



**TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
ÅBO YRKESHÖGSKOLA**

Opinnäytetyö

**TYÖKONEDIESELMOOTTORIN
VENTTIILINAJOITUSTUTKIMUS**

Ville Tikkanen

Kone- ja tuotantotekniikka

2009

Koulutusohjelma: Kone- ja tuotantotekniikka	
Tekijä: Ville Tikkanen	
Työn nimi: Työkonedieselmoottorin venttiilinajoitustutkimus	
Suuntautumisvaihtoehto: Energia- ja ympäristötekniikka	Ohjaaja: yliopettaja, dosentti Seppo Niemi
Opinnäytetyön valmistusmisajankohta: Toukokuu 2009	Sivumäärä: 51 + 19 liitesivua
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia erilaisten Miller-ajoitukseen perustuvien nokka-akseleiden ja kaksivaiheturboahdinten vaikutusta pakokaasupäästöihin. Tarkastelun kohteina olivat polttoaineen ominaiskulutus, typen oksidi- ja hiukkaspäästöt sekä savutus.</p> <p>Tutkimus suoritettiin kokeellisena Turun ammattikorkeakoulun moottorintutkimuslaboratoriossa AGCO Sisu Power Oy:n toimittamalla 74 CTA –työkonedieselmoottorilla.</p> <p>Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa vertailtiin neljää eri nokka-akselia ja turboahdinkokoonpanoa toisiinsa. Nokka-akseleiden väliset erot muodostuivat imuventtiilien sulkeutumisaikojen, avautumishetkestä sekä aukioloajasta. Turboahdintoina käytettiin yksivaihe- ja kaksivaiheahdinta.</p> <p>Tutkimuksen toisessa vaiheessa polttoaineen ruiskutusparametrejä säädettiin siten, että polttoaineen ominaiskulutus pieneni. Tämän jälkeen tutkimusajot suoritettiin uudelleen ja niistä saatuja tuloksia verrattiin ennen ruiskutusparametrien säätöä saatuun tuloksiin.</p> <p>Tutkimuksen tuloksena typen oksidipäästöt pienenivät mutta polttoaineen ominaiskulutus ja hiukkaspäästöt lisääntyivät.</p>	
Hakusanat: dieselmoottori, pakokaasupäästöt, nokka-akseli, Miller-ajoitus	
Säilytyspaikka: Turun ammattikorkeakoulun kirjasto ja moottorilaboratorion tilat	

Degree Programme: Mechanical Engineering	
Author: Ville Tikkanen	
Title: Effects of valve timing in an off-road diesel engine	
Specialization line: Energy and environmental technology	Instructor: Principal Lecturer, Docent Seppo Niemi
Date: May 2009	Total number of pages: 51 + 19 appendices
<p>The aim of this thesis was to study the effects of Miller timing based camshafts and a two-stage turbocharger on the exhaust emissions of an off-road diesel engine.</p> <p>The work was performed in co-operation with AGCO Sisu Power Inc. and the measurements were carried out at the engine research laboratory of Turku University of Applied Sciences. The engine was a 74 CTA off-road diesel engine.</p> <p>In the first part of the study, four different camshaft and turbocharger assemblies were investigated. The camshafts had different types of intake valve closing timings, opening times and opening periods.</p> <p>In the second part of the study the injection parameters were adjusted to reduce specific fuel consumption. After the adjustment, the measurements were conducted again and the emissions were compared with those determined before adjusting the injection parameters.</p> <p>The nitrogen oxides emissions were reduced but at the same time specific fuel consumption and particulate emissions were increased.</p>	
Keywords: diesel engine, exhaust emissions, camshaft, Miller timing	
Deposit at: Library at Turku University of Applied Sciences and engine research laboratory	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	2
2	MILLER-TYÖKIERTO	3
3	KAKSIVAIHETURBOAHDIN	4
4	KOEJÄRJESTELYT	6
4.1	Tutkimusmoottori	6
4.2	Pyörrevirtajarru	7
4.3	Mittauslaitteisto	7
4.3.1	Pakokaasukomponentit	7
4.3.2	Lämpötilat ja paineet	8
4.3.3	Tutkimuslaboratorion olosuhteet	9
4.4	Polttoaine	9
4.5	Ulkoiset olosuhteet	9
5	NOKKA-AKSELITUTKIMUS	10
5.1	Tutkimuksen lähtökohdat	10
5.2	Ajosykli ja mittauspisteet	11
5.3	Mittausten kulku	13
5.4	Tulosten laskenta	13
6	TULOKSET	14
7	YHTEENVETO	15

