000	4.5	SCR	Common-rail



Kuvio 2.1 NO<sub>x</sub>-päästöt NEXBTL-polttoaineen seossuhteilla (VTT 2011.)



Kuvio 2.2 Hiukkaspäästöt NEXBTL-polttoaineen seossuhteilla (VTT 2011.)

## 3 TUTKIMUSLAITTEISTO JA POLTTOMOOTTORILABORATORIO

### 3.1 Moottori

Moottori on Agco Powerin 44 AWI- moottori, jossa ei käytetty pakokaasujen takaisinkierrätysjärjestelmää (EGR), eikä pakokaasun jälkikäsitteilylaitteita. Sylinteripaineet mitattiin joka ajossa sekä pisteessä, mutta niitä ei raportoida tässä työssä.

Moottorissa on Common Rail -yhteispaineruiskutusjärjestelmä (CR). Sen suurimpia etuja ovat joustavat mahdollisuudet ruiskutuksen sovittamiseksi moottorille. Nämä edut saavutetaan korkealla (jopa 1600 bar), käyttötilanteeseen sopivalla ruiskutusaineella ja vapaasti valittavalla ruiskutuksen alkuhetkellä. On mahdollista käyttää myös useita esi- ja jälkiruiskutuksia. (Bosch 2010, 86–87.)

Taulukko 3.1 Moottorin tiedot

Agco Sisu Power 44 AWI	
Sylinteriluku	4
Iskutilavuus	4400 cm <sup>3</sup>
Sylinterin halkaisija	108 mm
Iskun pituus	120 mm
Palotilajärjestelmä	Suoraruiskutus
Ruiskutusjärjestelmä	Common Rail
Päästötaso:	Stage 3B
Nimellisteho:	99 kW / 2200 rpm
Suurin vääntömomentti:	572 Nm / 1500 rpm

Taulukko 3.2 Säädetyt raja-arvot ajopisteessä 1

Ahtoilma	48°C, +/- 5°C
Imualipaine	20 mbar
Pakovastapaine	140 mbar
Ahtoilman jäähtymisen painehäviö	40 mbar

### 3.2 Mittauslaitteisto

Tutkimuksessa käytettiin useita pakokaasun mittauslaitteita (taulukko 3.3).

Taulukko 3.3 Mittalaitteet

Typenoksidit (NO <sub>x</sub> )	Eco Physics CLD 700EL HT
Hiilivedyt (HC)	CAI 300-HFID
Hiilimonoksidi, hiilidioksidi ja happi (CO, CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> ),	Servomex Xentra 4900
Savutus (FSN)	AVL 415 S Smoke
Hiukkasmassa (PPS)	Pegasor M -sensori

### 3.4 Mittausjärjestelyt

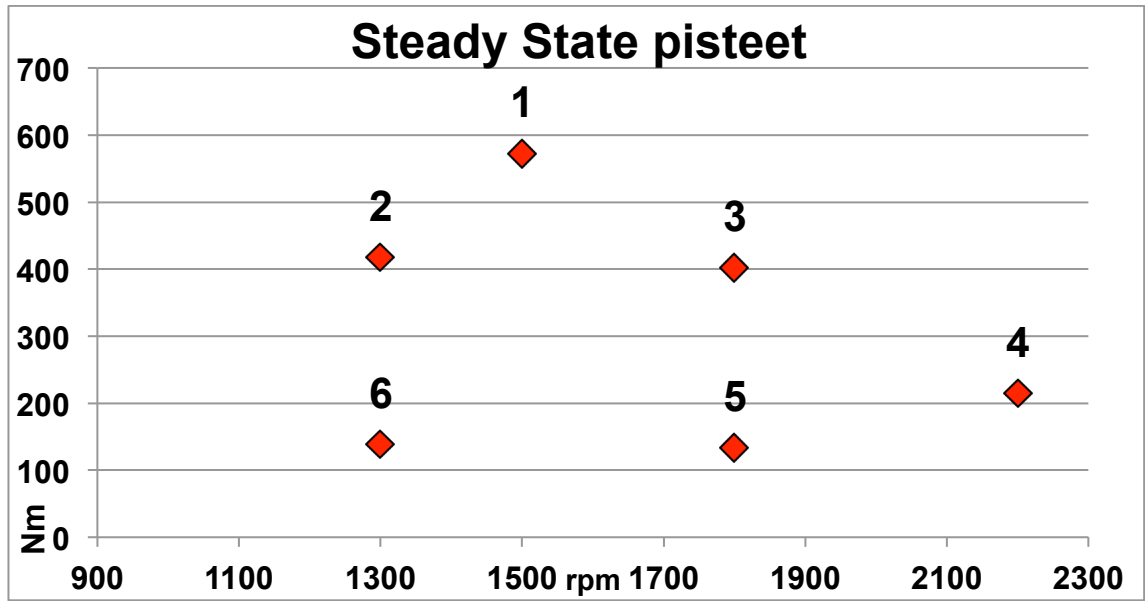
Mittaukset suoritettiin vuoden 2014 maaliskuun lopusta elokuun loppuun. Alussa referenssiajojen suorittaminen tuotti ongelmia, ja vasta referenssiajot 16, 17 ja 18 katsottiin onnistuneiksi. Mittauslaitteistosta muutama laite vaihdettiin toisiin referenssiajojen aikana. Suurin yksittäinen ongelma oli vastapaineen putoaminen kiristyksistä ja säädöistä huolimatta. Lopuksi viaksi paljastui viallinen painanturi, joka antoi väärää tietoa pakoputken vastapaineesta.

Kaasumaisten päästöjen mittalaitteet kalibroitiin ensimmäisenä, jonka jälkeen järjestelmä lämpeni tunnin ajan. Nolla-arvot otettiin ylös mahdollisten myöhempien epäloogisten tulosten tarkasteluiden vuoksi. Laitteiden lämmitettyä moottori ajettiin käyttölämpötilaan ennen varsinaista suoritusajoa. Välijäähdytys säädettiin ensimmäisessä ajopisteessä 48 celsiusasteeseen, +/- 5 celsiusastetta. Moottorin lämpötilojen tasaannuttua jokaisessa ajopisteessä, otettiin arvot ylös TestCell-ohjelmalla, joka tallentaa tulokset 60 sekunnin keskiarvona.

Tutkimusajo-ohjelma suoritettiin 6 pisteen steady state- syklillä (kuvio 3.1). Ajossa käytetyt pisteet ovat tyypillisiä kuormituspisteitä työkoneelle. Arvojen annettiin tasaantua kaksi minuuttia tai niin kauan, että arvot eivät enää nouseet tai laskeneet.

Ensimmäiseksi tutkimusajossa suoritettiin referenssiajo ilman polttoaineen ruiskutuksen parametrimuutoksia referenssipolttoaineella. Toisena ajettiin sataprosenttisella NEXBTL-polttoaineella ilman parametrimuutoksia ja sitten parametrimuutoksien kanssa. Viimeisenä ajettiin tilavuuspohjaisesti sekoituksella puolet referenssipolttoainetta ja puolet sataprosenttista NEXBTL-polttoainetta. Parametrimuutokset olivat ruiskutuksen pääennakon muuttaminen, ruiskutuspaineen kasvattaminen, esiruiskutuksen määrän kasvattaminen sekä aikaistaminen ja esiruiskutuksen kytkeminen kokonaan pois.

Testiajossa ei tehty useita muutoksia kerralla, vaan yhteen ajoon tehtiin yksi muutos. Näin pystyttiin havaitsemaan yksittäisen parametrimuutoksen vaikutus.



Kuvio 3.1 Moottorin testiajopisteet

## 4 POLTTOAINEEN RUISKUTUKSEN PARAMETRIMUUTOKSET

Polttoaineen ruiskutuksen parametreja muutettiin EEM- moottorinohjauksesta yksitellen. Polttoaineen ruiskutuksen parametrien muuttamista kutsutaan tässä työssä optimoinniksi. Ruiskutuspainetta nostettiin kymmenellä barilla. Esiruiskutusta muutettiin 500 millisekuntia ennakkoon. Esiruiskutuksen määrä nostettiin 2 milligrammasta kolmeen milligrammaan. Esiruiskutus otettiin myös kokonaan pois käytöstä. (taulukko 4.1). Pääruiskutuksen ennakkoa muutettiin yhdellä asteella aikaisemmaksi ja yksi aste myöhäisemmäksi (taulukko 4.2).

Taulukko 4.1 Ruiskutuksen parametrimuutokset

Pääruiskutus +1°
Pääruiskutus -1,89°...+0,2°
Ruiskutuspaino +10 bar
Pilot 1 aikaistus 500 µs
Pilot 1 ruiskutusmäärä +1mg
Pilot 1 pois käytöstä

Taulukko 4.2 Pääruiskutuksen ennakon muuttaminen

	REF ennako	Optimointi ennako	Ennakon muutos
Ajopiste 1. 572Nm/1500rpm	5,10 °	5,30 °	-0,20 °
Ajopiste 2. 417Nm/1300rpm	-0,30 °	0,70 °	-1,00 °
Ajopiste 3. 402Nm/1800rpm	3,90 °	4,26 °	-0,36 °
Ajopiste 4. 215Nm/2200rpm	3,90 °	3,90 °	0,00 °
Ajopiste 5. 134Nm/1800rpm	2,10 °	1,91 °	0,19 °
Ajopiste 6. 139Nm/1300rpm	-0,99 °	0,90 °	-1,89 °



#### 4.1 Päästöjen hallinta

Päästöihin vaikuttavia tekijöitä on useita, mutta tässä tutkimustyössä päästöjen hallintaa suoritettiin pelkästään polttoaineen ruiskutusparametreja optimoimalla. Moottorin optimointi on aina kompromissi, koska yhden osa-alueen parantuessa toinen osa-alue saattaa huonontua. Esimerkiksi polttoaineen kulutus yleensä laskee, kun aikaistetaan (ennakkoa) polttoaineen pääruiskutusta, mutta samalla yleensä  $\text{NO}_x$ -päästöt nousevat. (Oppimateriaali, Dieselmoottoritekniikan säädöt ja mittaukset 2014.)

