

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Energia- ja polttomoottoritekniikka

2016

Jukka Lötjönen

AGCO POWER 33- JA -49 - TYÖKONEDIESELMOOTTOREI DEN TURBOAHDIN- JA PALOTILATUTKIMUS

Jukka Lötjönen

AGCO POWER 33- JA -49 - TYÖKONEDIESELMOOTTOREIDEN TURBOAHDIN- JA PALOTILA TUTKIMUS

Opinnäytetyö koostui kahdesta eri komponenttitutkimuksesta. Ensimmäisessä komponenttitutkimuksessa tutkittiin turboahtimia AGCO Power Oy:n 33CW3-työkonedieselmoottoriin. Turboahdintutkimusten tavoitteena oli löytää referenssiahtimen tilalle turboahdin, jonka avulla voidaan parantaa toimintaa koko moottorin toiminta-alueella. Pienimmällä turbiinipesällä varustettu ahdin soveltui parhaiten tälle moottorille, koska se jaksoi tuottaa alakierroksillakin riittävästi palamisilmaa.

Toisessa komponenttitutkimuksessa tutkittiin Stage V -palotilan soveltuvuutta AGCO Power Oy:n valmistamalle 49AWF-työkonedieselmoottorille. Palotilatutkimus oli yhtenä osana tutkimuksia, jossa tutkittiin 49AWF-moottorin soveltuvuutta EU Stage V -päästönormiin.

Tutkimukset suoritettiin kesän 2016 aikana Turun ammattikorkeakoulun moottoritutkimuslaboratoriossa jarrupaikalla U1. Tutkimukset tehtiin yhteistyössä AGCO Power Oy:n kanssa.

ASIASANAT:

Diesel, turboahdin, palotila

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree Programme in Mechanical Engineering | Energy and Internal Combustion Technology

2016 | 48

Jukka Lötjönen

TURBOCHARGER AND COMBUSTION CHAMBER RESEARCH FOR AGCO POWER 33 AND 49 NONROAD DIESEL ENGINES

This thesis consists of two component researches on AGCO Power Inc. non-road diesel engines. The first research was made on AGCO Power Inc. 33CW3 diesel engine and subject of study was turbochargers. The target of the turbocharger study was to find a better turbocharger for the engine to replace the reference turbocharger and also to improve the engine operation in all the engine operation points. The most appropriate turbocharger was turbocharger with the smallest turbine, which was able to produce enough charge air for the engine even at low rotational speeds.

The second component study was made on AGCO Power Inc. 49AWF diesel engine. The subject of the research was to study the suitability of Stage V combustion chamber geometry for this engine. This research was part of the studies the target of which was to test the suitability of the 49AWF engine for the EU Stage V emission standard.

The researches were made at the engine laboratory of Turku University of Applied Science during spring 2016. The researches were made in co-operation with AGCO Power Inc.

KEYWORDS:

Diesel, turbocharger, combustion chamber

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	6
1 JOHDANTO	7
2 TUTKIMUSLAITTEISTO JA MITTAUSNORMIT	9
2.1 Tutkimusmoottorit	9
2.2 Pyörrevirtajarru	10
2.3 Pakokaasupäästöjen mittaust	10
2.4 Lämpötilojen ja paineiden mittaust	11
2.5 Muut mittalaitteet	12
2.6 Mittausnormit	12
2.6.1 ISO-8178-Sykli	12
2.6.2 NRTC	12
3 TURBOAHTAMINEN JA PALOTILAN MUOTOILU	14
3.1 Turboahtaminen	14
3.2 Palotilan muotoilun vaikutukset moottorin ominaisuuksiin	16
4 TURBOAHDINTUTKIMUS	20
5 PALOTILATUTKIMUS	21
6 YHTEENVETO	22
LÄHTEET	23

LIITTEET

Liite 1. Turboahdintutkimusten kompressorikartat.

KAAVAT

Kaava 1. FSN-arvon muunnoskaava hiukkaspäästöiksi.	11
Kaava 2. Volumetrisen hyötysuhteen laskukaava.	12

KUVAT

Kuva 1. Stage V -päästörajat (Dieselnet).	8
Kuva 2. 49AWF-tutkimusmoottori.	10
Kuva 3. NRTC-sykli (Dieselnet 2016).	13
Kuva 4. Kompressorikartta (Dieselnet 2016).	15
Kuva 5. Ahtimen A/R-suhde (Dieselnet 2016).	16
Kuva 6. Ylempänä re-entrant -männän muotoilu. Alempana stepped lip -männän muotoilu (Dieselnet 2016).	17

KUVIOT

Kuvio 1. Stepped lip -männän geometrian vaikutus savutukseen (Dieselnet 2016).	18
Kuvio 2. Puristussuhteen vaikutus hiukkas- ja NO _x -päästöihin (Dieselnet 2016).	19