1 KUVAT

- Kuva 1. Kaksivaiheturbohtimen toimintaperiaate (BorgWarner [viitattu 20.4.2009]).* 5
- Kuva 2. Kaksivaiheturboahdinjärjestelmästä mitatut lämpötilat ja paineet.* 9

MERKIT JA LYHENTEET

Tässä opinnäytetyössä on käytetty seuraavia suomenkielestä poikkeavia merkkejä ja lyhenteitä:

BMEP	Tehollinen keskipaine (Brake Mean Effective Pressure)
CO	Hiilimonoksidi (Carbon Monoxide)
CO ₂	Hiilidioksidi (Carbon Dioxide)
EEM	Elektroninen moottorihjausjärjestelmä (Electronic Engine Management)
FSN	Savutuksen mittayksikkö (Filter Smoke Number)
HC	Hiilivedyt (Hydrocarbons)
NO _x	Typen oksidit (Oxides of Nitrogen)
PM	Pienhiukkaset (Particulate Matter)
ppm	Miljoonas osa (Parts per Million)
rpm	Pyörintänopeus [1/min] (Revolutions per Minute)
SFC	Polttoaineen ominaiskulutus [g/kWh] (Specific Fuel Consumption)
O ₂	Happi (Oxygen)
NRSC	Direktiivin mukainen staattinen emissioajo (Non-Road Steady Cycle)
NRTC	Direktiivin mukainen transientti emissioajo (Non-Road Transient Cycle)

2 JOHDANTO

Maailmanlaajuisesti kasvavat päästöt ja kasvihuoneilmiön kiihtyminen ovat johtaneet pakokaasupäästöjen rajoittamiseen erilaisin normein. Jatkuvasti kiristyvät normit ovat pakottaneet moottorinvalmistajat panostamaan tuotekehitykseen ja kehittämään puhtaampia moottoreita.

Tämän työn tavoitteena oli tutkia Miller-ajoitukseen perustuvien nokka-akselien ja kaksivaiheturbohtimen vaikutuksia pakokaasupäästöihin työkonadieselmoottorissa. Tutkimuksella haettiin keinoja, joilla edesautettaisiin vuonna 2014 voimaan astuvan Tier 4 –päästönormin täyttämistä.

Kokeellinen tutkimus suoritettiin talven 2009 aikana Turun ammattikorkeakoulun moottorintutkimuslaboratoriossa. Tutkimus tehtiin yhteistyössä AGCO Sisu Power Oy:n kanssa, ja tutkimuksessa käytettiin heidän toimittamaa tutkimusmoottoria sekä komponentteja.

Tutkimusmoottori oli AGCO Sisu Powerin valmistama 74 CTA –dieselmoottori, Taulukko 1. Tutkimusmoottori oli kuusisylinterinen, turboahdettu, Common Rail –yhteispaineruiskutusjärjestelmällä varustettu moottori, jossa oli neliventtiilikansi sekä ahtoilman välijäähdytys.

Ensimmäiseksi tutkittiin Miller-ajoitukseen perustuvien nokka-akselien ja kaksivaiheturbohtimen vaikutuksia pakokaasupäästöihin.

Tämän jälkeen polttoaineen ruiskutusparametrejä säädettiin ja tutkimusajot suoritettiin uudelleen yhdellä nokka-akseli- ja turboahdinkokoonpanolla. Tuloksissa vertailtiin keskenään pakokaasupäästöjä ennen ja jälkeen ruiskutusparametrien säädön.

3 MILLER-TYÖKIERTO

Miller-sykli voidaan toteuttaa aikaistamalla imuventtiilin sulkeutumista. Suljettaessa imuventtiili ennen alakuolokohtaa täytös paisuu. Paisunnan aikana paine ja lämpötila laskevat. Haittana imuventtiilin aikaistetulla sulkeutumisella on venttiilin lyhyempi aukioloaika sekä mahdollisesti lyhyempi nousu, jolloin pyrittäessä normaalia kiertoa vastaavaan ilmamäärään joudutaan ahtoilman virtaukseen puuttumaan. Tehokkaalla ahtamisella ja imuilman jäähtytyksellä voidaan imuilman tiheyttä kasvattaa nostamatta sen lämpötilaa, jolloin pystytään saavuttamaan vastaava ilmamäärä sylinterissä kuin normaalissa dieselkierrossa. Kuitenkin ylimääräisen paisuntavaiheen ansiosta saadaan imuilman lämpötilaa puristustahdin alussa pienennettyä ja siten myös palamislämpötilaa sekä sylinterin maksimipainetta. (Huusko 2006, 29.)