#### 4.2 Päästöjen vähenemä

Tässä tutkimuksessa NEXBTL-polttoaineen typenoksidipäästöjen vähenemä oli tarkoitus nostaa referenssipolttoaineen tasolle sopivalla parametrimuutoksella. Typenoksidipäästöt ovat kääntäen verrannollisia ominaiskulutuksen suhteen, joten niillä tuloksilla, jotka ovat lähimpänä referenssipolttoaineen typenoksidipäästöjä, saatiin pienimmät polttoaineen ominaiskulutukset typenoksidipäästöjen rajoissa.

#### 4.3 Typenoksidipäästöt

Moottorista vapautuvia typpioksidiyhdisteitä nimitetään yhteisellä nimikkeellä, typenoksidit,  $\text{NO}_x$ -päästöt. Ne ovat myrkyllisiä ja happamoittavia kaasuja, jotka tuhoavat stratosfäärin otsonia ja ovat ilmaston lämpenemistä aiheuttavia kasvihuonekaasuja. (VTT, LIPASTO, LIISA 2016.)

Palamisilman tyyppi hapettuu  $\text{NO}$ :ksi ja  $\text{NO}_2$ :ksi polttoaineseoksen erityisesti kuumassa kovassa paineessa ja lähellä stoikiometristä osaa. Toisin sanoen silloin, kun palaminen on muuten hyvää ja puhdasta hyvällä ominaiskulutuksella sekä pienemmillä hiukkas-, hiilivety- ja häkäpäästöillä, ovat typenoksidipäästöt suurempia. (Mollenhauer & Tschöcke 2010, 67–68.)

## 5 TULOKSET

### 5.1 Polttoaineiden ominaisuudet

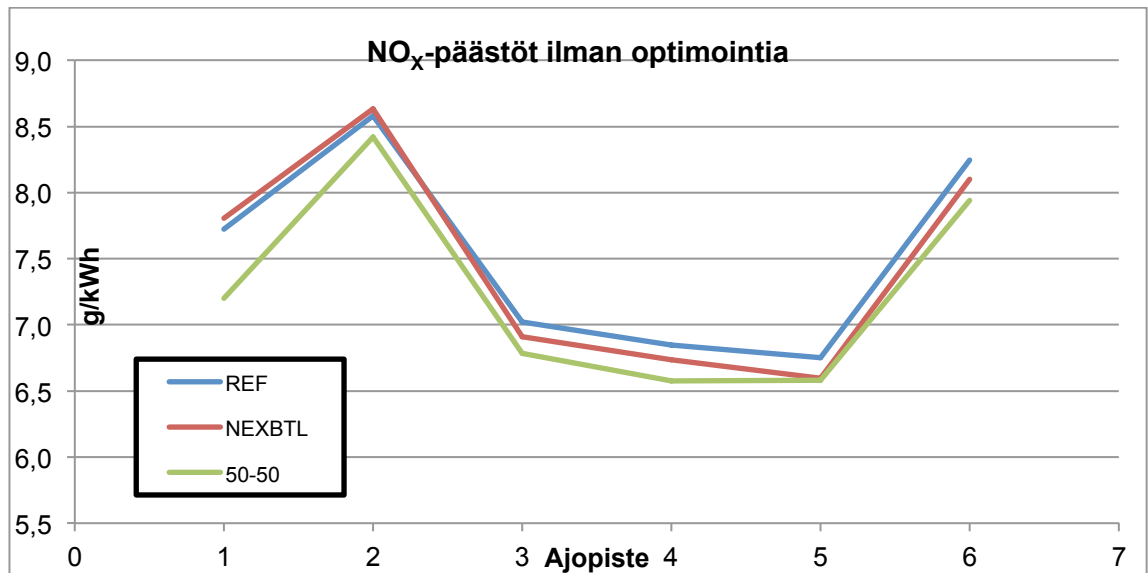
NEXBTL-polttoaineen ja tilavuuspohjaisesti 50-50-suhteella sekoitettu referenssipolttoaineen ja 100 %:n NEXBTL-polttoaineen tiheys ja lämpöarvo olivat erilaiset kuin referenssipolttoaineella. Lämpöarvot olivat hyvin lähellä toisiaan, vain muutaman sadan kilojoulen vaihtelevuudet. Tiheydessä erot olivat hieman suuremmat, referenssipolttoaine oli 6,7 % tiheämpää kuin NEXBTL-polttoaine ja 3,7 % tiheämpää kuin seospolttoaine (taulukko 5.1).

Taulukko 5.1 Polttoaineiden ominaisuudet

Polttaine	Tiheys kg/m <sup>3</sup>	Lämpöarvo MJ/kg	% kg/m <sup>3</sup>	% MJ/kg
Referenssipolttoaine	835,80	43,11	0,0 %	0,0 %
100 % NEXBTL-polttoaine	779,97	43,86	-6,7 %	1,7 %
Seospolttoaine	808,55	43,45	-3,7 %	0,9 %

## 5.2 Typenoksidipäästöt (NO<sub>x</sub>) ilman optimointia

Ilman optimointia NO<sub>x</sub>-tasot nousivat 100-prosenttisella NEXBTL-polttoaineella verrattuna referenssipolttoaineeseen pisteessä 1 ja 2. Muissa pisteissä 100-prosenttisella NEXBTL-polttoaineella oli alhaisemmat typenoksidipäästöt kuin referenssipolttoaineella. Seospolttoaineella typenoksidipäästöt pysyivät alle referenssipolttoaineen jokaisessa pisteessä (kuvio 5.1). Keskimäärin typenoksidipäästöt vähenivät 100-prosenttisella NEXBTL-polttoaineella 0,9 % (taulukko 5.2). Seospolttoaineella typenoksidipäästöt laskivat kaikilla pisteillä verrattuna referenssipolttoaineeseen (taulukko 5.3). Keskimäärin typenoksidipäästöt vähenivät seospolttoaineella 3,7 %.



Kuvio 5.1 Typenoksidipäästöt ilman optimointia

Taulukko 5.2 NEXBTL- polttoaineen typenoksidipäästöjen muutokset ilman optimointia

100 % NEXBTL ilman optimointia	ero REF	
Ajopiste 1. 572Nm/1500rpm	1,1	%
Ajopiste 2. 417Nm/1300rpm	0,6	%
Ajopiste 3. 402Nm/1800rpm	-1,6	%
Ajopiste 4. 215Nm/2200rpm	-1,7	%
Ajopiste 5. 134Nm/1800rpm	-2,3	%
Ajopiste 6. 139Nm/1300rpm	-1,8	%
Keskimäärin	-0,9	%

Taulukko 5.3 Seospolttoaineen typenoksidipäästöjen muutokset ilman optimointia

Seospolttoaine ilman optimointia	ero REF	
Ajopiste 1. 572Nm/1500rpm	-6,7	%
Ajopiste 2. 417Nm/1300rpm	-1,9	%
Ajopiste 3. 402Nm/1800rpm	-3,4	%
Ajopiste 4. 215Nm/2200rpm	-4,0	%
Ajopiste 5. 134Nm/1800rpm	-2,6	%
Ajopiste 6. 139Nm/1300rpm	-3,7	%
Keskimäärin	-3,7	%

Typenoksidipäästöjen aleneminen ilman parametrimuutoksia oli edellytyksenä tutkimuksen onnistumiselle. NEXBTL-polttoaineen päästöjen vähenemä oli tarkoitus hyödyntää kulutusena, kun parametreja muuttamalla saadaan typenoksidipäästöt nostettua samalle tasolle referenssipolttoaineen kanssa. Kun sallitaan korkeammat typenoksidipäästöt, saavutetaan parempi polttoaineen ominaiskulutus sekä hyötysuhde.

## Parametrimuutoksen valinta

NEXBTL- polttoaineen typenoksidipäästöjen vähenemä oli tarkoitus nostaa referenssipolttoaineen tasolle sopivalla parametrimuutoksella. Tulosten perusteella valittiin mahdollisimman lähellä referenssipolttoaineen typenoksidipäästöjä oleva parametrimuutos. Mitä suuremmat typenoksidipäästöt sallitaan, sitä paremmaksi polttoaineen ominaiskulutus ja hyötysuhteen pitäisi nousta.

100-prosenttisella NEXBTL- polttoaineella tämän tutkimuksen mukaan paras parametrimuutos on esiruiskutuksen aikaistus 500 mikrosekuntia, koska se on lähimpänä referenssipolttoaineen typenoksidipäästöä (taulukko 5.4).

