

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Energia- ja polttomoottoritekniikka

2019

Sami Peltonen

AGCO POWER 44 -TYÖKONEDIESELMOOTTORIN UUDEN TEHOVERSION KOMPONENTTITUTKIMUS

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka | Energia- ja polttomoottoritekniikka

2019 | 21 sivua

Ohjaaja: Mika Lauren

Sami Peltonen

AGCO POWER 44 -TYÖKONEDIESELMOOTTORIN UUDEN TEHOVERSION KOMPONENTTITUTKIMUS

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin kolmen erilaisen turboahtimen vaikutusta moottorin suorituskykyyn ja pakokaasupäästöihin. Tutkimukset suoritettiin Agco Power 44 -työkonedieselmoottorilla. Turboahdintutkimuksen tavoitteena oli löytää sopiva turboahdin ja ruiskutuslaitteiston parametrit 103 kW:n tehoversion 44 -tyypin moottorille. Tutkimukset tehtiin Agco Power OY:lle.

Kaikilla kolmella ahtimella ajettiin rajamomenttiajo, NRSC- ja NRTC-testisykli. Tutkimuksen mittausajot suoritettiin Turun ammattikorkeakoulun moottorilaboratoriossa syksyllä 2018.

Tutkimuksen tuloksena havaittiin, että ahdin 1 oli sopivin turboahdin tähän moottoriin. Ahdin 1:llä tehtiin optimointi, jossa laskettiin polttoaineen ruiskutuspainetta ja aikaistettiin ruiskutusennakkoa. Optimoinnilla vähennettiin moottorin typenoksidipäästöjä.

ASIASANAT:

Turboahdin, pakokaasupäästöt, polttoaineen ominaiskulutus

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production Engineering | Energy and Combustion Engine Technology

2019 | number of pages 21

Instructor: Mika Lauren

Sami Peltonen

THE COMPONENT RESEARCH OF NEW POWER RATED AGCO POWER 44 -DIESEL ENGINE

In this thesis was researched three different turbocharger's effect on engine performance and exhaust emissions. The research was executed with Agco Power 44 -diesel engine. The aim of the turbocharger research was to find suitable turbocharger and injection unit parameters for 103 kW power rated 44 -type engine. The research were made for Agco Power OY.

The torque limit, NRSC- and NRTC -test cycles were run to all three turbochargers. The research measurement were performed at the Turku University of Applied Sciences engine laboratory in autumn 2018.

As a result of the research was found out that turbocharger 1 was the most suitable for this engine. The injection unit parameters was optimized by lowering the fuel injection pressure and advancing fuel injection. Optimization reduced engine's nitrogen oxide emissions.

KEYWORDS:

Turbocharger, exhaust emissions, fuel specific consumption

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	6
1 JOHDANTO	8
2 TURBOAHTAMINEN YLEISESTI	9
3 TUTKIMUSLAITTEET	13
3.1 Moottori ja turboahtimet	13
3.2 Lämpötilojen- ja paineiden mittaus	15
3.3 Pakokaasupäästöjen mittaus	16
3.4 Muut mittauslaitteet	17
4 TUTKIMUKSEN MITTAUKSET	18
4.1 Rajamomenttiajo	18
4.2 NRSC -testisykli	18
4.3 NRTC -testisykli	19
5 YHTEENVETO	20
LÄHTEET	21

KAAVAT

Kaava 1. FSN-numeron muunnoskaava hiukkaspäästöksi.	17
Kaava 2. Volumetrisen hyötysuhteen kaava.	17

KUVAT

Kuva 1. Turboahtimen osat (Turbotekniikka).	9
Kuva 2. Leikkauskuva hukkaportillisesta ahtimesta (Mollenhauer, K & Tschoeke, H 2010).	10
Kuva 3. Turbiinin A/R -suhde (Dieselnet 2019a).	11
Kuva 4. Esimerkki kompressorikartasta (Dieselnet 2019a).	12
Kuva 5. Tutkimusmoottori 44CWC3.	13
Kuva 6. Turboahtimet.	15
Kuva 7. Lämpötila- ja paineantureiden sijainnit moottorissa.	16

Kuva 8. EU Stage 3A -päästörajat nonroad diesel -moottoreille (Dieselnet 2019b).	18
Kuva 9. NRTC -sykli (Dieselnet 2019c).	19

TAULUKOT

Taulukko 1. Tutkimusmoottorin tekniset tiedot.	14
Taulukko 2. Moottorin reunaehdot.	14
Taulukko 3. Tutkitut turboahtimet.	15
Taulukko 4. Mitatut pakokaasupäästöt.	16
Taulukko 5. NRSC -syklin kuormituspisteet.	19