Miller-työkierrossa alennetaan ilman lämpötilaa ja siten koko palamistapahtuman lämpötilaa. Suurin osa NO_x -päästöistä syntyy palamisen alkuvaiheessa. Tällöin normaalia alhaisemman lämpötilan vuoksi NO_x -päästöjen muodostumisnopeutta saadaan pienennettyä palotapahtuman alussa ja NO_x -päästöjen muodostumista koko palotapahtuman aikana. Pienillä pyörintänopeuksilla imuventtiilin aukioloaika saattaa kuitenkin jäädä liian lyhyeksi ilmaylimäärän saavuttamiseksi, vaikka ahtopainetta kasvatettaisiinkin. Tämä saattaa lisätä NO_x -päästöjä pienillä kuormilla ja pyörintänopeuksilla. Moottoria kuormitettaessa matalammat lämpötilat paisunnan aikana ja vähäinen ilma/polttoaine-suhde aiheuttavat myös savutuksen lisääntymistä. Mitä enemmän imuventtiilin aukioloaikaa pienennetään, sitä enemmän imuilmaa joudutaan ahtamaan ja jäähtyttämään, mikäli moottorin ominaisuudet halutaan pitää ennallaan sekä estää päästöjen kasvu. Erittäin aikaiset imuventtiilin sulkeutumisajankohdat vaativat korkeita ahtopaineita. Yksi tehokas ratkaisu tähän on kaksivaiheturboahdatus, jonka avulla on mahdollista ahtaa ilmaa tehokkaasti koko pyörintänopeusalueella. (Huusko 2006, 32; Wik & Hallback 2007, 1)

4 KAKSIVAIHETURBOAHDIN

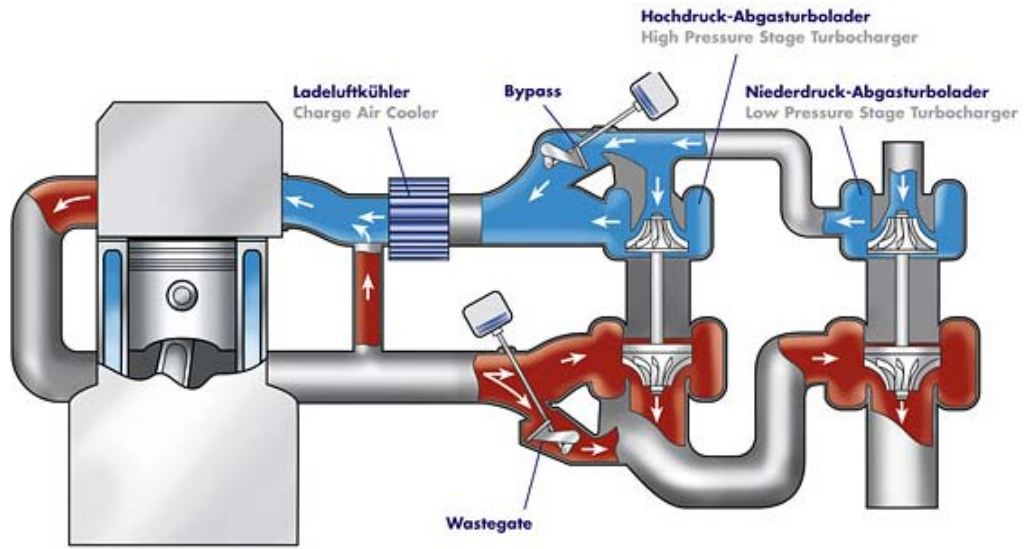
Kaksivaiheturboahdin on moottorin ahtamisjärjestelmä, jossa kaksi erikokoista pakokaasuahdinta on kytketty sarjaan. Järjestelmässä käytetään usein ohitusventtiilejä ja välijäähdytintä ahtimien välissä. Järjestelmän tarkoituksena on ahtopaineen suurentaminen. Sylintereistä poistuva pakokaasu virtaa ensin pakosarjaan, josta se johdetaan suurpaineahtiminen (HP) läpi. Osa pakokaasuvirrasta voidaan ohjata ohitusventtiilin kautta. Suurpaineahtimesta pakokaasu virtaa pienpaineahtimen (LP) läpi ja sieltä edelleen pakoputkeen, Kuva 1. (Pflüger, 2 [viitattu 18.4.2009]).