Taulukko 5.4 NEXBTL- polttoaineen typenoksidipäästöjen muutokset eri optimoinneilla

Ruiskutusparametrimuutos	ero REF keskimäärin
Ilman parametrimuutoksia	-0,9 %
Pääruiskutus +1°	4,4 %
Pääruiskutus -1,89°...+0,2°	-7,0 %
Ruiskutuspaino +10 bar	1,9 %
<b>Pilot 1 aikaistus 500 µs</b>	<b>-0,6 %</b>
Pilot 1 ruiskutusmäärä +1mg	1,0 %
Pilot 1 pois käytöstä	-2,9 %

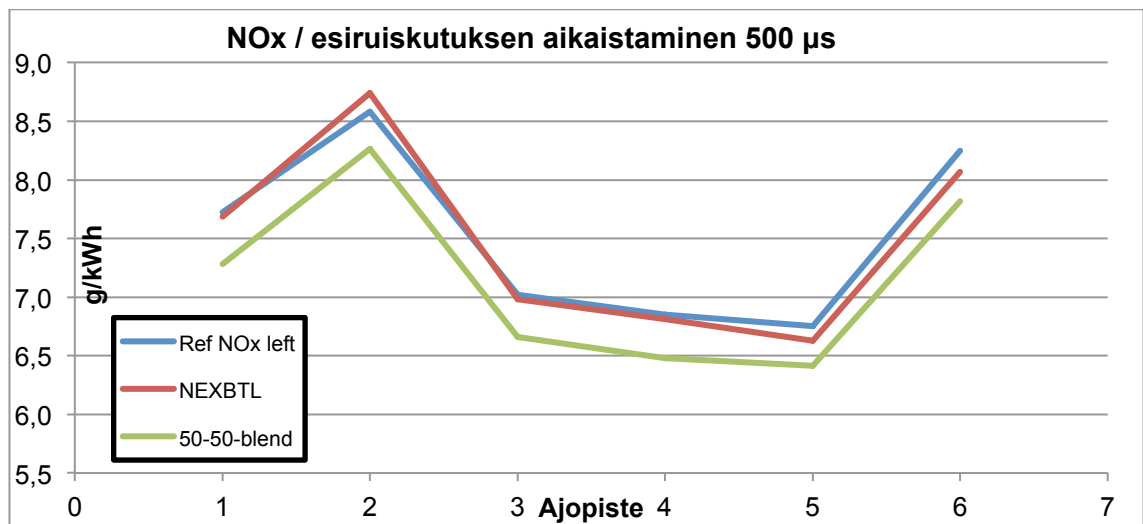
Tämän tutkimuksen mukaan seospolttoaineella päästiin referenssipolttoaineen typenoksidipäästöjen tasolle aikaistamalla pääruiskutusta yhdellä asteella (taulukko 5.5).

Taulukko 5.5 Seospolttoaineen typenoksidipäästöjen muutokset eri optimoinneilla

Ruiskutusparametrimuutos	ero REF keskimäärin
Ilman parametrimuutoksia	-3,7 %
<b>Pääruiskutus +1°</b>	<b>0,9 %</b>
Pääruiskutus -1,89°...+0,2°	-15,1 %
Ruiskutuspaino +10 bar	-1,9 %
Pilot 1 aikaistus 500 µs	-5,0 %
Pilot 1 ruiskutusmäärä +1mg	-3,5 %
Pilot 1 pois käytöstä	-7,3 %

### 5.3 Typenoksidipäästöt (NO<sub>x</sub>) parametrimuutoksilla

Lähimmäksi referenssipolttoaineen typenoksidipäästöjä päästiin 100-prosenttisella NEXBTL-polttoaineella esiruiskutuksen aikaistamisella 500 mikrosekuntia (kuvio 5.2). Tällä polttoaineen ruiskutuksen parametrimuutoksella muutokset ovat hyvin pieniä referenssipolttoaineeseen verrattuna. Ajopisteessä 2 typenoksiditasot nousevat 1,9 % korkeammalle kuin referenssipolttoaineella. Keskimäärin typenoksidipäästöt jäävät 0,6 % alle referenssipolttoaineen typenoksidipäästöjen (taulukko 5.6).

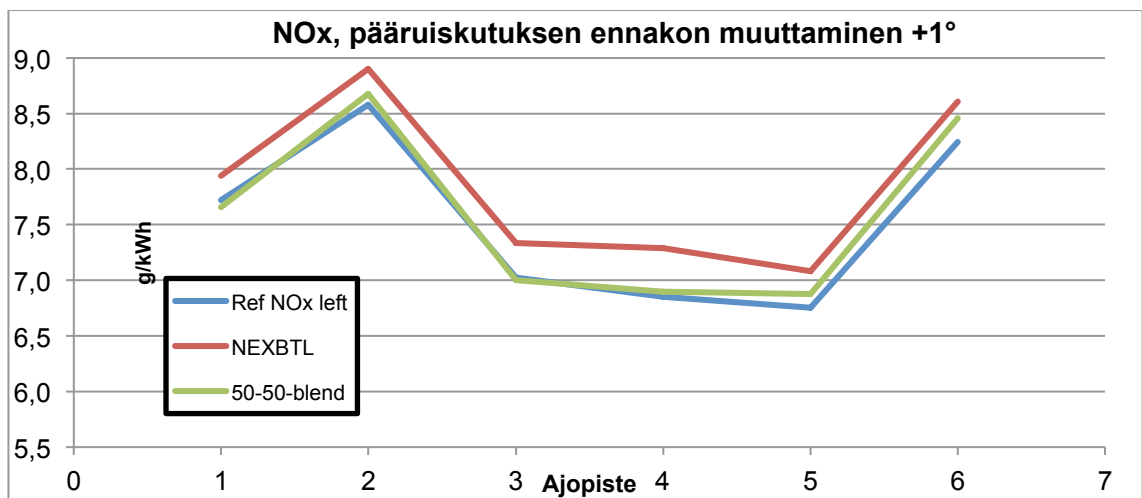


Kuvio 5.2 Typenoksidipäästöt esiruiskutuksen aikaistuksella

Taulukko 5.6 NEXBTL-polttoaineen typenoksidipäästöjen muutokset

100 % NEXBTL, Pilot 1 aikaistus	ero REF
Ajopiste 1. 572Nm/1500rpm	-0,5 %
Ajopiste 2. 417Nm/1300rpm	1,9 %
Ajopiste 3. 402Nm/1800rpm	-0,6 %
Ajopiste 4. 215Nm/2200rpm	-0,5 %
Ajopiste 5. 134Nm/1800rpm	-1,8 %
Ajopiste 6. 139Nm/1300rpm	-2,2 %
Keskimäärin	-0,6 %

Lähimmäksi referenssipolttoaineen typenoksidipäästöjä päästiin seospolttoaineella polttoaineen pääruiskutuksen ennakkoa aikaistamalla (kuvio 5.3). Ruisutusennakon aikaistaminen aikaistaa polttoaineen palamisen alkuvaihetta. Mitä aikaisemmin palaminen alkaa, sitä enemmän typenoksideja syntyy palotahtumassa. Ajopisteissä 5 ja 6 tuli hieman enemmän typenoksidipäästöjä kuin referenssipolttoaineella, mutta keskimäärin vain 0,9 % enemmän kuin referenssipolttoaineella (taulukko 5.7).



Kuvio 5.3 Typenoksidipäästöt polttoaineen pääruiskutuksen ennakon aikaistuksella

Taulukko 5.7 Seospolttoaineen typenoksidipäästöjen muutokset

Seospolttoaine, ennakon aikaistaminen	ero REF
Ajopiste 1. 572Nm/1500rpm	-0,8 %
Ajopiste 2. 417Nm/1300rpm	1,1 %
Ajopiste 3. 402Nm/1800rpm	-0,3 %
Ajopiste 4. 215Nm/2200rpm	0,7 %
Ajopiste 5. 134Nm/1800rpm	1,9 %
Ajopiste 6. 139Nm/1300rpm	2,6 %
Keskimäärin	0,9 %

#### 5.4 Polttoaineen ominaiskulutus SFC (g/kWh)

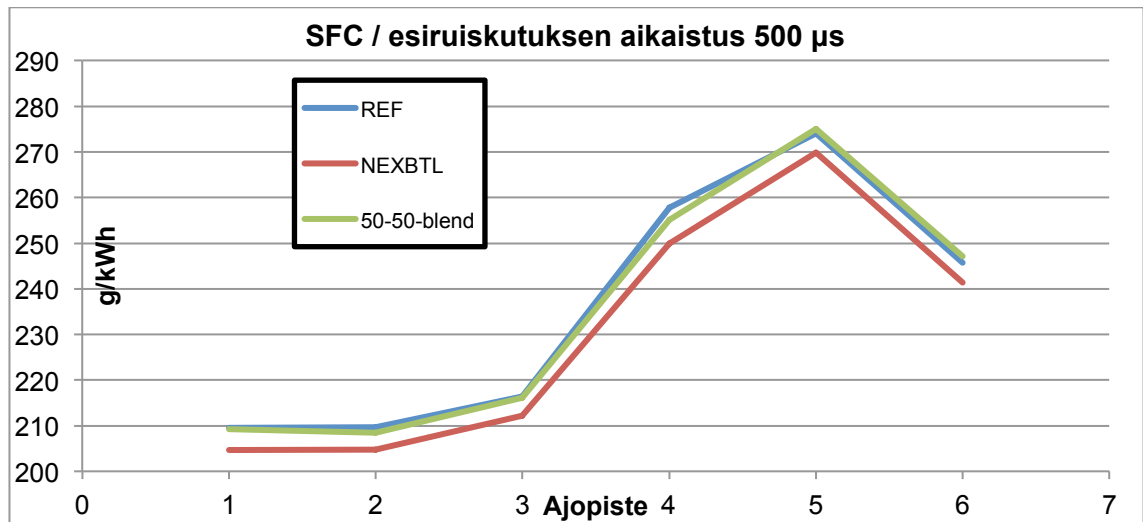
Polttoaineen ominaiskulutus kertoo, kuinka monta grammaa polttoainetta tarvitaan yhden kilowattitunnin tuottamiseen. Mitä pienempi luku, sitä parempi on ominaiskulutus.