TAULUKOT

Taulukko 1. Tutkimusmoottorien tekniset tiedot.	9
Taulukko 2. Pyörrevirtajarru.	10
Taulukko 3. Pakokaasuanalysointipisteet.	11
Taulukko 4. Mitatut paineet ja lämpötilat.	11
Taulukko 5. Tässä tutkimuksessa käytetyt ISO-8178-syklin mittauspisteet.	12

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

FSN	Savutuksen mittaukseen käytetty yksikkö (Filter Smoke Number)
NRSC	Staattinen testisykli (Non-Road Steady Cycle)
NRTC	Transientti testisykli (Non-Road Transient Cycle)
SFC	Polttoaineen ominaiskulutus (Specific Fuel Consumption)
NO _x	Typen oksidit (Oxides of nitrogen)
WG	Hukkaportti (Waste gate)
PM	Hiukkaspäästö (Particulate matter)
HC	Hiilivedyt (Hydrocarbons)
CO	hiilimonoksidi (Carbon monoxide)
CO ₂	Hiilidioksidi (Carbon dioxide)
rpm	Pyörintänopeus [1/min] (Revolutions per minute)
bar _{abs}	Absoluuttinen paine
EGR	Pakokaasun takaisinkierätyks (Exhaust gas recirculation)
η_v	Volumetrinen hyötysuhde
m air	Ilman massavirta [kg/s]
Vd	Iskutilavuus [m ³]
Pi	Imusarjan paine [kPa]
Ti	Imusarjan lämpötila [K]
n	Pyörintänopeus [1/s] (rpm / 60)

1 JOHDANTO

Tasaisin väliajoin tiukentuvat päästörajoitukset aiheuttavat suuria haasteita moottorinvalmistajille. Ennen moottorin kehitystyössä pyrittiin vähentämään polttoaineen kulutusta ja lisäämään tehoa, mutta nykyään kehitystä ohjaavat pakokaasupäästöt. Päästötavoitteisiin mentäessä joudutaan tinkimään moottorin optimaalisesta hyötysuhteesta ja lisäämään jopa polttoaineen kulutusta, jotta saavutetaan tiukat päästötavoitteet. Päästökäsitteet, joita viranomaiset säätelevät ovat typenoksidit, hiukkaspäästöt, hiilivedyt ja häkä.

Typenoksidit koostuvat NO:sta ja NO₂:sta, joita kutsutaan yhteisnimellä NO_x. Typenoksidit syntyvät palamisilman tuestä sylinterin niissä kohdissa, joissa lämpötila on korkea ja seossuhde on lähellä stökiometristä. Typenoksideja voidaan vähentää vähentämällä palamisilman määrää sylinterissä sekä vähentämällä puristustahdin lopun lämpötilaa. (Mollenhauer & Tschoeke 2010 445-446.)

Hiukkaspäästöt syntyvät sylinterissä polttoainesuihkun keskellä, jossa lambda on paikallisesti hyvin pieni. Musta savutus on hiukkaspäästön näkyvä osa, joka on pääosin nokea. Voiteluöljyn palamisesta muodostuu myös hiukkaspäästöjä. Hiukkaspäästöihin voidaan vaikuttaa parantamalla seoksen sekoittumista palotilassa. (Mollenhauer & Tschoeke 2010 446-447.)

Hiilivetypäästöt ovat palamatonta polttoainetta tai voiteluöljyä. Niitä syntyy palotilan ulkoreunalla sylinteriputken seinämän lähellä, jossa lämpötila on matala. Hiilivetypäästöjä voidaan myös vähentää palotilasuunnittelulla. (Mollenhauer & Tschoeke 2010 445-449.)

Häkä CO syntyy sylinterin niissä osissa, joissa lambda on pieni ja happea ei ole riittävästi tarjolla CO₂:n muodostamiseen. Dieselmoottorissa CO-päästöt ovat usein vähäisiä. Häkäpäästöjä voidaan vähentää parantamalla täytöksen sekoittumista sylinterissä tai kasvattamalla lambda-arvoa mikäli mahdollista. (Mollenhauer & Tschoeke 2010 449.)

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimi AGCO Power OY. Tutkimukset suoritettiin Turun ammattikorkeakoulun moottoritutkimuslaboratoriossa jarrupaikalla U1. Työ koostuu kahdesta eri komponenttitutkimuksesta, turboahdin- ja palotilatutkimuksista.

Turboahdintutkimusten taustana oli, että referenssiturbon alakierrosominaisuuksia haettiin parantaa sekä nostaa vääntömomenttia 1000 rpm:llä. Testien tarkoituksena oli testata ja vertailla testiturbojen toimintaa suhteessa referenssiin. Testien tavoitteena oli löytää turboahdin, joka tuottaa alakierroksillakin riittävästi palamisilmaa, jolloin alakierrosten maksimivääntömomenttia voidaan jopa nostaa ja samalla laskea savutusta suhteessa referenssiturboahtimeen. Kokonaistavoitteena oli parantaa moottorin toimintaa koko moottorin toiminta-alueella.