Imuilma johdetaan ensin pienpaineahtimeen. Lämmennyt ahtoilma voidaan jäähdyttää välijäähdyttimellä ennen suurpaineahdinta. Järjestelmässä on myös toinen ahtoilmanjäähdytin, jonka tarkoituksena on jäähdyttää ilma tehokkaasti, ennen kuin se virtaa sylintereihin (Pflüger, 2 [viitattu 18.4.2009]).

Pienpaineahtimessa tapahtuvan esipuristuksen johdosta suhteellisen pieni suurpaineahdin toimii korkealla painetasolla. Pienillä pyörintänopeuksilla, kun pakokaasun virtaus on pieni, ohitusventtiili on kiinni ja suurin osa pakokaasun massavirrasta johdetaan suurpaineahtimen läpi. Tällöin ahtopaine nousee nopeasti. Pyörintänopeuden kasvaessa ohitusventtiiliä avataan vähitellen ja osa pakokaasusta virtaa suoraan pienpaineahtimeen (Pflüger, 2 [viitattu 18.4.2009]).

Ahtopaine kasvaa huomattavasti nopeammin tällaista kaksivaiheturboahdinta käytettäessä kuin yksivaiheturboahdimella, varsinkin pienillä pyörintänopeuksilla, minkä seurauksena pakokaasun lämpötila laskee ja moottorin lämpökuorma pienenee. Suuren ahtopaineen ansiosta moottorin teho ja vääntömomentti paranee. Kaksivaiheahdimen käyttö pienentää parhaimmillaan myös polttoaineen ominaiskulutusta ja vähentää haitallisia pakokaasupäästöjä. (Pflüger, 2 [viitattu 18.4.2009]; Stone 1999, 402).

Regulated 2-stage Turbocharging (R2S™)



Kuva 1. Kaksivaiheturboohtimen toimintaperiaate (BorgWarner [viitattu 20.4.2009]).

5 KOEJÄRJESTELYT

5.1 Tutkimusmoottori

Tutkimusmoottorina käytettiin AGCO Sisu Powerin valmistamaa 74 CTA – dieselmoottoria, Taulukko 1. Tutkimusmoottori oli kuusisylinterinen, turboahdettu, Common Rail –yhteispaineruiskutusjärjestelmällä varustettu moottori, jossa oli neliventtiilikansi sekä ahtoilman välijäähdytys.

Taulukko 1. Sisu Diesel 74 CTA –moottorin tekniset tiedot (AGCO Sisu Power Oy).

Valmistaja	<i>AGCO Sisu Power Oy</i>
Moottorityyppi	74 CTA 4V
Sylinteriluku	6
Sylinterin halkaisija	108 mm
Iskun pituus	134 mm
Iskutilavuus	7,4 dm ³
Nimellisteho	175 kW
Maksimivääntömomentti	1050 Nm

Common Rail –yhteispaineruiskutus mahdollisti ruiskutusparametrien säädön. Polttoaineen ruiskutus voitiin jakaa viiteen osaan yhden työkierron aikana. Säädettävät ruiskutusjaksot olivat: ennen pääruiskutusta tapahtuvat (pilot1 ja pilot2), varsinainen pääruiskutus (main1), jälkimmäinen pääruiskutus (main2) sekä jälkiruiskutus (post).

Ruiskutusparametrien säätö tapahtui Win EEM-moottorinohjausjärjestelmän hallintaohjelmalla. Ohjelmalla voitiin säätää ruiskutujaksojen lisäksi mm. ruiskutuspainetta ja ruiskutumääriä.

5.2 Pyörrevirtajarru

Tutkimusmoottori oli kytketty Schenck-pyörrevirtajarruun, Taulukko 2. Pyörrevirtajarrua säädettiin valvomosta käsin pc-pohjaisella LabView -ohjelmalla. Jäähdytystä varten jarrussa kiersi vesijohtovesi.