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

α	Kaasunkulma [%] (Gas angle)
bar _{abs}	Absoluuttinen paine (Absolute pressure)
BMEP	Keskimääräinen tehollinen paine (Brake Mean Effective Pressure)
CAC	Ahtoilman jäähdytin (Charge Air Cooler)
CO	Hiilimonoksidi (Carbon monoxide)
CO ₂	Hiilidioksidi (Carbon dioxide)
EEM	Elektroninen moottorihjausjärjestelmä (Electronic Engine Management)
EGR	Pakokaasun takaisinkierrätys (Exhaust gas recirculation)
FSN	Savutuksen mittaukseen käytetty yksikkö (Filter Smoke Number)
HC	Hiilivedyt (Hydrocarbons)
i-EGR	Sisäinen pakokaasun takaisinkierrätys (Internal exhaust gas recirculation)
j	Tahtikerroin (Coefficient for stroke)
M	Vääntömomentti [Nm] (Torque)
MSS	Mikro nokianturi (Micro Soot Sensor)
\dot{m}_{ltheor}	Teoreettinen ilman massavirta [kg/s] (Theoretical air mass flow)
\dot{m}_{lz}	Ilman massavirta [kg/s] (Air mass flow)
n	Pyörintänopeus [1/s] (rpm/60)
NO	Typpimonoksidi (Nitrogen monoxide)
NO ₂	Typpidioksidi (Nitrogen dioxide)
NO _x	Typhen oksidit (Oxides of nitrogen)
NRSC	Staattinen testisykli (Non-Road Steady Cycle)
NRTC	Transientti testisykli (Non-Road Transient Cycle)
η_v	Volumetrinen hyötysuhde (Volumetric efficiency)
O ₂	Happi (Oxygen)
PM	Hiukkaspäästö (Particulate matter)

PXI	Labview -moottorihjausjärjestelmä
ρ_L	Tiheys [kg/m ³] (Density)
rpm	Pyörintänopeus [1/min] (Revolutions per minute)
SFC	Polttoaineen ominaiskulutus (Specific Fuel Consumption)
V_h	Iskutilavuus [m ³] (Engine capacity)
WG	Hukkaportti (Wastegate)
λ	Lambda ilmakerroin

1 JOHDANTO

Nykyään moottoreiden pakokaasupäästöt ovat vähentyneet tiukentuneiden päästönormien ansiosta. Jotta saavutetaan tiukentuneet päästönormit, joudutaan lisäämään moottoreiden polttoaineenkulutusta. Tärkeimmät pakokaasupäästöt, joita mitataan, ovat typioksidipäästöt (NO_x), hiilivetypäästöt (HC), hiukkaspäästöt (PM) ja häkä (CO).

Typioksidia muodostuu palamisprosessissa palotilan korkeassa lämpötilassa ja kun seossuhde on lähempänä stökiometristä. Typioksidipäästöä saadaan pienennettyä pakokaasun takaisin kierrätyksellä (EGR) ja ahtoilman välijäähdytyksellä. Hiilivetypäästöt ovat polttoaineen ja voiteluöljyn palamatonta osaa, jota syntyy sylinterin kylmissä osissa, yleisesti sylinterin seinämän lähellä. Hiilivetypäästöä saadaan vähennettyä ahtamisella nostamalla ahtoilman lämpötilaa. Hiukkaspäästöjä syntyy sylinterissä paikoissa, joissa ilmaa ei ole tarpeeksi. Hiukkaspäästöä syntyy eniten polttoaine-suihkun keskellä, jossa lambda on pieni. Ahtamisella ja välijäähdytyksellä saadaan hiukkaspäästöjä vähennettyä. Hiilimonoksidipäästöt ovat yleensä hyvin pieniä. Niitä syntyy, kun sylinterissä ei ole happea tarpeeksi CO₂:n muodostumiseen. (Mollenhauer & Tshoeke 2010 445–450.)