NO<sub>x</sub>-päästöissä lähimmäksi referenssipolttoainetta päästiin 100-prosenttisella NEXBTL-polttoaineella esiruiskutuksen aikaistamisella 500 mikrosekuntia ja seospolttoaineella pääruiskutuksen ennakon aikaistamisella yhdellä asteella. Typenoksidipäästöt ovat kääntäen verrannollisia ominaiskulutuksen suhteen, joten niillä tuloksilla, jotka ovat lähimpänä referenssipolttoaineen typenoksidipäästöjä, saatiin pienimmät polttoaineen ominaiskulutukset typenoksidipäästöjen rajoissa.



### Polttoaineen ominaiskulutus NEXBTL-polttoaineella

100-prosenttisella NEXBTL-polttoaineella lähimmäksi referenssipolttoaineen typenoksidipäästöjä päästiin esiruiskutuksen aikaistuksella, joten typenoksidipäästöjen rajoissa paras ominaiskulutus saavutettiin samalla parametrimuutoksella (kuvio 5.4).



Kuvio 5.4 Polttoaineen ominaiskulutus esiruiskutuksen aikaistuksella

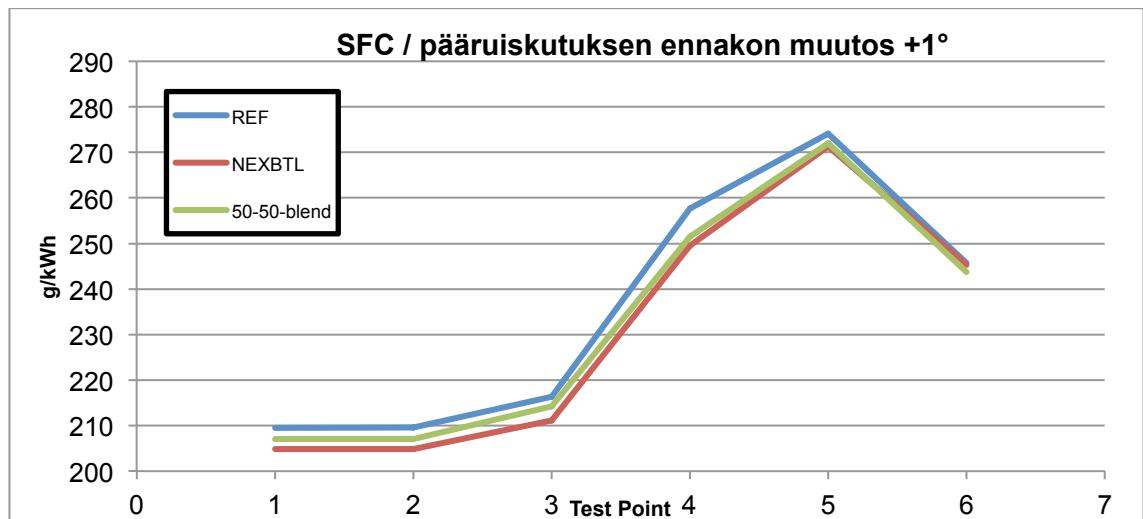
NEXBTL-polttoaineen ominaiskulutus oli suhteellisen tasaisesti alle referenssipolttoaineen, pienimmillään 1,6 % ja korkeimmillaan 3,0 %. Keskimäärin polttoaineen ominaiskulutus oli 2,2 % alle referenssipolttoaineen kulutuksen (taulukko 5.8).

Taulukko 5.8 NEXBTL-polttoaineen ominaiskulutuksen muutokset

NEXBTL, SFC, Pil 1 adv 500 $\mu$ s	ero REF
Ajopiste 1. 572Nm/1500rpm	-2,3 %
Ajopiste 2. 417Nm/1300rpm	-2,3 %
Ajopiste 3. 402Nm/1800rpm	-2,0 %
Ajopiste 4. 215Nm/2200rpm	-3,0 %
Ajopiste 5. 134Nm/1800rpm	-1,6 %
Ajopiste 6. 139Nm/1300rpm	-1,8 %
Keskimäärin	-2,2 %

### Polttoaineen ominaiskulutus seospolttoaineella

Seospolttoaineella lähimmäksi referenssipolttoaineen typenoksidipäästöjä päästiin ennakon aikaistuksella, joten typenoksidipäästöjen rajoissa paras ominaiskulutus saavutetaan samalla parametrimuutoksella (kuvio 5.5). Seospolttoaine alitti referenssipolttoaineen ominaiskulutuksen jokaisella pisteellä. Vähimmillään muutos on 0,7 % ja suurimmillaan 2,4 %. Keskimäärin polttoaineen ominaiskulutuksen lasku on 1,2 % (taulukko 5.9).



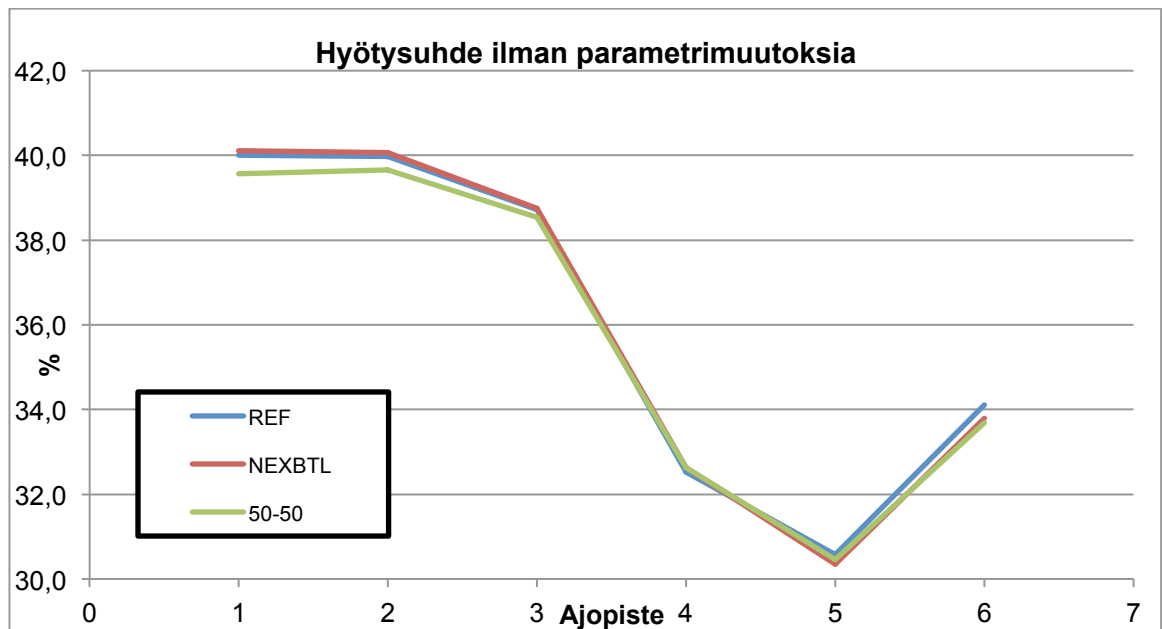
Kuvio 5.5 Polttoaineen ominaiskulutus pääruiskutuksen ennakon aikaistuksella

Taulukko 5.9 Seospolttoaineen ominaiskulutuksen muutokset

Seosp., SFC, Main 1 adv +1	ero REF
Ajopiste 1. 572Nm/1500rpm	-1,1 %
Ajopiste 2. 417Nm/1300rpm	-1,2 %
Ajopiste 3. 402Nm/1800rpm	-1,0 %
Ajopiste 4. 215Nm/2200rpm	-2,4 %
Ajopiste 5. 134Nm/1800rpm	-0,7 %
Ajopiste 6. 139Nm/1300rpm	-0,8 %
Keskimäärin	-1,2 %

## 5.5 Moottorin hyötysuhde

Moottorin hyötysuhde saadaan laskettua, kun tiedetään moottorin tuottama teho ja polttoaineteho. Ilman parametrimuutoksia korkein hyötysuhde oli keskimäärin referenssipolttoaineella, kun huomioidaan polttoaineiden eri lämpöarvot (kuvio 5.6). Erot olivat pieniä, keskimäärin referenssipolttoaineella oli vain 0,03 prosenttiyksikköä parempi hyötysuhde kuin NEXBTL-polttoaineella ja seospolttoaineella 0,22 prosenttiyksikköä heikompi hyötysuhde kuin referenssipolttoaineella. (taulukko 5.10).