Taulukko 2. Pyörrevirtajarrun tekniset tiedot. (Schenck)

Valmistaja	Schenck
Malli	WT470
Nimellisvääntömomentti	3000 Nm
Suurin pyörimisnopeus	5500 rpm
Nimellisteho	470 kW

5.3 Mittauslaitteisto

Tutkimuksessa käytetyt laitteet olivat Turun ammattikorkeakoulun moottorintutkimuslaboratorion mittauslaitteita. Tutkimusmoottorista mitattiin pakokaasukomponentteja sekä monia lämpötiloja ja paineita. Mittaustulosten keräämiseen käytettiin pc-pohjaista tiedonkeruujärjestelmää.

5.3.1 Pakokaasukomponentit

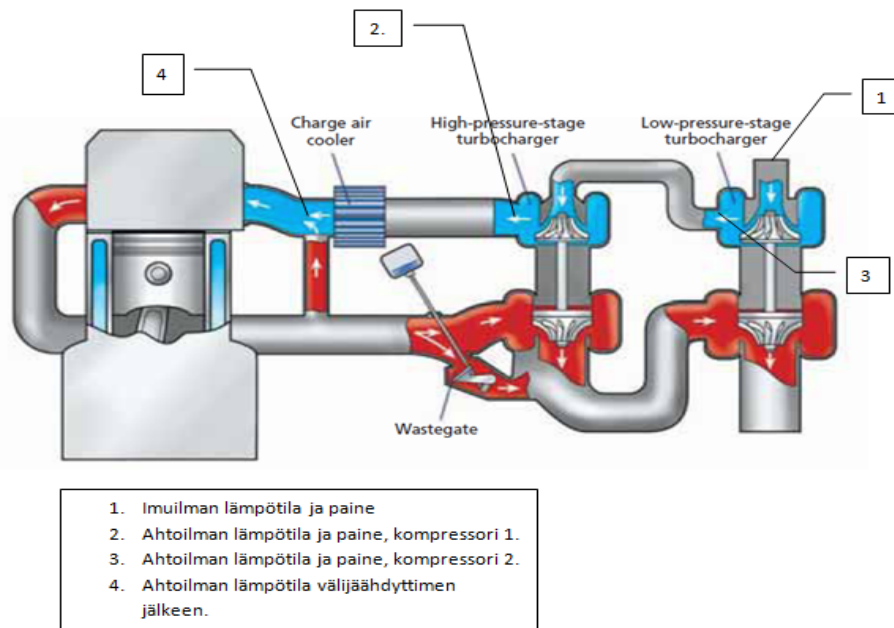
Tutkimuksessa mitattavia pakokaasukomponentteja olivat typen oksidit (NO_x), hiilimonoksidi (CO), happi (O_2), hiilidioksidi (CO_2), hiilivedyt (HC) sekä pienhiukkaset (PM). Pakokaasukomponentteja mitattiin Horiba Mexa-9400 H –pakokaasuanalysaattorilla. Savutusta mitattiin AVL 415 S -savutusmittarilla. Pakokaasun opasiteetin mitaamiseen käytettiin Celesco Model 107 In-Line -opasiteettimittaria.

5.3.2 Lämpötilat ja paineet

Tutkimusmoottorista mitattiin useita eri lämpötiloja ja paineita, Taulukko 3. Mitatut lämpötilat ja paineet tallentuivat tiedonkeruujärjestelmään. Tutkimusmoottorin öljyn-painetta ja –lämpötilaa ei tallennettu tiedonkeruujärjestelmään, mutta niitä tarkkailtiin valvomossa. Kuvassa 2 on esitetty kaksivaiheturboahtimen imu- ja ahtoilman paineiden ja lämpötilojen mittauspaikat.

Taulukko 3. Tutkimusmoottorista mitatut lämpötilat ja paineet.

Mitatut lämpötilat	Mitatut paineet
Imuilma	Imuilma
Imusarja	Imusarja
Pakosarja	Pakosarja
Pakoputki	Pakoputki
Polttoaine	
Moottorin jäähdytysvesi	
Öljy	Öljy
Ahtoilma, kompressori 1	Ahtoilma, kompressori 1
Ahtoilma, kompressori 2	Ahtoilma, kompressori 2
Ahtoilma välijäähdyttimen jälkeen	



Kuva 2. Kaksivaiheturboahdinjärjestelmästä mitatut lämpötilat ja paineet.

5.3.3 Tutkimuslaboratorion olosuhteet

Tutkimuksen aikana mitattiin myös tutkimuslaboratorion ilmanpaine, -kosteus sekä – lämpötila Vaisalan valmistamalla laitteella. Tiedot tallentuivat tiedonkeruujärjestelmään.