Palotutkimukset olivat yhtenä osana suurempaa kokonaisuutta, jossa tutkitaan 49AWF-moottorin soveltuvuutta Stage V -päästörajoihin (Kuva 1). Tutkimusten tarkoituksena oli tutkia uuden männän muotoilun vaikutuksia polttoaineen ominaiskulutukseen sekä päästöihin. Tavoitteena oli löytää moottoriin uusi palotilan muotoilu, joka auttaa saavuttamaan Stage V -päästörajan.

Category	Ign.	Net Power	Date	CO	HC	NOx	PM	PN
		<i>kW</i>						
NRE-v/c-1	CI	$P < 8$	2019	8.00	7.50 ^{a,c}		0.40 ^b	-
NRE-v/c-2	CI	$8 \leq P < 19$	2019	6.60	7.50 ^{a,c}		0.40	-
NRE-v/c-3	CI	$19 \leq P < 37$	2019	5.00	4.70 ^{a,c}		0.015	1×10^{12}
NRE-v/c-4	CI	$37 \leq P < 56$	2019	5.00	4.70 ^{a,c}		0.015	1×10^{12}
NRE-v/c-5	All	$56 \leq P < 130$	2020	5.00	0.19 ^c	0.40	0.015	1×10^{12}
NRE-v/c-6	All	$130 \leq P \leq 560$	2019	3.50	0.19 ^c	0.40	0.015	1×10^{12}
NRE-v/c-7	All	$P > 560$	2019	3.50	0.19 ^d	3.50	0.045	-

Kuva 1. Stage V -päästörajat (Dieselnet).

2 TUTKIMUSLAITTEISTO JA MITTAUSNORMIT

2.1 Tutkimusmoottorit

Turboahdin sekä palotilatutkimus ajettiin AGCO Powerin valmistamilla työkonediesel moottoreilla. Turboahdintutkimuksissa käytettiin kolme sylinteristä 33CWC-moottoria ja palotilatutkimuksissa nelisylinteristä 49AWF-moottoria (kuva 2). Molemmat moottorit ovat turboahdettuja ja ne on varustettu ahtoilman jäähdyttimellä sekä common rail-yhteispaineruiskutus järjestelmällä. Taulukossa 1 on esitetty moottoreiden tekniset tiedot.

Taulukko 1. Tutkimusmoottorien tekniset tiedot.

Valmistaja	AGCO Power OY
Moottorityyppi	33CW3
Sylinteriluku	3
Iskutilavuus (ltr)	3,3
Sylinterin halkaisija (mm)	108
Iskun pituus (mm)	120
Maksimi vääntömomentti (Nm)	410
Nimellisteho (kW)	71,2
Valmistaja	AGCO Power OY
Moottorityyppi	49AWF
Sylinteriluku	4
Iskutilavuus (ltr)	4,9
Sylinterin halkaisija (mm)	108
Iskun pituus (mm)	134
Maksimi vääntömomentti (Nm)	860
Nimellisteho (kW)	148



Kuva 2. 49AWF-tutkimusmoottori.

2.2 Pyörrevirtajarru

Moottoreiden kuormitus toteutettiin Horiba WT 300 -pyörrevirtajarrulla. Jarrua ohjattiin PXI-ohjelmiston avulla tietokoneelta. Jarrun tekniset tiedot on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Pyörrevirtajarru.

Valmistaja	Horiba
Malli	WT 300
Maksimi vääntömomentti	1200 Nm
Vuosimalli	2009

2.3 Pakokaasupäästöjen mittaus

Savutus mitattiin AVL FSN -mittalaitteella ja Pienhiukkaset AVL MSS -mittalaitteella (taulukko 3). Savutusmittalaite antoi tuloksen FSN -numerona, josta voitiin laskea myös hiukkaspäästöt (kaava 1). Muut päästöt (taulukko 3) mitattiin erillisessä analysaattori-kaapissa, johon pakokaasut tuotiin lämmitettyä linjaa pitkin. Kaapissa pakokaasu jaettiin eri analysaattoreille.

Kaava 1. FSN-arvon muunnoskaava hiukaspäästöiksi.

$$PM = \frac{565 \times \ln\left(\frac{10}{10 - 0,8 \times FSN}\right)^{1,206}}{\frac{1000}{1,293}} \times k_p \times m$$

Taulukko 3. Pakokaasuanalysointorit.