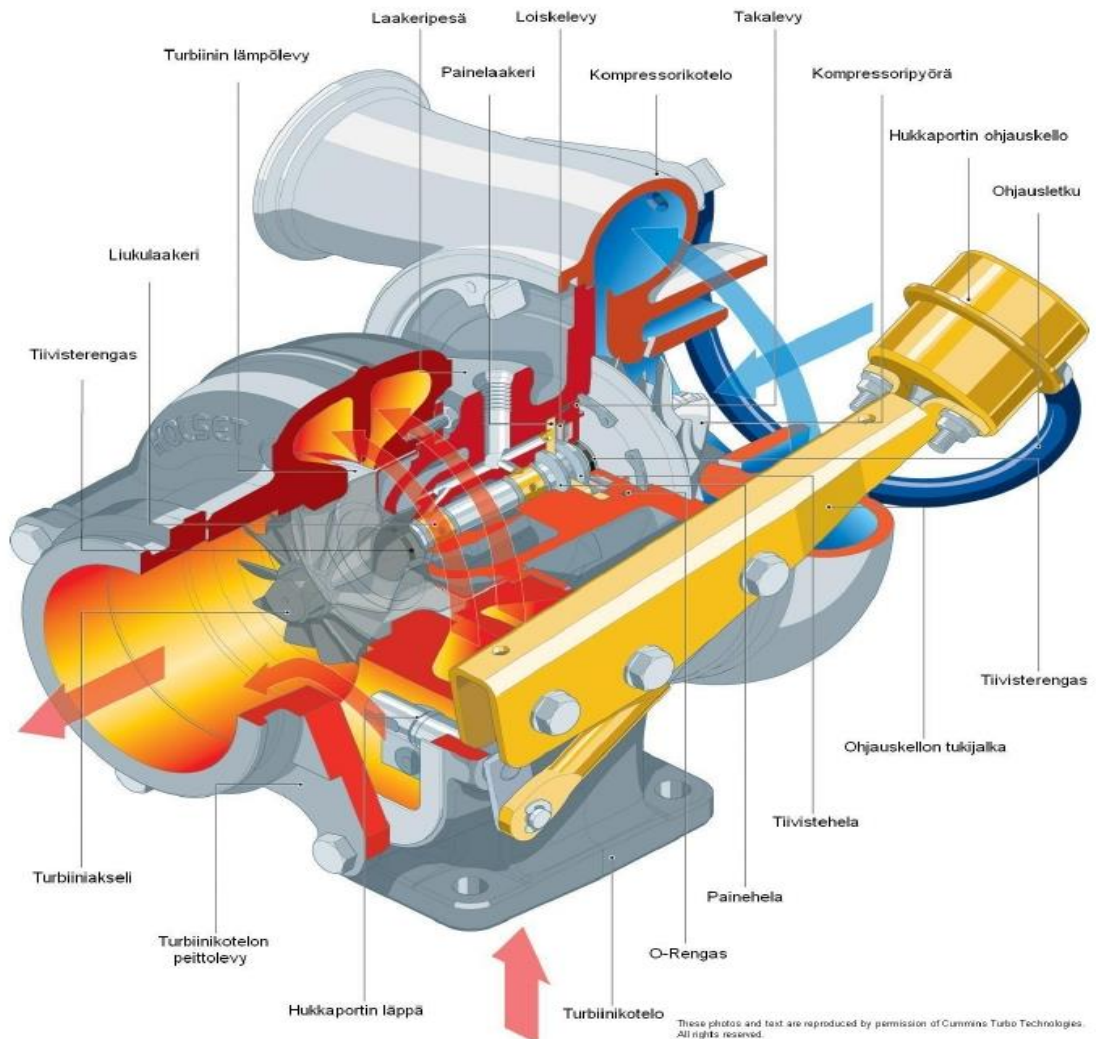
Tässä opinnäytetyössä tutkittiin kolmen erilaisen turboahtimen vaikutusta moottorin suorituskykyyn ja pakokaasupäästöihin. Turboahdintutkimuksen tavoitteena oli löytää sopiva turboahdin ja ruiskutuslaitteiston parametrit työkonedieselmoottoriin.

Tutkimuksen mittausajot suoritettiin Turun ammattikorkeakoulun moottorilaboratoriossa syksyllä 2018. Tutkimukset tehtiin Agco Power OY:n toimeksiannosta.

2 TURBOAHTAMINEN YLEISESTI

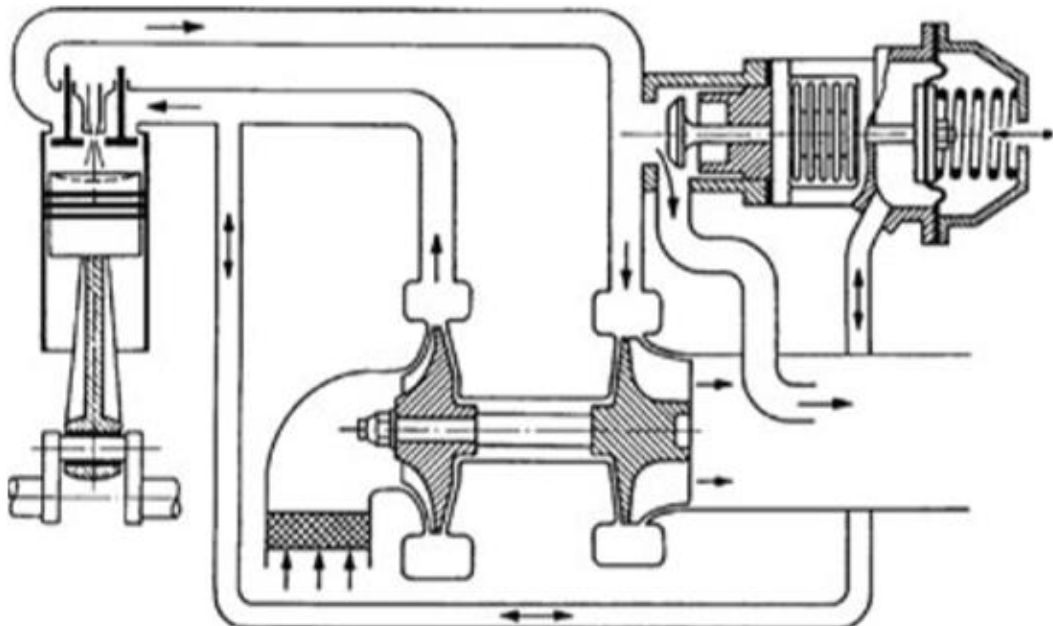
Turboahdin eli pakokaasuahdin hyödyntää pakokaasun hukkaan menevän energian. Pakokaasu energia pyörittää turbiinipyörää, joka on liitetty akselilla kompressoripyörään. Turbiini- ja kompressoripyörä pyörivät yhtä nopeasti. Kompressoripyörä paineistaa ilmaa kompressorikotelon läpi moottorille. Paineistetun ilman tiheys suurenee, ja sylinteriin mahtuu enemmän ilmaa. Koska sylinteriin saadaan enemmän ilmaa, voidaan syöttää myös enemmän polttoainetta. Moottorista saadaan enemmän tehoa, koska polttoaineen määrää voidaan lisätä. (Turbotekniikka OY 2019.)