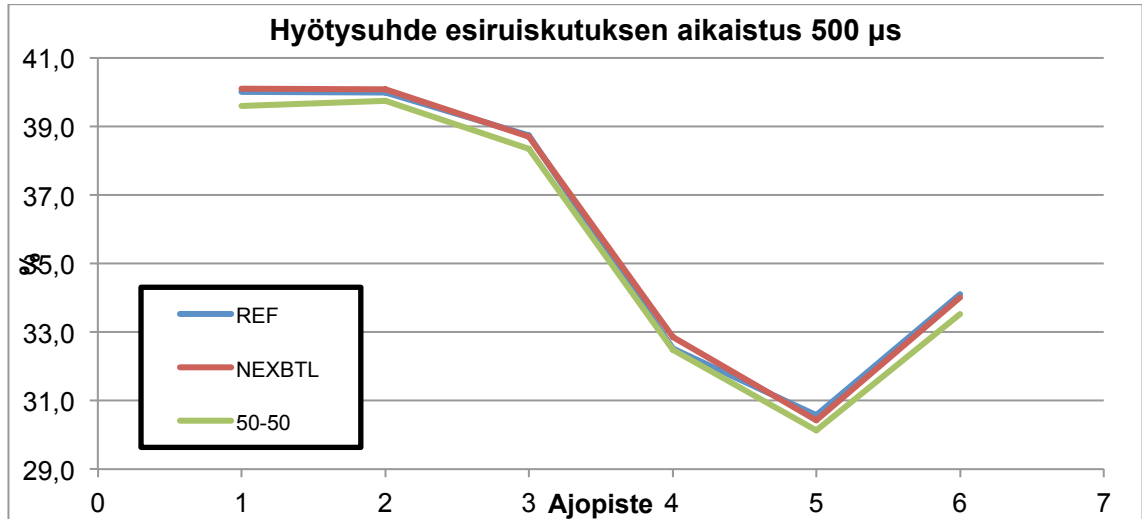


Kuvio 5.6 Moottorin hyötysuhde ilman optimointia

Taulukko 5.10 Moottorin hyötysuhteet ilman optimointia

Hyötysuhde %	REF	NEXBTL	50-50
Ajopiste 1. 572Nm/1500rpm	40,0	40,1	39,6
Ajopiste 2. 417Nm/1300rpm	40,0	40,1	39,67
Ajopiste 3. 402Nm/1800rpm	38,7	38,8	38,5
Ajopiste 4. 215Nm/2200rpm	32,5	32,6	32,6
Ajopiste 5. 134Nm/1800rpm	30,6	30,4	30,5
Ajopiste 6. 139Nm/1300rpm	34,1	33,8	33,7
Keskimäärin	<b>36,0</b>	<b>36,0</b>	<b>35,8</b>

NEXBTL-polttoaineella lähimmäksi referenssipolttoaineen typenoksidipäästöjä päästiin esiruiskutuksen aikaistamisella (kuvio 5.7). Kokonaisuudessaan hyötysuhde nousi 0,1 % verrattuna referenssipolttoaineeseen (taulukko 5.11).

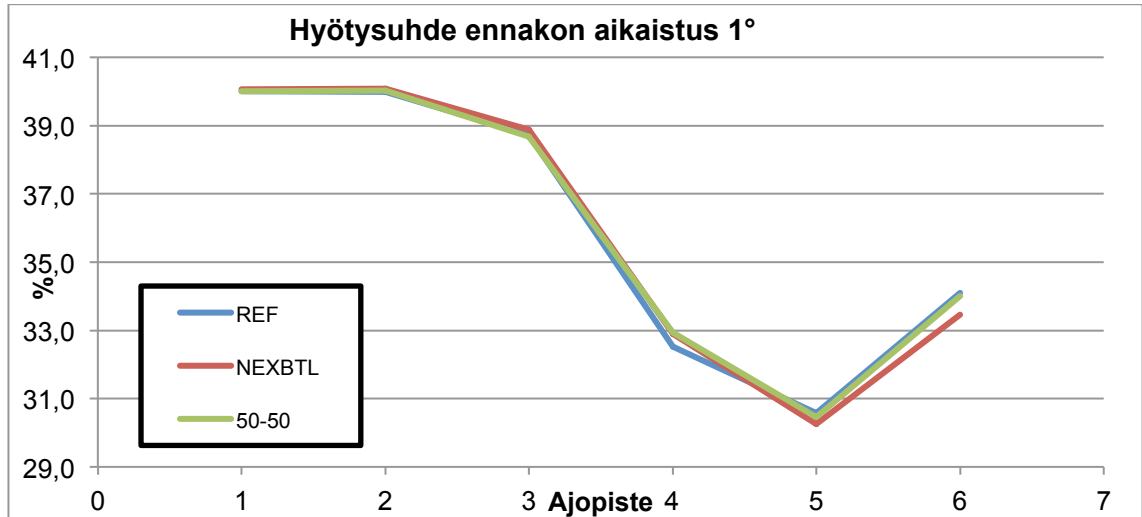


Kuvio 5.7 Hyötysuhde esiruiskutuksen aikaistamisella

Taulukko 5.11 NEXBTL-polttoaineen hyötysuhteen muutokset

Hyötysuhde %	REF	NEXBTL	50-50
Ajopiste 1. 572Nm/1500rpm	40,0	40,1	39,6
Ajopiste 2. 417Nm/1300rpm	40,0	40,1	39,8
Ajopiste 3. 402Nm/1800rpm	38,7	38,7	38,3
Ajopiste 4. 215Nm/2200rpm	32,5	32,9	32,5
Ajopiste 5. 134Nm/1800rpm	30,6	30,4	30,1
Ajopiste 6. 139Nm/1300rpm	34,1	34,0	33,5
Keskimäärin	36,0	36,0	35,6

Seospolttoaineella lähimmäksi referenssipolttoaineen typenoksidipäästöjä päästiin pääruiskutuksen ennakon aikaistamisella (kuvio 5.8). Kokonaisuudessaan hyötysuhde laski 0,4 % verrattuna referenssipolttoaineeseen (taulukko 5.12).



Kuvio 5.8 Hyötysuhde pääruiskutuksen ennakon aikastamisella

Taulukko 5.12 Seospolttoaineen hyötysuhteen muutokset

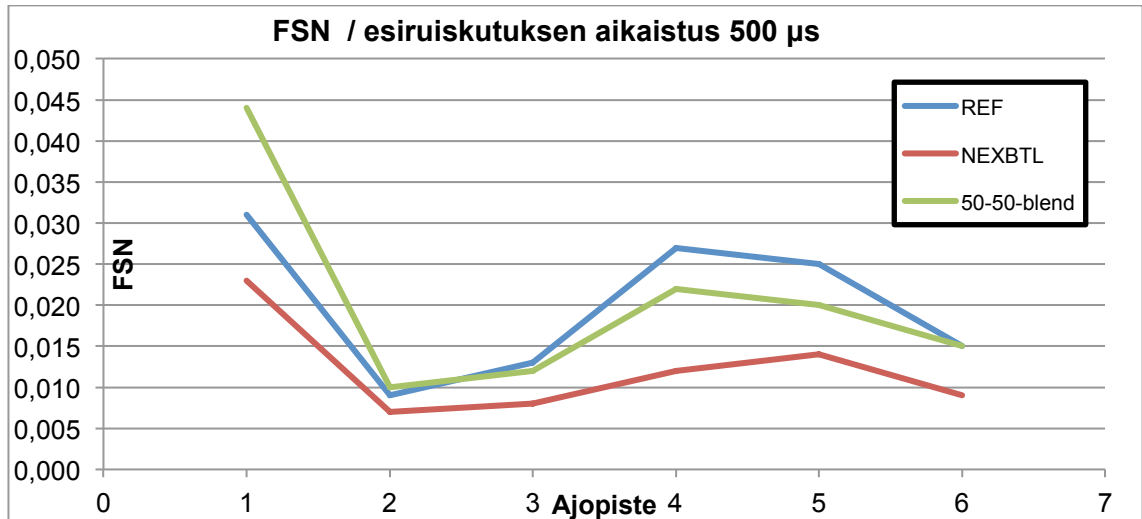
Hyötysuhde %	REF	NEXBTL	50-50
Ajopiste 1. 572Nm/1500rpm	40,0	40,1	39,6
Ajopiste 2. 417Nm/1300rpm	40,0	40,1	39,8
Ajopiste 3. 402Nm/1800rpm	38,7	38,7	38,3
Ajopiste 4. 215Nm/2200rpm	32,5	32,9	32,5
Ajopiste 5. 134Nm/1800rpm	30,6	30,4	30,1
Ajopiste 6. 139Nm/1300rpm	34,1	34,0	33,5
Keskimäärin	36,0	36,0	35,6

## 5.6 Hiukkaspäästöt PM

Typenoksidien ohella haitallisimpina päästöinä pidetään hiukkaspäästöjä. Hiukkaspäästöjä syntyy polttoainesuihkun hyvin rikkaissa osissa, jossa lambda on alle 0,5. Hiukkanen muodostuu nokiytimeen, johon lauhtuu hiilivetyjä. Savutus on hiukkaspäästön näkyvä osa, mutta ei ole sama asia kuin itse hiukkaspäästö. (Oppimateriaali, Dieselmoottoritekniikan säädöt ja mittaukset 2014.)

AVL Smoke -laite mittaa pakokaasuista savutuksen määrää. Se ilmoittaa savutuksen omalla luvullaan, josta saa laitteen valmistajan kaavalla laskettua hiukkaspäästöt arvona mg/kWh. Laitteen laskentakaavalla on useampi eri kerroinikäyrä, mikä voi aiheuttaa eroavaisuuksia tuloksissa, joten tässä tutkimuksessa vertaillaan tuloksia laitteen omalla FSN-luvulla. Varsinkin tässä tapauksessa se on tärkeää, koska moottorin savutus on erittäin pientä.

Tämän tutkimuksen mukaan savutus laskivat reilusti NEXBTL-polttoaineella verrattuna referenssipolttoaineeseen (kuvio 5.9). Hiukkaspäästöt laskivat jokaisessa pisteessä ja keskimäärin hiukkaspäästöjen laskua oli 38 % (taulukko 5.13).