Päästö		Valmistaja	Malli
Typsimonoksidi	NO	ECO PHYSICS	CLD 822 M
Typpidioksidi	NO ₂	ECO PHYSICS	CLD 822 M
Hiilimonoksidi	CO	Siemens	Ultramat 5
Hiilidioksidi	CO ₂	Siemens	Ultramat 6
Happi	O ₂	Siemens	Oxymat 61
Hiilivedyt	HC	JUM	VE7
Savutus	FSN	AVL	415 SE
Pienhiukkaset	PM	AVL	Micro Soot Sensor 483

2.4 Lämpötilojen ja paineiden mittaus

Lämpötiloja ja paineita mitattiin useista eri kohdista moottoria, jotka on esitetty taulukossa 4. Lämpötilojen mittauksissa käytettiin PT-100 (0/+200 °C) -ja K-type-antureita (-100/+1200 °C) riippuen mittapaikasta.

Taulukko 4. Mitatut paineet ja lämpötilat.

Mitattaukset	Lämpötila	Paine
Imu ilma	X	X
Imusarja	X	X
Pakosarja	X	X
Pakoputki	X	X
Ahtoilma kompressorin jälkeen	X	X
Ahtoilma välijäähdyttimen jälkeen	X	X
Voiteluöljy	X	X
Jäähdytysvesi	X	
Polttoaine	X	

2.5 Muut mittalaitteet

Polttoaineen massavirta mitattiin coriolis-mittarilla. Moottoriin menevän ilman massavirta mitattiin ABB Sensyflow -ilmamassa-anturilla. Konehuoneen olosuhteet mitattiin Vaisalan mittalaitteilla. Volumetrinen hyötysuhde laskettiin kaavalla 2.

Kaava 2. Volumetrisen hyötysuhteen laskukaava.

$$\eta_v = \frac{2 \times m_{air}}{((V_d \times n) \times (P_i \times 28,9) \div (8,31446 \times (T_i + 273,15))))} \times 100\%$$

2.6 Mittausnormit

2.6.1 ISO-8178-Sykli

ISO-8178-sykliä kutsutaan myös nimellä NRSC, Nonroad Steady Cycle. ISO-8178-sykli on kansainvälinen standardi non-road-moottoreiden päästöjen mittaukseen. NRSC-syklissä ajetaan kahdeksan eri staattista pistettä, jossa jokaiselle pisteelle on annettu painotuskerroin (taulukko 5) (Dieselnet 2016.)

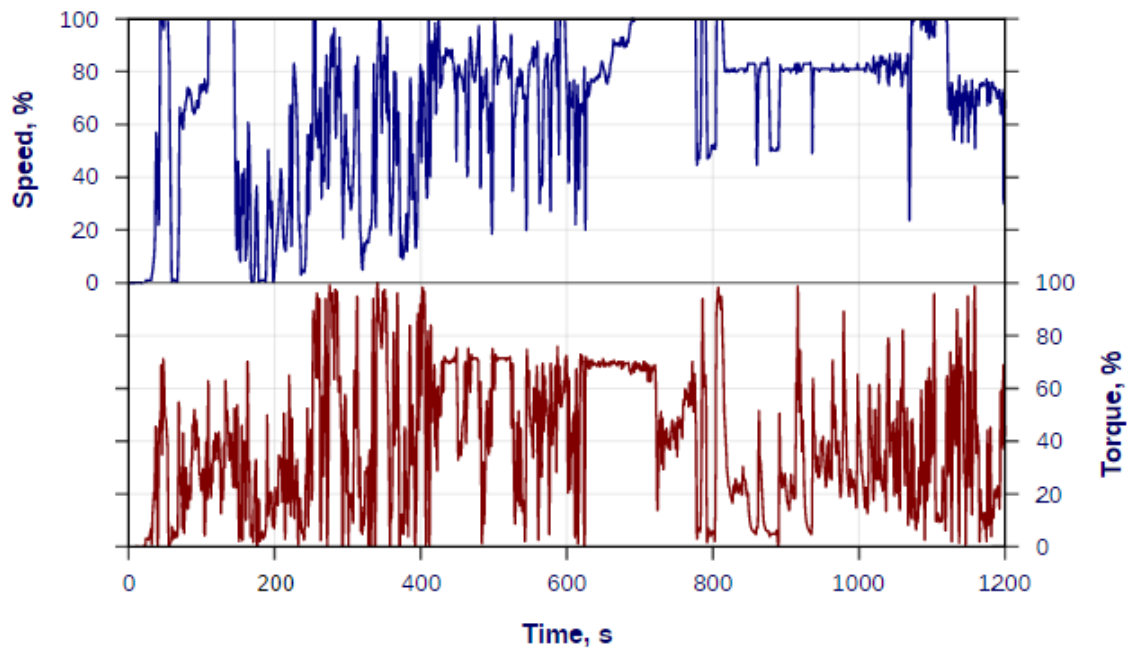
Taulukko 5. Tässä tutkimuksessa käytetyt ISO-8178-syklin mittauspisteet.