5.4 Polttoaine

Tutkimuksessa oli käytössä vähärikkinen dieselpolttoaine. Polttoaineen lämpötila pyrittiin pitämään vakiona tutkimuksen aikana. Polttoaineesta tehty laboratorioanalyysitulokset löytyy liitteestä 1.

5.5 Ulkoiset olosuhteet

Tutkimus suoritettiin talven 2009 aikana. Ulkoilman lämpötilan, ilmanpaineen ja suhteellisen kosteuden vaihdella myös laboratorion sisäilmassa tapahtui muutoksia. Lämpötilan vaihtelut ovat voineet vaikuttaa tuloksiin hieman. NO_x -ominaispäästöjä laskettaessa tämä on otettu huomioon korjauskertoimella.

6 NOKKA-AKSELITUTKIMUS

Nokka-akselitutkimuksen tarkoituksena oli tutkia Miller-ajoitukseen perustuvia nokka-akseleita käyttäen yksivaiheturboahdinta. Tämän jälkeen turboahdin oli tarkoitus vaihtaa kaksivaiheturboahtimeen, minkä jälkeen emissioajot olisi suoritettu uudestaan. Näistä saatuja tuloksia oli tarkoitus verrata referenssinokka-akselin tuloksiin.

Nokka-akselia 3D874 tutkittaessa todettiin, että emissioajoja oli mahdotonta suorittaa, mikäli käytettiin normaalia turboahdinta tämän nokka-akselin kanssa. Tällä komponenttien yhdistelmällä moottori ei saanut tarpeeksi ilmaa, ja käynti muuttui erittäin epätasaiseksi. Emissioajot suoritettiin seuraavilla yhdistelmillä: Referenssinokka-akseli ja yksivaiheturboahdin, nokka-akseli 3D873 sekä yksivaiheturboahdin että kaksivaiheturboahdin, 3D874 ja kaksivaiheturboahdin. Akselia 3D875 ei tutkittu, koska edellisten yhdistelmien tulosten perusteella se arvioitiin turhaksi.

6.1 Tutkimuksen lähtökohdat

Tutkimuksessa erityisen tarkkailun kohteena olivat typenoksidipäästöt, hiukkaspäästöt sekä polttoaineen ominaiskulutus.

Tutkimuksen lähtökohtana oli selvittää keinoja, joilla voitaisiin edesauttaa vuonna 2014 voimaan astuvien Tier 4 –päästönormien saavuttamista, Taulukko 5.

Taulukko 4. Tier 4 ja EU Stage IV –päästönormit (Dieselnet [viitattu 16.3.2009]).

Tier 4					
Engine Power (kW)	Year	CO	NMHC	NO _x	PM
		g/kWh			
130 ≤ kW ≤ 560	2014	3.5	0.19	0.4	0.02
EU Stage IV					
130 ≤ kW ≤ 560	2014	3.5	0.19	0.4	0.025

6.2 Ajosykli ja mittauspisteet

Jokaisella nokka-akselilla ajettiin normin mukainen NRSC-emissioajo. Normissa on määritelty kahdeksan mittauspistettä, joissa pakokaasupäästöt mitataan, Taulukko 6. Tässä tutkimuksessa referenssinokka-akselin ja yksivaiheturboahdinten yhdistelmällä saatua vääntömomenttia pidettiin mittauspisteiden lähtökohtana, koska kuormitusprosentti muuttui eri nokka-akseli- ja turboahdinkokoonpanojen välillä. Nokka-akselin 3D874 ja kaksivaiheturbon yhdistelmällä vääntömomenttia rajoitettiin moottorin epätasaisen käynnin vuoksi, joten se oli matalampi kuin muilla yhdistelmillä. NRSC –emissioajon tulosten analysoinnissa käytetään kuormitusprosenttia kuormituspisteen ilmaisemisessa. Normin mukaisten kuormituspisteiden lisäksi pakokaasupäästöt mitattiin kuudesta lisäpisteestä, Taulukko 7.