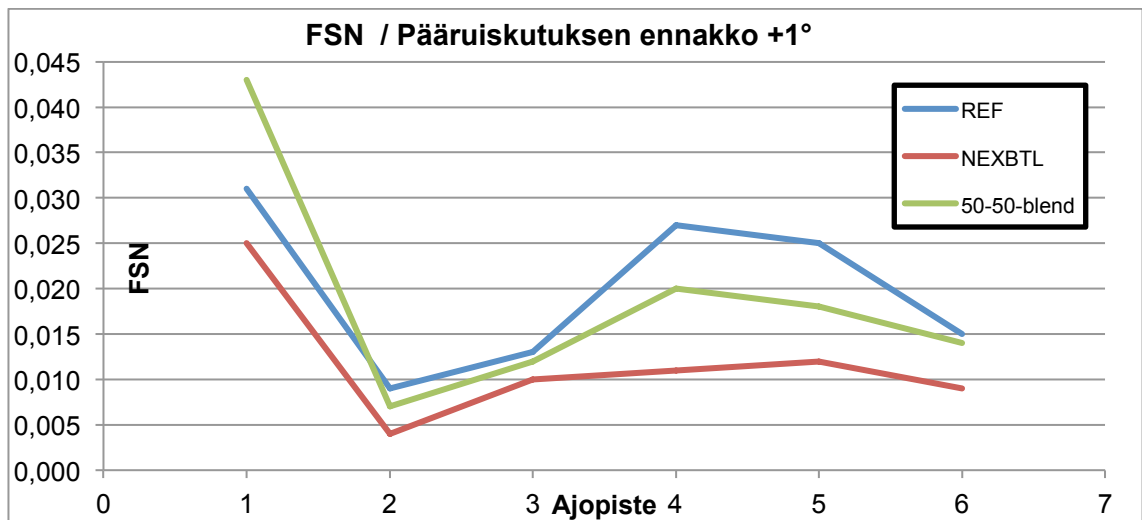
Kuvio 5.9 FSN-lukema esiruiskutuksen aikaistamisella

Taulukko 5.13 FSN-lukema muutokset esiruiskutuksen aikaistamisella

Hiukkaspäästöt, NEXBTL	REF	NEXBTL
Ajopiste 1. 572Nm/1500rpm	0,031	0,023
Ajopiste 2. 417Nm/1300rpm	0,009	0,007
Ajopiste 3. 402Nm/1800rpm	0,013	0,008
Ajopiste 4. 215Nm/2200rpm	0,027	0,012
Ajopiste 5. 134Nm/1800rpm	0,025	0,014
Ajopiste 6. 139Nm/1300rpm	0,015	0,009
Keskimäärin	0,02	0,01



Seospolttoaineella hiukkaspäästöjen muutokset olivat hieman vaihtelevampia kuin NEXBTL-polttoaineella (kuvio 5.10). Hiukkaspäästöt nousivat ensimmäisessä pisteessä verrattuna referenssipolttoaineeseen, mutta muissa pisteissä hiukkaspäästöt laskivat. Keskimäärin hiukkaspäästöt laskivat vähemmän kuin NEXBTL-polttoaineella, laskua tuli verrattuna referenssipolttoaineeseen 9 % (taulukko 5.14).



Kuvio 5.10 Hiukkaspäästöt pääruiskutuksen ennakon aikaistamisella

Taulukko 5.14 Seospolttoaineen hiukkaspäästöjen muutokset FSN-luvulla

Hiukkaspäästöt, seosp.	REF	Seospolttoaine
Ajopiste 1. 572Nm/1500rpm	0,031	0,043
Ajopiste 2. 417Nm/1300rpm	0,009	0,007
Ajopiste 3. 402Nm/1800rpm	0,013	0,012
Ajopiste 4. 215Nm/2200rpm	0,027	0,020
Ajopiste 5. 134Nm/1800rpm	0,025	0,018
Ajopiste 6. 139Nm/1300rpm	0,015	0,014
Keskimäärin	0,020	0,019

## 6 TULOSTEN ARVIOINTI

Työn tärkein tavoite oli tutkia, voidaanko mahdollinen päästöjen vähenemä hyödyntää parametrimuutoksilla NEXBTL-polttoainetta käyttämällä. Oletus oli, että NEXBTL-polttoaine laskee typenoksidipäästöjä huomattavasti, mutta tässä tutkimuksessa päästöt laskivat vain hieman eikä optimointivaraa ollut merkittävästi. Typenoksidipäästöt saattoivat olla korkeat sen takia, että testimoottorissa palaminen oli tehokasta, jolloin typenoksidipäästöjä syntyy. Jos tässä tutkimuksessa olisi ollut mukana pakokaasun takaisinkierrätys (EGR) tai jälkikäsitteilylaitteita kuten ureasuihkutus, olisi NEXBTL-polttoaineesta voitu saada isompi hyöty. Pakokaasun takaisinkierrätys laskee palamisen lämpötilaa ja vähentää näin typenoksidien syntymistä. Ureaa suihkutetaan SRC-katalyytissä pakokaasujen sekaan, ja se saa kemiallisella reaktiolla typenoksidien vähennyksen aikaiseksi pakoputkistossa.

Suuria tuloksiin vaikuttavia muutoksia ei havaittu ajojen suoritusten aikana. Olosuhteet luonnollisesti muuttuivat hieman ajojen aikana, mutta ilmeisesti eivät vaikuttaneet tuloksiin. Moottorin toiminnassakaan ei havaittu ongelmia ajojen aikana. Työn suunnittelussa ja toteutuksessa onnistuttiin kokonaisuudessaan hyvin ja mittaustuloksia voidaan pitää todenmukaisina.

Hiilivetyypäästöt (HC) alenivat 100-prosenttisella NEXBTL-polttoaineella jokaisessa ajopisteessä optimoinneilla ja ilman verrattuna referenssipolttoaineeseen. Lukuun ottamatta ajopistettä 6 (19kW/139Nm@1300rpm), josta hiilivetyypäästöt jäivät mittaamatta. Hiilimonoksidipäästöt (CO) käyttäytyivät hieman epämääräisemmin, ajopisteissä 1-3 hiilimonoksidipäästöt olivat samalla tasolla tai yli referenssipolttoaineen. Ajopisteissä 4-6 hiilimonoksidipäästöt olivat lähes jokaisella optimoinnilla alempana kuin referenssipolttoaineella.

NEXBTL-polttoainetta kuluu keskimäärin 2,4 % vähemmän massavirtana ja 4,6% enemmän tilavuusvirtana kuin referenssipolttoainetta. Tilavuuspohjaisesti sekoitettua seospolttoainetta kului massavirtana keskimäärin 1,2 % vähemmän ja tilavuusvirtana 5,9 % enemmän kuin referenssipolttoainetta. Optimointien jälkeen NEXBTL-polttoaineella saavutettiin parempi ominaiskulutus, hyötysuhde ja hiukkaspäästöt kuin seospolttoaineella.

Teknologian tutkimuskeskuksen (VTT) suorittamassa tutkimuksessa typenoksidipäästöjen vähenemä on suoraan verrannollinen NEXBTL-polttoaineen osuuden lisäämiseen seokseen. Tässä tutkimuksessa taas typenoksidipäästöt vähenivät enemmän seospolttoaineella kuin sataprosenttisella NEXBTL-polttoaineella, mutta sillä saavutettiin parempi ominaiskulutus, hyötysuhde ja pienemmät hiukkaspäästöt optimointien jälkeen. Hiukkaspäästöissä tulokset olivat samaa luokkaa, sataprosenttisella NEXBTL-polttoaineella saavutettiin pienemmät hiukkaspäästöt kuin seospolttoaineella. VTT:n tutkimuksessa NEXBTL-polttoaineen lisääminen seokseen laski myös hiukkaspäästöjä.

## 7 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli tutkia, saadaanko NEXBTL-polttoaineella päästöjen vähennemä hyödynnettyä kulutusetuna polttoaineen ruiskutuksen optimoinnilla. Ilman parametrimuutoksia 100-prosenttisellä NEXBTL-polttoaineella typenoksidipäästöjen laskua ei tapahtunut kahdessa ensimmäisessä ajopisteessä, mutta muissa pisteissä vähennemää tuli. Seospolttoaineella typenoksidipäästöjen vähennemää tuli jokaisessa ajopisteessä. Typenoksidipäästöjen vähennemä oli oleellista tutkimuksen onnistumiselle. Typenoksidipäästöt nostettiin mahdollisimman lähelle referenssipolttoaineen typenoksidipäästöjä polttoaineen ruiskutuksen optimoinnilla.

Tässä tutkimuksessa alkuasetelmien perusteella seospolttoaine vaikutti lupaavammalta kuin puhdas NEXBTL-polttoaine, koska sen typenoksidipäästöissä oli enemmän optimointivaraa. Optimoinnit, joilla saavutettiin referenssipolttoaineen typenoksiditasot, olivat NEXBTL-polttoaineella esiruiskutuksen aikaistus 500 mikrosekuntia ja seospolttoaineella pääruiskutuksen ennakon aikaistaminen yhdellä asteella. Tulokset olivat ristiriitaisia, eikä typenoksidien vähennemää saavutettu niin paljon NEXBTL-polttoaineella, kuten tutkimuksen alussa ajateltiin.

Jos tässä tutkimuksessa olisi ollut mukana pakokaasun takaisinkierrätys (EGR) tai jälkikäsitteilylaitteita, kuten ureasuihkutus, olisi NEXBTL-polttoaineesta voitu saada isompi hyöty. Pakokaasun takaisinkierrätys laskee palamisen lämpötilaa ja vähentää näin typenoksidien syntymistä. Ureaa suihkutetaan SRC-katalyytissä pakokaasujen sekaan, ja se saa kemiallisella reaktiolla typenoksidien vähennyksen aikaiseksi pakoputkistossa.