Mode	Moottorin pyörimisnopeus	Kuormitus (%)	Painokerroin
1	2100	100	0,15
2	2100	75	0,15
3	2100	50	0,15
4	2100	10	0,1
5	1500	100	0,1
6	1500	75	0,1
7	1500	50	0,1
8	Idle	0	0,15

2.6.2 NRTC

Nonroad Transient Cycle eli NRTC on kansainvälisesti päästöjen sertifoimiseen käytetty ajosykli liikkuville työkonedieselmootoreille. NRTC-syklillä on tarkoituksena kuvata

todenmukaista ajoa. Yksi NRTC-sykli kestää 1238 sekuntia ja se sisältää useita eri kuormituksia ja pyörimisnopeuksia (kuva 3). Sykli ajetaan sekä kylmä että kuumakäynnistyksellä. Kylmä- ja kuumakäynnistyksen välissä pidetään 20 minuutin tasaantumisaika. Kylmäkäynnistyksen painotuskerroin on 10 % EU:ssa -ja 5 % Yhdysvalloissa. (Dieselnet 2016.)



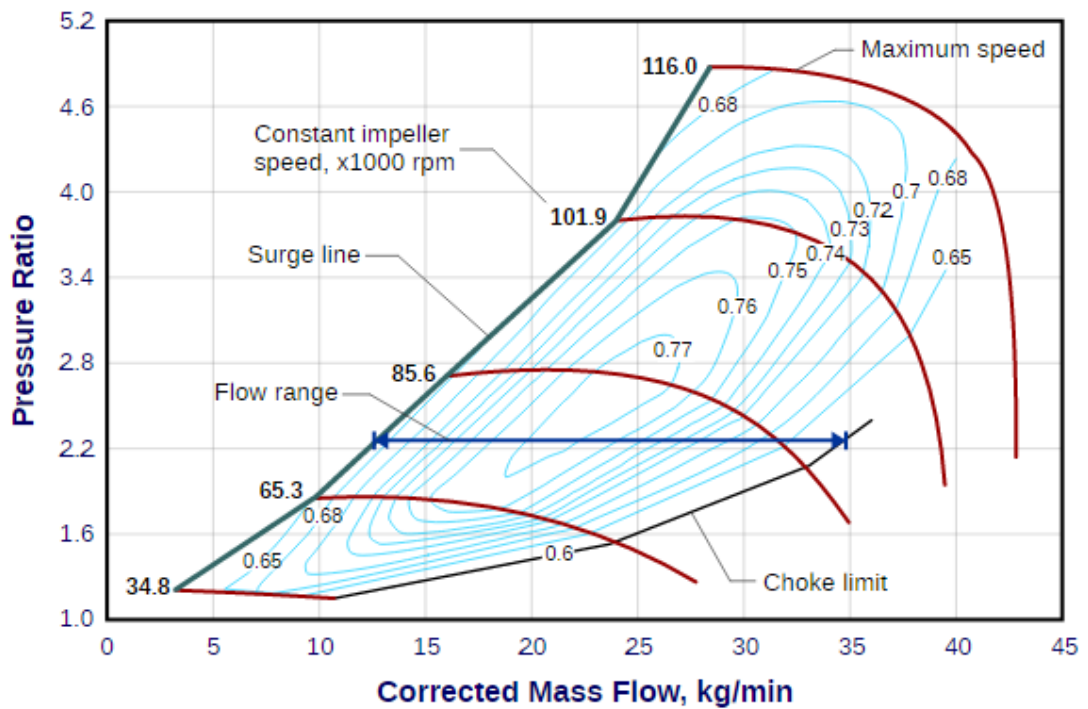
Kuva 3. NRTC-sykli (Dieselnet 2016).

3 TURBOAHTAMINEN JA PALOTILAN MUOTOILU

3.1 Turboahtaminen

Ahtaminen on ensisijainen tapa parantaa moottorin tehotiheyttä. Ahtamisessa on kyse palamisilman tiheyden kasvattamisesta. Ahtamaton moottori voi ottaa sylinteriin vain rajoitetun määrän tuoretta ilmaa. Tämän tuoreen ilman massa määrää taas syötettävän polttoaineannoksen suuruuden ja sitä kautta saavutettavissa olevan sylinteritehon. Kun halutaan lisätä sylinteritehoa, pitää pystyä polttamaan enemmän polttoainetta. Polttoaineen syötön lisääminen on ainoastaan järkevää, kun voidaan samalla lisätä palamisilman määrää. Jos palamisilman määrää ei lisätä, niin savutus lisääntyy voimakkaasti. Pakokaasuahdaminen parantaa huomattavasti moottorin hyötysuhdetta, koska turboahdin saa käyttövoimansa muutoin hukkaan menevästä pakokaasuenergiasta. (Watson & Janota, 1982, 1-4.)