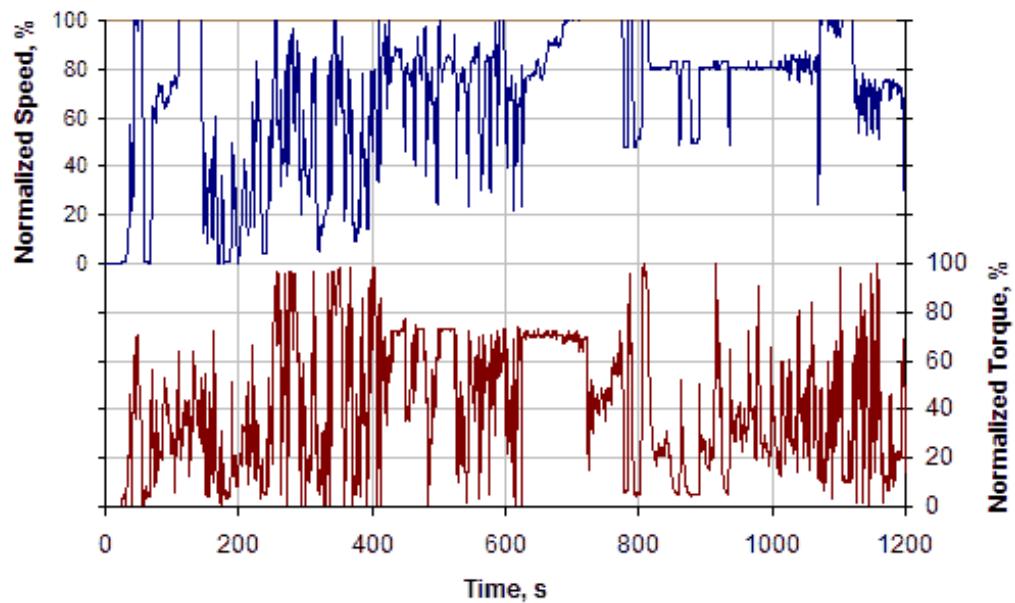
Taulukko 5. NRSC-emissioajon mittauspisteet.

Mittauspiste	Pyörimisnopeus (rpm)	Kuormitus (%)	Vääntömomentti (Nm)
Mode 1	2200	100	760
Mode 2		75	570
Mode 3		50	380
Mode 4		10	76
Mode 5	1500	100	1050
Mode 6		75	788
Mode 7		50	525
Mode 8	850	0	0

Taulukko 6. Lisäpisteet.

Mittauspiste	Pyörimisnopeus (rpm)	Kuormitus (%)	Vääntömomentti (Nm)
1	1800	100	940
2		50	470
3	1200	100	1010
4		50	505
5	1000	100	965
6		50	483

Lisäpisteiden mittauksista saatiin lisätietoa moottorin toiminnasta, etenkin nopeusalueen alapäästä. NRTC-syklissä moottoria ajetaan kuormitusta muuttaen siten, että saadaan aikaiseksi vaihtelevat pyörintänopeudet ja kuormitukset. Kuviossa 2 on esitetty NRTC-syklin pyörintänopeus ja kuormitus.



Kuvio 1. NRTC-sykli (Dieselnet)

6.3 Mittausten kulku

Työ aloitettiin ns. referenssiajolla, jossa käytettiin Basic-nokka-akselia ja yksivaihe-turboahdinta. Tällä yhdistelmällä saadut tulokset toimivat vertailukohtana muille tutkituille nokka-akseli- ja turboahdinyhdistelmille.

Jokaisella yhdistelmällä ajettiin seuraavat mittaukset: NRSC, lisäpisteet, rajamomentti sekä NRTC. Tulokset tallentuivat automaattisesti tiedonkeruujärjestelmään. NRSC- ja rajamomenttiajossa mittaukset aloitettiin nimellisyörintänopeuden suurimmasta kuorituspisteestä.

6.4 Tulosten laskenta

Ominaispäästöt laskettiin EN ISO 8178-1:1996 –standardin mukaan. Laskennassa imuilman määränä käytettiin O₂-tasapainon mukaan laskettua imuilmamäärää. Pienhiukkasten ominaispäästöt laskettiin AGCO Sisu Power Oy:n toimittamaa sovituskäyrää hyödyntäen. Sovituskäyrän kaava oli seuraava:

$$PM \left(\frac{mg}{m^3} \right) = 565 \times \ln \left(\frac{10}{10 - 0,8 \times FSN} \right)^{1,206}$$

Tämän kaavan perusteella laskettiin hiukkasten ominaispäästö.

7 TULOKSET

Yksityiskohtaiset tulokset on esitetty tilaajalle luovutetussa versiossa.

8 YHTEENVETO

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia Miller-ajoitukseen perustuvia nokka-akseleita sekä kaksivaiheturboahtimen vaikutusta pakokaasupäästöihin. Tutkimuksessa ei ensisijaisesti tähdätty minkään pakokaasupäästönormin alittamiseen, vaan siinä haettiin keinoja, joilla voitaisiin edesauttaa vuonna 2014 voimaan astuvan Tier 4 –päästönormin saavuttamista.