## LÄHTEET

Bioste Oy 2016. Viitattu 20.09.2016. <http://bioste.fi/bioenergia/biodiesel>

Lipasto Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiakulutuksen laskentajärjestelmä. 2015. Teknologian tutkimuskeskus VTT. Viitattu 19.09.2016. <http://lipasto.vtt.fi/liisa/noxs.htm>

Neste 2016. Viitattu 20.09.2016 <https://www.neste.com/na/en/customers/products/renewable-products/NEXBTL-renewable-diesel>

Neste 2016. Viitattu 20.09.2016. [https://www.neste.com/sites/default/files/attachments/neste\\_renewable\\_diesel\\_handbook.pdf](https://www.neste.com/sites/default/files/attachments/neste_renewable_diesel_handbook.pdf)

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy 2011. Viitattu 24.04.2016. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2011/T2604.pdf>

Turun ammattikorkeakoulu , Oppimateriaali, Dieselmootoritekniikan säädöt ja mittaukset 2014. Viitattu 27.10.2014.

Öljy- ja biopolttoaineala ry 2014. Viitattu 27.10.2014. <http://www.oil.fi/fi/ymparisto-biopolttoaineet/biopolttoaineet-liikenteessa>

Mollenhauer, K. & Tschoeke, H. 2009, käänttänyt Krister Johnson 2010. Handbook of Diesel Engines. Berlin: Springer-Verlag

Robert Bosch, 2007, suomentanut Björn Boström 2010, Dieselmootorin ohjaujärjestelmät, Helsinki: Autoalan koulutuskeskus

## Ajopäiväkirja

PÄIVÄ- MÄÄRÄ	TUN NIT	POLTTOAINE	AJON TARKOITUS
26.3.2014	1,4	DFO028	Testistartti kannenvaihdon jälkeen ja "vesipesu"
1.4.2014	0,6	DFO028	Testistartti, indikointilaitteiston käyttöönotto ja YKK määrittäminen
4.4.2014	3,3	DFO028	Laitetestaus
7.4.2014	2,1	DFO028	Vastapaineiden säätö, Compressor Air Coolingin säätö
8.4.2014	4,1	nDiesel	Ref 1, Ref 2
9.4.2014	3,6	nDiesel	Testiajoa: Nox-anturihuijaukset luotu, virtapihti vaihettu 1syl.-->4syl.
10.9.2014	4,6	nDiesel	Ref 3, Ref 4, Ref 5
11.4.2014	2,5	nDiesel	Ref 6 (r-parametrien, corioliksen ja vastapaineiden tarkistusta)
14.4.2014	2	nDiesel	Ref 7
15.2.2014	3,4	nDiesel	Ref 8 ja ref 9
17.2.2014	10,9	nDiesel	Ref 10 ja Ref 11
23.4.2014	4,8	nDiesel	Ref 12 , ref 13 p1 (tuloksia ei voi käyttää HFID osalta)ja testiajo
24.4.2014	4	nDiesel	ref 14 ja ref 15
25.4.2014	4,5	nDiesel	ref 16/17/18
29.4.2014	0,9	100 % NEXBTL	NEXBTL lähtötasoajo 1
30.4.2014	1,5	100 % NEXBTL	NEXBTL lähtötasoajo 2
5.5.2014	3,3	100 % NEXBTL	NEXBTL taulukointi, adv ja rp, P1
6.5.2014	3,6	100 % NEXBTL	NEXBTL taulukointi, adv ja rp, P2 ja P3
7.5.2014	3,6	100 % NEXBTL	NEXBTL taulukointi, adv ja rp, P4 ja P5
9.5.2014	2,9	100 % NEXBTL	NEXBTL taulukointi, adv ja rp, P6
13.5.2014	3,1	100 % NEXBTL	NEXBTL r.ennakko-optimointi 1 (taulukoinnin pohjalta)
14.5.2014	3,4	100 % NEXBTL	NEXBTL ennakko-optimointi 2(adv+1°) ja ruiskutuspainoptimointi 1 (rp+10MPa)
15.5.2014	3,7	100 % NEXBTL	NEXBTL Pilot 1 optimointi. Ajo 1 Pilot 1 adv 500 us ja ajo 2 Pilot 1 qty 3.
16.5.2014	2,2	100 % NEXBTL	NEXBTL Pilot 1 optimointi: Pilot 1 pois päältä
21.5.2014	4,3	50-50-mix fuel	50-50-mixin lähtötasoajo 1 ja 2
22.5.2014	4,7	50-50-mix fuel	50-50-mixin M1 ennakko-optimoinnit +1° ja -1° sekä ruiskutuspainoptimointi +10mbar
23.5.2014	4,4	50-50-mix fuel	50-50-mixin Pilot 1 optimoinnit adv500um, Qty3mg ja Pilot pois päältä.

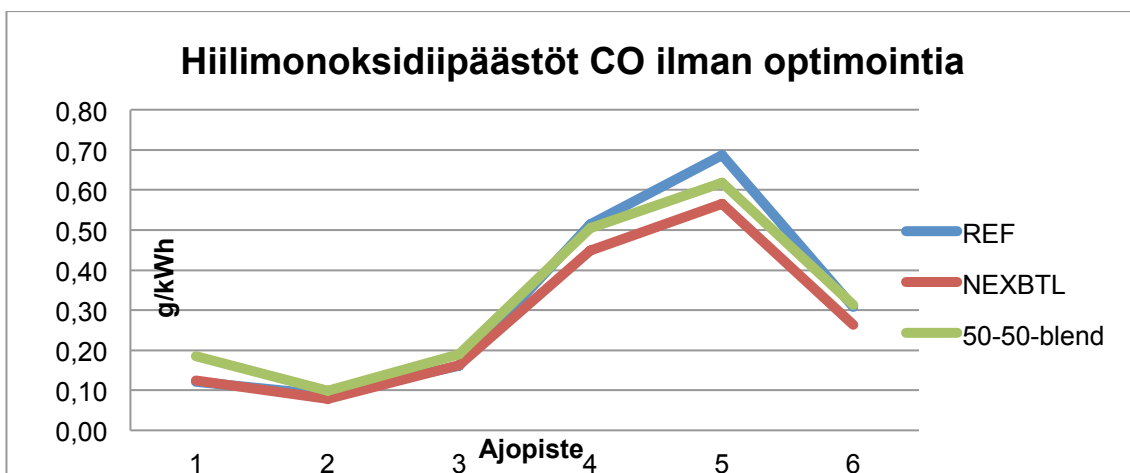
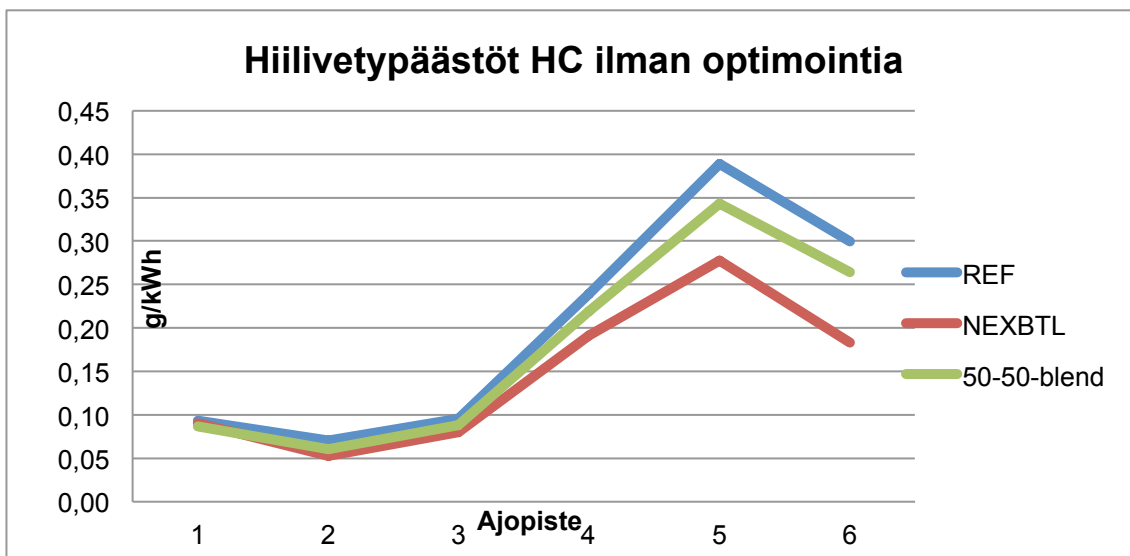
PÄIVÄ- MÄÄRÄ	HUOMIOITAVAA
26.3.2014	
1.4.2014	JUM rikki -> vaihdettu 2.4. U3:n JUM
4.4.2014	Pegasor näyttää PXI:llä väärin
7.4.2014	Virtapihti rikki. Pegasor skaalamatta -> korjattu
8.4.2014	
9.4.2014	
10.9.2014	
11.4.2014	
14.4.2014	Vastapaineet laskevat edelleen.
15.2.2014	Vastapaine laskenut eilisen ajoista 30mbar --> säädetty ajon alussa 138mbar.
17.2.2014	
23.4.2014	22.4. HFID 2 vaihdettu, tilalle HFID 1 .
24.4.2014	Pakovastapaine putosi ref 14 jälkeen. P Exh after turbine-anturin metallijousto vaihdettu-> PVP korjaantunut.
24.4.2014	REF ajojen 2-14 tuloksia ei voi käyttää viallisen p exh pipe-lukeman vuoksi.
29.4.2014	
30.4.2014	
5.5.2014	Ennen ajoa vaihdettiin EGR ja turbiinin väliset pultit/imuilmakanavan tuki uusittiin ->korjattu
6.5.2014	P1 tarkistuspisteessä coolerin jälkeinen kumiputki levahti. Kiristetty paikalleen.
7.5.2014	
9.5.2014	1 turbon ja pakosarjan välinen pitkä pultti oli poikki, vaihdettu ennen ajoa.
13.5.2014	
14.5.2014	
15.5.2014	
16.5.2014	
21.5.2014	
22.5.2014	
23.5.2014	