Turboahtimen pääosia ovat turbiinin- ja kompressorin juoksupyörät, turbiini- ja kompressorikotelot ja turbiiniakseli (kuva1).



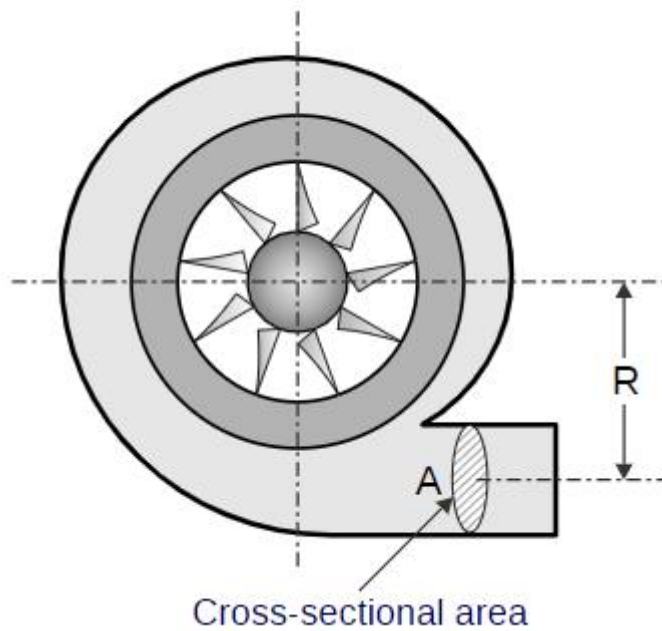
Kuva 1. Turboahtimen osat (Turbotekniikka).

Lisäksi joissain turboahtimissa on WG eli hukkaportti. Hukkaportilla säädellään ahtopaineen suuruutta. Hukkaportilla osa pakokaasusta johdetaan turbiinipyörän ohi suoraan pakoputkeen. Hukkaportti aukeaa, kun ahtopaine on suurempi kuin hukkaportin jousen voima. (Kuva 2.) Hukkaportilliset ahtimet ovat yleensä pienemmän kokoisia kuin normaalisti hengittävät ahtimet. Hukkaportilliseilla ahtimilla on parempi pienen pyörintänopeuden suorituskyky, koska ahtopaine saadaan suuremmaksi. Myös ahtimen reagointi kuorman muutoksiin on parempi. Ahtimissa, joissa on hukkaportti, joudutaan yleensä tekemään kompromissi ylä- ja alakierrosalueen kesken. Hukkaportilliseilla ahtimilla on suurella pyörintänopeudella suurempi polttoaineen ominaiskulutus (SFC) ja korkeampi pakokaasun lämpötila. (Mollenhauer & Tschoeke 2010 49–50.)



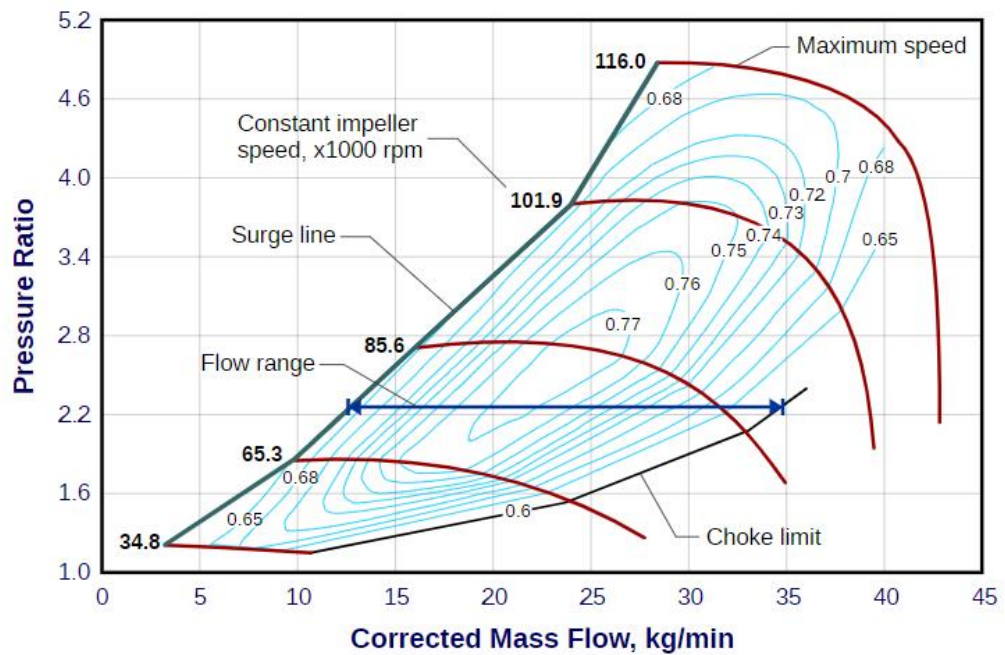
Kuva 2. Leikkauskuva hukkaportillisesta ahtimesta (Mollenhauer, K & Tschoeke, H 2010).