Tutkimuksen ensimmäisessä osassa verrattiin neljää eri nokka-akselin ja turboahtimen yhdistelmää toisiinsa. Nokka-akselien väliset erot muodostuivat imuventtiilien sulkeutumisaikajankohdasta, avautumishetkestä sekä aukioloajasta. Turboahtimina käytettiin yksivaihe- ja kaksivaiheahdinta.

Tutkimus osoitti, että NRSC-emissioajon NO_x -päästöt laskivat Miller-ajoitukseen perustuvia nokka-akseleita käytettäessä. NRSC-emissioajo osoitti myös, että polttoaineen ominaiskulutus kasvoi, mikäli käytettiin Miller-nokka-akselia ja kaksivaiheturboahdinta. Käytettäessä Miller-ajoitukseen perustuvaa nokka-akselia ja perusahdinta ominaiskulutus sen sijaan laski. Pienhiukkaspäästöt ja savutus lisääntyivät Miller-ajoitukseen perustuvia nokka-akseleita käytettäessä. Päästöt lisääntyivät varsinkin suurilla pyörintänopeuksilla ja kuormilla.

Tutkimuksen tuloksista todettiin, että kaksivaiheturboahtimen mitoitus ei ollut oikeanlainen tutkimusmoottoriin. Kaksivaiheturboahtimen turbiinipesä oli liian ahdas, joka johti ahtopaineen rajoittumiseen. Tämä johti siihen, että sylinteriin ei virrannut tarpeeksi ilmaa. Ahtaudesta oli haittaa etenkin suurien pyörintänopeuksien suurilla kuormilla.

Tutkimuksen toisessa vaiheessa polttoaineen ruiskutusparametrejä säädettiin niin, että polttoaineen ominaiskulutus pieneni. Tämän jälkeen tutkimusajot suoritettiin uudestaan ensimmäisessä vaiheessa hyväksi osoittautuneella yhdistelmällä, ja saatuja tuloksia verrattiin ennen ruiskutusparametrien säätöä saatuihin tuloksiin. Tutkimus osoitti, että ruiskutusparametrien säätö pienensi polttoaineen ominaiskulutusta NRSC-emissioajossa sekä kaikissa lisäpisteissä. Savutus väheni pienillä kuormilla ja pyörintänopeuksilla,

mutta pyörintänopeuden ja kuorman kasvaessa myös savutus lisääntyi, ja se oli suurempaa kuin ennen ruiskutusparametrien säätöä. Myös NO_x-päästöt olivat suuremmat kuin ennen ruiskutusparametrien säätöä, mutta selvästi pienemmät kuin tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa ajettulla referenssinokka-akselilla ja perusahtimella.

LÄHTEET

BorgWarner Turbo&Emissions Systems [viitattu 20.4.2009]. Saatavissa <http://www.3k-warner.de/products.r2s.aspx>

EU Stage IV -päästönormi työkonedieselmootoreille [viitattu 10.5.2009]. Saatavissa <http://www.dieselnets.com/standards/eu/nonroad.php#s3>

Huusko, Henri 2006. Miller-menetelmän tutkiminen työkonedieselmootorissa. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu.

Pflüger, Frank. Regulated 2-stage turbocharging (R2S) [viitattu 18.4.2009]. Saatavissa <http://www.3k-warner.de/service/default.aspx?doctype=12>

Schenck Pegasus GmbH 1998. Technical dokumentation Eddy-Current dynamometer W 470.

SFS-EN ISO 8178-1:1996. Polttomootorit. Päästöjen mittaus. Osa 1: Kaasu- ja hiukkaspäästöjen mittaus testipenkissä.

Sisu Diesel Oy 2009 henkilökohtainen tiedonanto

Stone, Richard 1999, Introduction to Internal Combustion Engines, 3. edition, MACMILLAN PRESS LTD, London.

Tier 4 -päästönormi työkonedieselmootoreille [viitattu 18.4.2009]. Saatavissa <http://www.dieselnets.com/standards/us/nonroad.php>

Wik, Christer & Hallback, Björn, CIMAC Congress 2007, PAPER NO. 101. Utilisation of 2-stage turbo charging as an emission reduction on Wartsila 4-stroke medium-speed engine.