# Polttoaineanalyysi

Kesädiesel (-5/-15), fossiilinen				100% NExBTL			50/50-seos		
Standardi	Mitattu suure	Arvo	Yksikkö	Mitattu suure	Arvo	Yksikkö	Mitattu suure	Arvo	Yksikkö
ENISO12185	TIHEYS	837	kg/m <sup>3</sup>	TIHEYS	779,7	kg/m <sup>3</sup>	TIHEYS	808,55	kg/m <sup>3</sup>
ASTMD7689	SAME-TARKKA	-5,1	°C	SAME-TARKKA	-37	°C			
EN116	CFPP	-20	°C	CFPP	-42	°C			
ENISO3104	VISKO40°C	3,45	mm <sup>2</sup> /s	VISKO40°C	2,892	mm <sup>2</sup> /s	VISKO40°C	3,178	mm <sup>2</sup> /s
ENISO20846	RIKKI	6,6	mg/kg	RIKKI	<1	mg/kg	RIKKI	3,3	mg/kg
ASTMD5291	VETY	13,9	wt-%	VETY	15,2	wt-%	VETY	14,6	wt-%
ENISO2719	LEIM-PM	68,5	°C	LEIM-PM	76,5	°C			
ASTMD6890	SETLUKU-IQT	53,2		SETLUKU-IQT	74		SETLUKU-IQT	63,3	
ASTMD4809	TEH LÄMPÖARVO	43,0	MJ/kg	TEH LÄMPÖARVO	43,855	MJ/kg	TEH LÄMPÖARVO	43,448	MJ/kg
ASTMD4809	TEH LÄMPÖARVO	36,0	MJ/l	TEH LÄMPÖARVO	34,195	MJ/l	TEH LÄMPÖARVO	35,119	MJ/l
ENISO3405	TIS- TA	179	°C	TIS- TA	201,8	°C	TIS- TA	185,2	°C
ENISO3405	TIS-05	208	°C	TIS-05	249,6	°C	TIS-05	224,1	°C
ENISO3405	TIS-10	222	°C	TIS-10	260,8	°C	TIS-10	241	°C
ENISO3405	TIS-20	243	°C	TIS-20	268,8	°C	TIS-20	257	°C
ENISO3405	TIS-30	261	°C	TIS-30	272,7	°C	TIS-30	267,8	°C
ENISO3405	TIS-40	277	°C	TIS-40	275,3	°C	TIS-40	275,5	°C
ENISO3405	TIS-50	291	°C	TIS-50	277,4	°C	TIS-50	281,4	°C
ENISO3405	TIS-60	303	°C	TIS-60	279,5	°C	TIS-60	286,8	°C
ENISO3405	TIS-70	314	°C	TIS-70	281,8	°C	TIS-70	293,5	°C
ENISO3405	TIS-80	327	°C	TIS-80	285	°C	TIS-80	302,4	°C
ENISO3405	TIS-90	342	°C	TIS-90	289,5	°C	TIS-90	320,3	°C
ENISO3405	TIS-95	352	°C	TIS-95	294,3	°C	TIS-95	338,4	°C
ENISO3405	TIS-TL	357	°C	TIS-TL	303,9	°C	TIS-TL	348,6	°C
EN12916	AROM-DI	1,3	wt-%	AROM-DI	<0,1	wt-%	AROM-DI	0,65	wt-%
EN12916	AROM-TRI	0,13	wt-%	AROM-TRI	<0,10	wt-%	AROM-TRI	0,065	wt-%
EN12916	AROM-DI+TRI	1,4	wt-%	AROM-DI+TRI	<0,1	wt-%	AROM-DI+TRI	0,7	wt-%
EN12916	AROM-kokonais	17,9	wt-%	AROM-MONO	<0,2	wt-%	AROM-MONO	8,95	wt-%
ASTMD4809	KAL LÄMPÖARVO	45,9	MJ/kg	AROM-LC	<0,2	wt-%			
				HFRR	333	µm/60°C			
				TUHKKA	<0,001	wt-%			
				HIILTOJ10%-MCR	<0,01	wt-%			



## Hiilivety- ja hiilimonoksidipäästöt



## Polttoaineiden ominaisuudet

### NEXBTL-polttoaineen kulutus massavirtana

Polttoaineen kulutus	REF g/s	NEXBTL g/s	ero %
Ajopiste 1. 90kW/572Nm@1500rpm	5,22	5,10	-2,5 %
Ajopiste 2. 57kW/417Nm@1300rpm	3,31	3,23	-2,5 %
Ajopiste 3. 76kW/402Nm@1800rpm	4,56	4,46	-2,1 %
Ajopiste 4. 50kW/215Nm@2200rpm	3,59	3,48	-3,2 %
Ajopiste 5. 26kW/134Nm@1800rpm	1,95	1,91	-1,8 %
Ajopiste 6. 19kW/139Nm@1300rpm	1,31	1,28	-2,1 %
Keskimäärin	3,32	3,24	-2,4 %

### NEXBTL-polttoaineen kulutus tilavuusvirtana

Polttoaineen kulutus	REF dm3/h	NEXBTL dm3/h	ero % dm3/h
Ajopiste 1. 90kW/572Nm@1500rpm	22,5	23,5	4,5 %
Ajopiste 2. 57kW/417Nm@1300rpm	14,3	14,9	4,5 %
Ajopiste 3. 76kW/402Nm@1800rpm	19,6	20,6	5,0 %
Ajopiste 4. 50kW/215Nm@2200rpm	15,5	16,1	3,7 %
Ajopiste 5. 26kW/134Nm@1800rpm	8,38	8,82	5,2 %
Ajopiste 6. 19kW/139Nm@1300rpm	5,64	5,92	5,0 %
Keskimäärin	14,3	15,0	4,6 %

### NEXBTL-polttoaineteho

Laskennallinen polttoaineteho	REF kWh	NEXBTL kWh	ero % kWh
Ajopiste 1. 90kW/572Nm@1500rpm	225,0	223,7	-0,8 %
Ajopiste 2. 57kW/417Nm@1300rpm	142,7	141,7	-0,8 %
Ajopiste 3. 76kW/402Nm@1800rpm	196,6	195,6	-0,4 %
Ajopiste 4. 50kW/215Nm@2200rpm	154,8	152,6	-1,5 %
Ajopiste 5. 26kW/134Nm@1800rpm	84,1	83,8	-0,1 %
Ajopiste 6. 19kW/139Nm@1300rpm	56,5	56,1	-0,4 %
Keskimäärin	143,3	142,2	-0,7 %

## Seospolttoaineen kulutus massavirtana

Polttoaineen massavirta	REF g/s	Seosp. g/s	ero % g/s
Ajopiste 1. 90kW/572Nm@1500rpm	5,22	5,16	-1,2 %
Ajopiste 2. 57kW/417Nm@1300rpm	3,31	3,27	-1,2 %
Ajopiste 3. 76kW/402Nm@1800rpm	4,56	4,51	-1,0 %
Ajopiste 4. 50kW/215Nm@2200rpm	3,59	3,51	-2,3 %
Ajopiste 5. 26kW/134Nm@1800rpm	1,95	1,94	-0,4 %
Ajopiste 6. 19kW/139Nm@1300rpm	1,31	1,30	-0,5 %
Keskimäärin	3,32	3,28	-1,1 %

## Seospolttoaineen kulutus tilavuusvirtana

Polttoaineen tilavuusvirta	REF dm <sup>3</sup> /h	Seosp. dm <sup>3</sup> /h	ero % dm <sup>3</sup> /h
Ajopiste 1. 90kW/572Nm@1500rpm	22,50	22,99	2,2 %
Ajopiste 2. 57kW/417Nm@1300rpm	14,27	14,57	2,1 %
Ajopiste 3. 76kW/402Nm@1800rpm	19,63	20,09	2,3 %
Ajopiste 4. 50kW/215Nm@2200rpm	15,47	15,62	1,0 %
Ajopiste 5. 26kW/134Nm@1800rpm	8,38	8,62	2,9 %
Ajopiste 6. 19kW/139Nm@1300rpm	5,64	5,80	2,9 %
Keskimäärin	14,32	14,62	2,2 %

## Seospolttoaineen polttoaineteho

Laskennallinen polttoaineteho	REF kW	Seosp. kW	ero % kW
Ajopiste 1. 90kW/572Nm@1500rpm	225,0	224,3	-0,4 %
Ajopiste 2. 57kW/417Nm@1300rpm	142,7	142,2	-0,5 %
Ajopiste 3. 76kW/402Nm@1800rpm	196,6	196,0	-0,2 %
Ajopiste 4. 50kW/215Nm@2200rpm	154,8	152,5	-1,5 %
Ajopiste 5. 26kW/134Nm@1800rpm	84,0	84,2	0,4 %
Ajopiste 6. 19kW/139Nm@1300rpm	56,5	56,6	0,3 %
Keskimäärin	143,3	142,6	-0,3 %