Sopivan ahtimen valinnassa on tärkeää huomioida myös turbiinipuolen A/R -suhde. Sopiva A/R -suhde mahdollistaa nopeamman ahtamisen. Mitä ahtaampi turbiini pakosarjassa on, sitä korkeammaksi pakokaasujen nopeus kasvaa ja sitä korkeampi on turbiinipuolen paine. A/R -suhteessa A tarkoittaa turbiininkotelon suuaukon pinta-alaa ja R tarkoittaa turbiinin- ja suuaukon keskipisteiden välistä etäisyyttä. (Kuva 3.) (Kosunenra-
cing.)



Kuva 3. Turbiinin A/R -suhde (Dieselnet 2019a).

Sopivan ahtimen valitsemisessa käytetään myös kompressorikarttaa. (Kuva 4.) Ahtimen kompressorikartasta nähdään, toimiiko ahdin oikealla alueella. Kuvassa 4 kompressorikartan vasen linja on surge line eli sakkausraja ja oikea linja on choke line. Sakkausraja kuvaa pienintä mahdollista ilmavirtaa, jolla ilmavirta tarttuu turbiinin siipiin. Sakkausrajalla ilman virtaus sakkaa sisäänmenossa ja ulosvirtaus heikentyy. Choke line kuvaa suurinta mahdollista ilmavirtaa, jonka kompressorin pystyy tuottamaan. Choke linen ilmavirta rajoittuu kompressorin halkaisijan mukaan. (Dieselnet 2019a.)



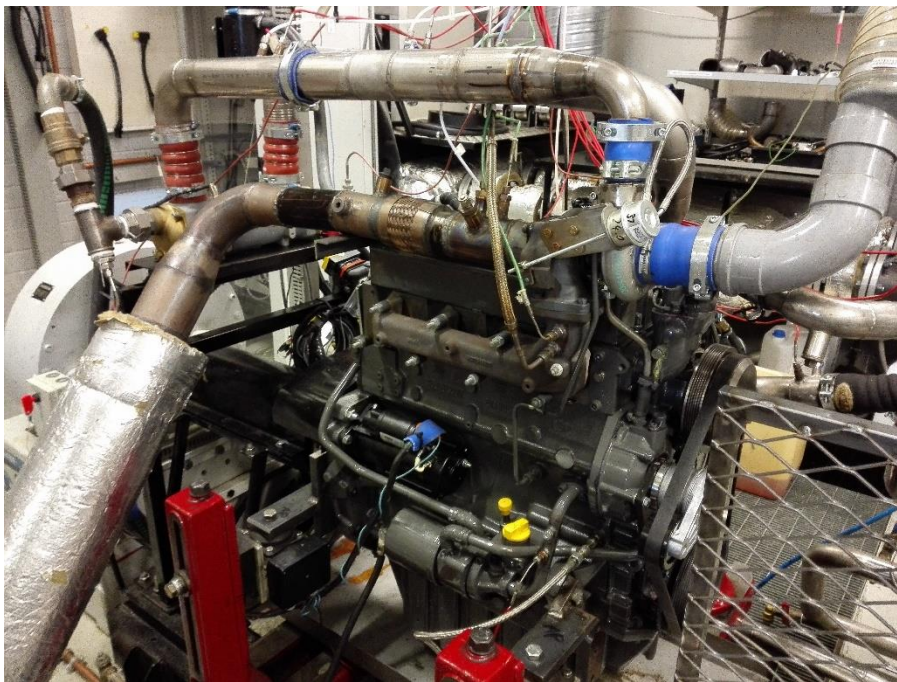
Kuva 4. Esimerkki kompressorikartasta (Dieselnet 2019a).

Kompressorikartalla x -akselilla on ilman massavirta ja y -akselilla on painesuhde. Kompressorin toiminta-alue on Surge linen ja Choke linen välissä. Kompressorin toiminta-alueella on kuvattuna kompressorin hyötysuhde. Tutkimuksen turboahtimien kompressorikartat ovat liitteinä. Kaikilla ahtimilla pysyttiin kompressoreiden toiminta-alueella. (Liite 1.)

3 TUTKIMUSLAITTEET

3.1 Moottori ja turboahtimet

Tutkimusmoottorina käytettiin Agco Powerin 44CWC3 -työkonedieselmoottoria. (Kuva 5.) Moottori on neljä-sylinterinen rivimoottori, jossa on sisäinen pakokaasujen takaisin kierrätys (i- EGR) ja ahtoilman jäähdytys. I- EGR:llä pakokaasujen jäähdytys ei onnistu yhtä tehokkaasti kuin ulkoisella ERG:llä, joten sen tehokkuus on heikompi. Tutkimusmoottorin tekniset tiedot on esitetty taulukossa 1. Tutkimuksessa moottorin kuormitus toteutettiin Horiba WT-300 -pyörrevirtajarrulla. Tutkimuksen moottorin reunaehdot on esitettyinä taulukossa 2.



Kuva 5. Tutkimusmoottori 44CWC3.

Taulukko 1. Tutkimusmoottorin tekniset tiedot.

Valmistaja	AGCO Power OY
Moottorityyppi	44 CWC3
Sylinteriluku	4
Iskutilavuus (ltr)	4,4
Sylinterin halkaisija (mm)	108
Iskunpituus (mm)	120
Päästötaso	EU Stage 3
Polttoaineen syöttö	Common rail
Polttoaine	DFO L059
Kompressori	Several
Sylinterin kansi	Serial
Nimellisteho (kW)	103kW/2200 rpm
Maksimi vääntömomentti (Nm)	560

Taulukko 2. Moottorin reunaehdot.