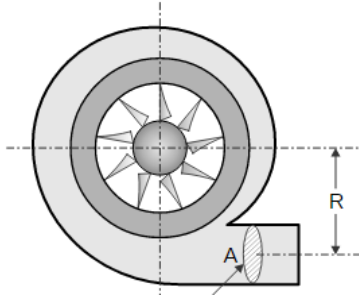
Kompressorikartta (kuva 4) on yleisesti käytetty työkalu ahtimen valinnassa. Kompressorikartta määrää kompressorin toimintaympäristön. Turboahdinten kompressorikartassa käytetään yleisesti X-akselina ilman massavirtaa ja Y-akselina painesuhdetta, joka on paine kompressorin jälkeen jaettuna imuilman paineella. (Jääskeläinen & Magdi 2016.)



Kuva 4. Kompressorikartta (Dieselnet 2016).

Pienin stabiili ilman massavirta tietyllä pyörimisnopeudella on määritetty turboahtimelle kartassa sakkausrajaksi ja suurin stabiili massavirta choke lineksi. Sakkausrajalle mentäessä käy niin, että pienellä ilman massavirralla ja suurella paineella ilmavirta ei enää tartu kompressorin siipien imupuolelle, jolloin virtaus sakkaa sisäänmenossa ja ulosvirtaus häiriintyy. Kun ilman massavirta rajoittaa kompressorin sisäänmenon halkaisija, ollaan choke linella, ja kun ilmavirtaus kompressorin siipipyörällä saavuttaa äänennopeuden, niin tilavuusvirta ei voida lisätä. (Jääskeläinen & Magdi 2016.)

Sopivan A/R-suhteen (kuva 5) valitseminen on myös tärkeää ahtimen valinnassa. A/R suhde on turbiinin sisäänmenon halkaisija jaettuna sen etäisyydellä akseliin. A/R suhde vaikuttaa voimakkaasti ahtimen suorituskykyyn. Tietyllä pakokaasuvirralla saadaan pienemmällä A/R suhteella suurempi pyörimisnopeus turbiinin ja kompressorin siipipyörille, jolloin saadaan kasvatettua myös ilmavirtaa. Näin saadaan parannettua ilmavirtaa varsinkin matalilla pyörimisnopeuksilla, jolloin voidaan nostaa alakierrosten vääntömomenttia. Tästä on varsinkin silloin hyötyä, kun moottorin savutukselle on raja-arvo, jota ei saa ylittää. (Jääskeläinen & Magdi 2016.)



Kuva 5. Ahtimen A/R-suhde (Dieselnet 2016).

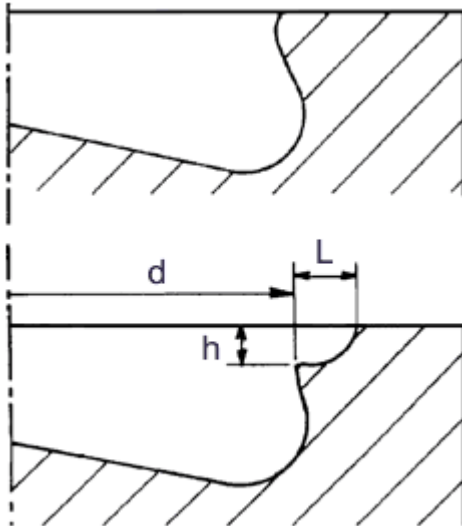
3.2 Palotilan muotoilun vaikutukset moottorin ominaisuuksiin

Diesel-palamisprosessissa ilma-polttoainesuhde on tunnetusti laiha. Vaikka keskimääräinen ilma-polttoaine suhde on laiha, voi palotilassa olla polttoainerikkaita kohtia, joissa lambda-arvo on lähes nolla ja tästä aiheutuu liiallisia savutuspäästöjä. Keskeistä palotilan suunnittelussa on saada ilma-polttoaineseos sekoittumaan mahdollisimman hyvin, jotta polttoainerikkaita alueita saataisiin vähennettyä palotilassa. Palotilaan virtaavan ilman liikkeestä aiheutuva turbulenssi on havaittu sekoitus prosessia parantavaksi tekijäksi, jota voidaan käyttää tavoitteen saavuttamiseksi. Imukanavalla tehtyä pyörrettä voidaan parantaa tai palotilaan voidaan luoda pyörteily hyvällä palotilan muotoilulla. (Jääskeläinen & Magdi 2016.)

Moottorin komponenteista palotilalla on merkittävin vaikutus syntyviin hiukkaspäästöihin. Palotila vaikuttaa myös palamattomiin hiilivetyihin ja häkään. NO_x -päästöihin palotilan muotoilulla ei ole merkittävää vaikutusta, mutta NO_x -PM trade off:sta johtuen myös palotila suunnittelun on kehityttävä, kun NO_x -päästörajat tiukentuvat. Voiteluöljyn joutuminen palotilaan (oil sooting) ja hiukkaspäästöt ovat suuri haaste moottoreissa, joissa käytetään todella myöhäistä ruiskutusennakkoa saavuttamaan pienet NO_x -päästöt. Ilman palotilan muotoilun kehitystä myöhäinen polttoaineen ruiskutus tuottaa palotilassa nokipartikkeleita sylinteriputkeen, josta noki pääsee sekoittumaan voiteluöljyn sekaan. Kehitystä tarvitaan ensisijaisesti välttämään hiukkaspäästöjen kasvaminen NO_x -päästöjä laskettaessa. (Jääskeläinen & Magdi 2016.)