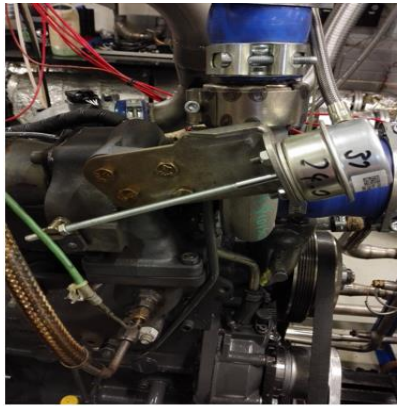
Condition	Value
Pakosarjan suurin lämpötila	700 °C
Pakoputken suurin lämpötila	650 °C
Ahtoilman lämpötila CAC:n jälkeen nimellisteholla	55 °C
Imusarjan alipaine nimellisteholla	35 mbar
Pakokaasun vastapaine nimellisteholla (2200rpm ja 103kW)	100 mbar
Ahtoilman jäähdyttimen painehäviö nimellisteholla (2200rpm ja 103kW)	150 mbar

Mittausajoissa tutkittiin kolmen erilaisen turboahtimen suorituskykyä ja pakokaasupäästöjä. Tutkitut turboahdit on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Tutkitut turboahtimet.

Turboahtimet	Nimi työssä
Tier3 Serial	Ahdin_1
T2/T3	Ahdin_2
Modified (p-wg)	Ahdin_3

Ahdin 1 ja ahdin 3 ovat hukkaportillisia ahtimia. Hukkaportillisissa ahtimissa on ohjauskello, josta ne on helppo tunnistaa. (Kuva 6.)



Ahdin_1



Ahdin_2

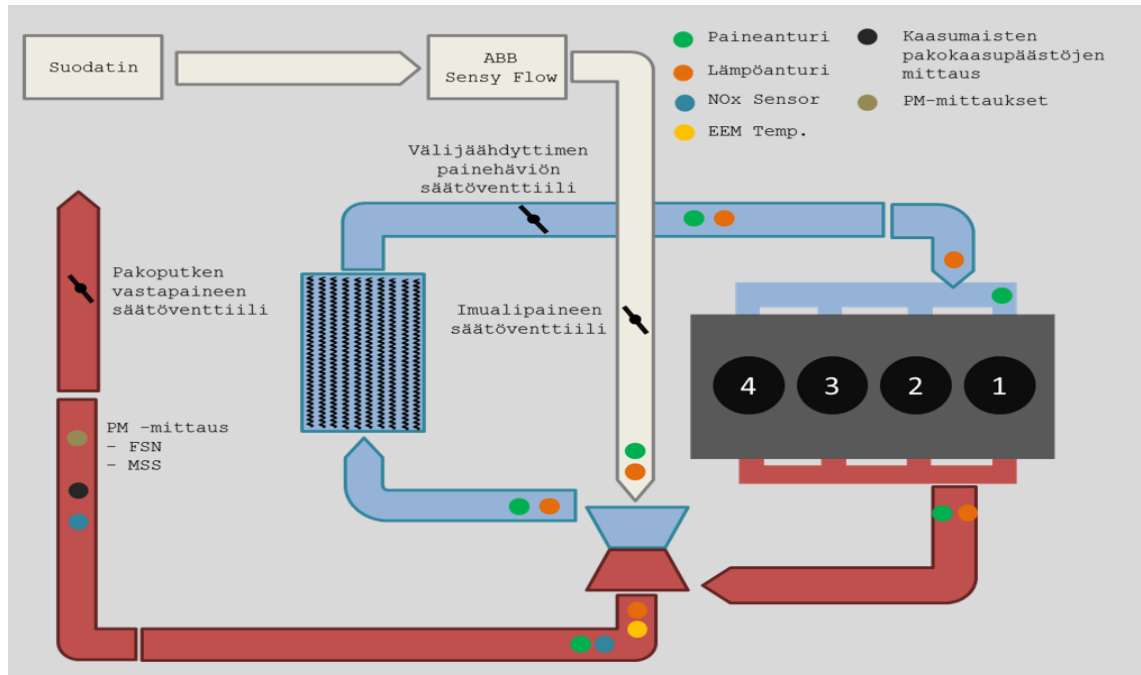


Ahdin_3

Kuva 6. Turboahtimet.

3.2 Lämpötilojen- ja paineiden mittaus

Tutkimusajojen aikana moottorista otettiin useasta paikasta lämpötila- ja painemittauksia. Lämpötila- ja paineantureiden sijainnit on esitettyinä kuvassa 7.



Kuva 7. Lämpötila- ja paineantureiden sijainnit moottorissa.

3.3 Pakokaasupäästöjen mittaus

Moottorin savutus mitattiin pakoputkesta AVL FSN -mittalaitteella. Mittalaite ilmoitti FSN-numeron, josta arvioitiin hiukkasmassa kokemuseräisellä kaavalla. (Kaava 1.) Pakoputkesta mitattiin myös pienhiukkaset AVL MSS -mittalaitteella ja NO_x-päästöt kahdesta eri kohdasta. Moottorin pakokaasupäästöt on esiteltynä taulukossa 4. Pakokaasu johdettiin analysaattorikaapeille, josta siitä mitattiin lukemat analysaattoreilla. NO_x-päästöt koostuvat typpimonoksidi- ja typpidioksidipäästöistä.

Taulukko 4. Mitatut pakokaasupäästöt.

Päästö	Lyhenne	Valmistaja	Malli
Savutus	FSN	AVL	415 S
Hiukkasmassa	PM	AVL	Micro Soot Sensor 415 S
Typpimonoksidi	NO	Eco Physics	CLD 822 M
Typpidioksidi	NO ₂	Eco Physics	CLD 822 M
Hiilidioksidi	CO ₂	Siemens	Ultramat 6
Häkä	CO	Siemens	Ultramat 6
Happi	O ₂	Siemens	Oxymat 61
Hiilivedyt	HC	JUM Engineering	THC Analyzer VE7

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

Kaava 1. FSN-numeron muunnoskaava hiukkaspäästöksi.

Tutkimusajojen aikana analysaattorit kalibroitiin ennen päivän ensimmäistä ajoa ja viimeisen ajon jälkeen.

3.4 Muut mittauslaitteet

Pyörrevirtajarrua ohjattiin Labview -moottorihjausjärjestelmällä (PXI). PXI:llä ohjattiin moottorin kuormitusta ja pyörintänopeutta. PXI:llä kerättiin myös talteen tutkimusajojen data ja seurattiin moottorin paineita ja lämpötiloja. Moottorihjausjärjestelmällä (EEM) ohjattiin moottorin säätöparametreja, kuten polttoainesyötön painetta ja -ennakkoa. Moottorin imuilman massavirta mitattiin ABB Sensy Flow -mittalaitteella. Lisäksi mittausajojen aikana mitattiin konehuoneen lämpötilaa, ilmanpainetta ja ilman kosteutta. Volumetrinen hyötysuhde laskettiin kaavalla 2.

$$\eta_v = \frac{\dot{m}_{LZ}}{\dot{m}_{Ltheor}} = \frac{\dot{m}_{LZ} \cdot j}{\rho_L \cdot V_H \cdot n}$$

Kaava 2. Volumetrisen hyötysuhteen kaava.

4 TUTKIMUKSEN MITTAUKSET

Turboahdin tutkimuksen pakokaasun päästörajat, jotka tässä tutkimuksessa täytyi alitua, olivat HC+NO_x -päästö 4,0 g/kWh, häkä 5,0 g/kWh ja PM -päästö 0,3 g/kWh. EU Stage 3A -päästörajat on esitettyä kuvassa 8.

Cat.	Net Power	Date†	CO	HC	HC+NO _x	NO _x	PM
	<i>kW</i>						
Stage III A							
H	130 ≤ P ≤ 560	2006.01	3.5	-	4.0	-	0.2
I	75 ≤ P < 130	2007.01	5.0	-	4.0	-	0.3
J	37 ≤ P < 75	2008.01	5.0	-	4.7	-	0.4
K	19 ≤ P < 37	2007.01	5.5	-	7.5	-	0.6

Kuva 8. EU Stage 3A -päästörajat nonroad diesel -moottoreille (Dieselnet 2019b).

4.1 Rajamomenttiajo

Rajamomenttiajolla mitattiin moottorin maksimi-vääntömomentti ja -teho jokaisella pyörintänopeudella 100 rpm:män välein. Rajamomenttiajo ajetaan yleensä ensimmäisenä, kun tutkitaan moottoria. Rajamomenttiajo ajetaan aina α/n -ajomoodilla. Halutun vääntömomentin säätö tehdään polttoaineen syöttömäärää muuttamalla. Polttoaineen syöttöä ohjataan EEM -moottoriohjaus järjestelmällä.

4.2 NRSC -testisykli

NRSC eli Nonroad Steady Cycle on standardi testisykli nonroad -moottoreiden pakokaasupäästöjen mittaukseen. NRSC -syklissä ajetaan vakiokuormalla kahdeksan eri staatista pistettä. (Dieselnet 2019.)

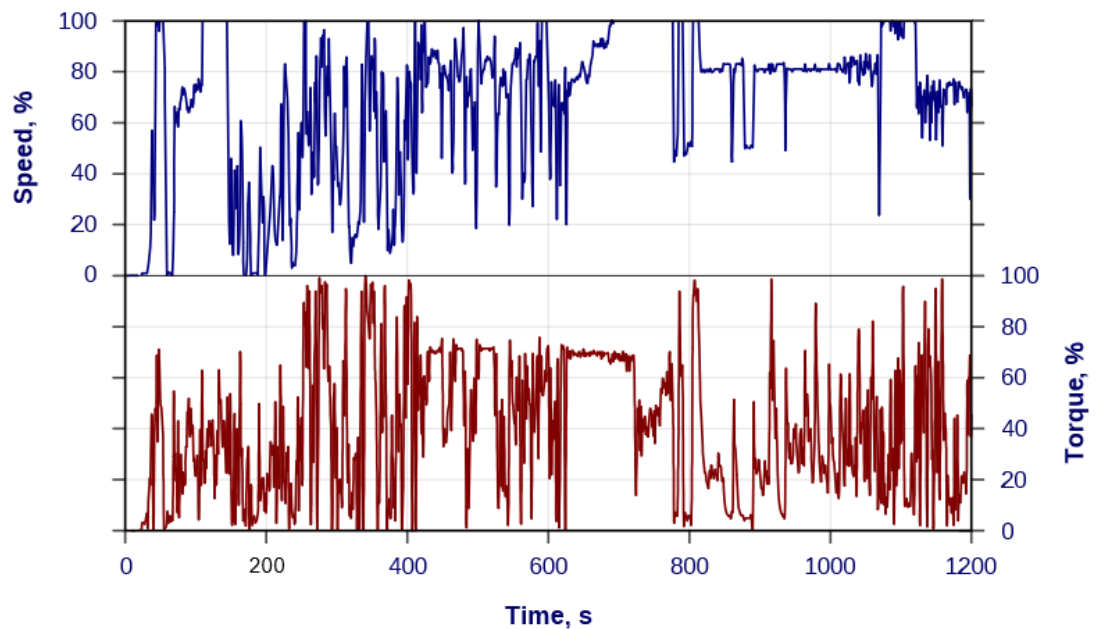
Taulukossa 5 on esitetty testisyklin kuormituspisteet ja painokertoimet. NRSC -sykli ajetaan n/M -ajomoodilla.