Pakokaasun takaisinkierrätys, EGR, on todella tehokas keino vähentää NO_x -päästöjä, mutta samalla se tuo haasteita palotilan suunnitteluun. Tulevia päästörajouksia kohti mentäessä EGR:n käyttö tulee lisääntymään, mikä tarkoittaa, että ilman ylimäärä sylinterissä vähenee merkittävästi. Tästä johtuen tulee entistäkin enemmän kiinnittää huo-

miota polttoaineen sekoittumiseen, jotta palotilassa polttoainerikkaita alueita ei pääse syntymään ja tuottamaan suuria määriä nokea. Etenkin pienillä pyörimisnopeuksilla tästä voi tulla ongelma, jolloin on taipumusta vaatia korkeampia EGR-tasoja. Yksi ratkaisu tähän ongelmaan on stepped-lip -männän muotoilu. Monissa moottoreissa, jotka alittavat erittäin tiukat hiukkaspäästörajat ilman jälkikäsittelyjärjestelmiä, on stepped-lip -mäntä (kuva 6). (Jääskeläinen & Magdi 2016.)

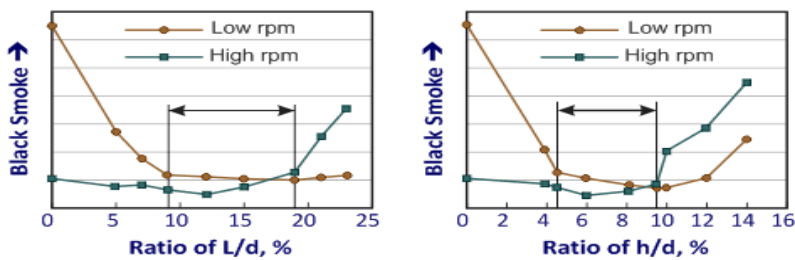


Kuva 6. Ylempänä re-entrant -männän muotoilu. Alempana stepped lip -männän muotoilu (Dieselnet 2016).

Kun re-entrant -männällä (kuva 6) ajetaan matalilla pyörimisnopeuksilla, jolloin polttoaineen ruiskutus on valmis ennen kuin mäntä on ehtinyt liikkua paljoa alaspäin, suihku rajoittuu lähelle männän pohjaa. Tästä johtuen paljealueella olevasta hapesta vain vähän tulee käytettyä. Vastaavasti suurilla pyörimisnopeuksilla mäntä on ehtinyt liikkua alaspäin jo huomattavasti, ennen kuin polttoaineen ruiskutus on valmis, jolloin polttoainetta osuu liikaa paljealueelle ja männän pohjalla oleva happi tulee vajaasti käytetyksi. Kun tähän lisätään korkea EGR:n käyttö, niin siitä saattaa aiheutua kohtuuttomasti savutusta. (Jääskeläinen & Magdi 2016.)

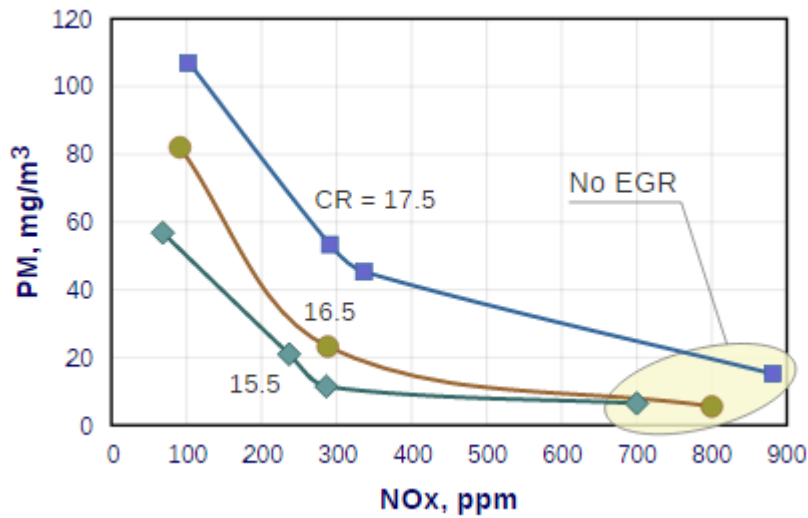
Lisähuuli männän ulkokehällä auttaa polttoainetta jakaantumaan tasaisemmin palotilaan ja noen syntyä voidaan vähentää. Matalilla kierrosnopeuksilla stepped lip -männällä on mahdollista ohjata polttoainesuihkua suoraan paljealueelle. Suurilla pyörimisnopeuksilla taas sisääntuloahuuli hyödyntää polttoainetta jakaantumaan tasaisemmin männän pohjan ja paljealueen kanssa. (Jääskeläinen & Magdi 2016.)