Taulukko 5. NRSC -syklin kuormituspisteet.

Mode	Pyörintänopeus (rpm)	Vääntömomentti (Nm)	Teho (kW)	Kuormitus %	Painokerroin
1	2200	447	103	100	0,15
2	2200	335	77	75	0,15
3	2200	224	52	50	0,15
4	2200	45	10	10	0,10
5	1500	560	88	100	0,10
6	1500	420	66	75	0,10
7	1500	280	44	50	0,10
8	800 (idle)	2	0	0	0,15

4.3 NRTC -testisykli

NRTC eli Nonroad Transient Cycle on dynaaminen testisykli pakokaasupäästöjen mittaamiseen. Testisykli kestää 1238 sekuntia ja testin aikana moottorin vääntömomentti ja kuorma vaihtelevat. (Kuva 9.) (Dieselnet 2019c.)



Kuva 9. NRTC -sykli (Dieselnet 2019c).

5 YHTEENVETO

Turboahdin tutkimuksessa tutkittiin kolmen erilaisen turboahtimen vaikutusta moottorin suorituskykyyn ja pakokaasupäästöihin. Tutkimukset suoritettiin Agco Power 44 -työko-nedieselmoottorilla. Turboahdintutkimuksen tavoitteena oli löytää sopiva turboahdin ja ruiskutuslaitteiston parametrit 103 kW:n tehoversion 44 -tyypin moottorille.

Kaikilla kolmella ahtimella ajettiin rajamomenttiajo, NRSC- ja NRTC -testisykli. Ahdin 1 ja ahdin 3 olivat hukkaportillisia ahtimia, joilla oli paremmat pienen pyörintänopeuden ominaisuudet. Molemmilla ahtimilla oli pienempi polttoaineen ominaiskulutus kuin ahti-mella 2. Ahdin 1 ja ahdin 3:sen Nox -päästöt olivat pienellä pyörintänopeudella suurem-mat, mutta yhdistetyissä päästöissä NOx -päästöt olivat suunnilleen yhtä suuret. Kaikki ahtimet läpäisivät päästörajat NRSC -testisyklissä. NRTC -testisyklissä ahdin 1 ja ahdin 2:sen häkä päästöt olivat liian suuret. Molempien häkä päästöt ylittivät päästörajan.

Tutkimuksen tuloksena havaittiin, että ahdin 1 oli sopivin turboahdin tähän moottoriin. Ahdin 1:llä tehtiin optimointi, jossa typenoksidipäästöjä vähennettiin laskemalla ruisku-tuspainetta ja aikaistamalla ruiskutusennakkoa. Optimoinnilla haluttiin laskea typenoksi-dipäästöjä. Optimoinnin jälkeen ahdin 1 läpäisi myös häkä päästörajan.

Tutkimuksen mittausajot suoritettiin Turun ammattikorkeakoulun moottorilaboratoriossa syksyllä 2018. Tutkimukset tehtiin Agco Power OY:n toimeksiannosta.

LÄHTEET

- Dieselnet 2019a. Emission test cycles. Viitattu 17.3.2019.
<https://www-dieselnet-com.ezproxy.turkuamk.fi/standards/cycles/nrtc.php>
- Dieselnet 2019b. Emission standards. EU Nonroad Engines. Kuvakaappaus.
<https://www-dieselnet-com.ezproxy.turkuamk.fi/standards/eu/nonroad.php#s3>
- Dieselnet 2019c. Emission test cycles. ISO 8178. Viitattu 18.3.2019.
<https://www-dieselnet-com.ezproxy.turkuamk.fi/standards/cycles/iso8178.php>
- Jääskeläinen, H & Magdi, K Khair. Turbocharger fundamentals. Dieselnet 2017. Viitattu 17.3.2019. https://www-dieselnet-com.ezproxy.turkuamk.fi/tech/air_turbocharger.php
- Kosunenracing 2019. Viitattu 16.3.2019.
<http://www.kosunenracing.com/turbo.html>
- Mollenhauer, K & Tschoeke, H. Handbook of diesel engines. Viitattu 15.3.2019
- Turbotekniikka OY. Viitattu 15.3.2019
<https://turbotekniikka.fi/turbot/turboahdin-toiminta/>