Stepped lip -männän huulen mitoitus on tärkeää, jotta männän ominaisuudet saadaan toimimaan mahdollisimman hyvin koko kierrosalueella. Suurilla pyörimisnopeuksilla männän hyvät ominaisuudet katoavat, jos L- ja H-mitat (kuva 6) valitaan liian suuriksi. Liian suuri L-mitta voi aiheuttaa polttoainesuihkun törmäämisen sylinteriputkeen ja liian suuri H-mitta vähentää virtausta paljealueella. Kuviossa 1 esitetään L- ja H-mitan vaikutus savutukseen. Kuviosta nähdään myös millä L- ja H-arvoilla saadaan vähiten savutusta sekä korkeilla että matalilla pyörimisnopeuksilla. (Jääskeläinen & Magdi 2016.)



Kuvio 1. Stepped lip -männän geometrian vaikutus savutukseen (Dieselnet 2016).

Puristussuhde on myös yksi tärkeä laskentaparametri. Aiemmin uskottiin, että korkeampi puristussuhde vähentää hiukkaspäästöjä, nostaa typenoksidipäästöjä ja parantaa polttoainetaloutta. Näin ei kuitenkaan enää nykyään ole uusien polttoaineen ruiskutusjärjestelmien ansioista. Todistettusti sekä hiukkaspäästöjä että NO_x -päästöjä voidaan vähentää pienentämällä puristussuhdetta (kuvio 2). Korkeampi puristussuhde lisää myös moottorin kitkavastusta ja samalla tarvitaan moottoreille vahvempi rakenne, joka tulee kalliimmaksi ja lisää moottorin painoa. Kasvanut moottorin paino sekä kitkavastus tasoittavat korkeammalla puristussuhteella saadun polttoaine hyödyn. (Jääskeläinen & Magdi 2016.)



Kuvio 2. Puristussuhteen vaikutus hiukkas- ja NO_x-päästöihin (Dieselnet 2016).

Ennen vanhaan puristussuhde valittiin korkeammaksi kuin moottorille suunniteltu optimaalinen puristussuhde, jotta saatiin taattua hyvät kylmäkäynnistys ominaisuudet. Korkeampi puristussuhde kasvattaa puristustahdin lopun lämpötilaa, joka vähentää sytytys jättämää. Tämä sallii myös ruiskutusennakon säätämisen myöhäisemmälle, jolloin saadaan hallittua NO_x-päästöjä ja samalla hyvä NO_x/SFC suhde. Nykyään voidaan taata hyvät kylmäkäynnistysominaisuudet esimerkiksi hehkutulpilla ja palotilan muotoilulla, vaikka olisi matala puristussuhde. (Jääskeläinen & Magdi 2016.)

4 TURBOAHDINTUTKIMUS

Tulokset on toimitettu tutkimuksen tilaajalle toimitetussa kappaleessa.

5 PALOTILATUTKIMUS

Tulokset on toimitettu tutkimuksen tilaajalle toimitetussa kappaleessa.

6 YHTEENVETO

Tämä opinnäytetyö koostui kahdesta komponenttitutkimuksesta. Ensimmäinen komponenttitutkimus oli turboahdintutkimus, joka suoritettiin AGCO Power Oy:n valmistamalla 33CW3 -työkonedieselmootorilla. Tutkimuksen tavoitteena oli löytää referenssiahdinta parempi turboahdin kyseiselle moottorille. Tutkimuksessa vertailtiin kolmea eri Borg Warnerin valmistamaa turboahdinta referenssiahtimen lisäksi. Tutkitut Borg Warnerin ahtimet olivat muuten samanlaisia, mutta niissä oli eri turbiinipesät. Ahdintutkimuksissa pienimmällä turbiinipesällä varustettu ahdin osoittautui parhaimmaksi vaihtoehdoksi tälle moottorille.

Toisessa komponenttitutkimuksessa tutkittiin uuden palotilanmuotoilun vaikutuksia polttoaineen ominaiskulutukseen ja päästöihin. Palotilatutkimus suoritettiin AGCO Power Oy:n valmistamalla 49AWF -työkonedieselmootorilla, ja tutkimus oli yhtenä osana suurempaa kokonaisuutta, jossa tutkitaan 49AWF -moottorin soveltuvuutta Stage V -päästörajoituksiin.

LÄHTEET

Dieselnet. Nonroad transient cycle. Viitattu 14.11.2016

<https://www-dieselnet-com.ezproxy.turkuamk.fi/standards/cycles/nrtc.php>

Jääskeläinen, H & Magdi, K. Khair 2016. Combustion systems. Dieselnet. Viitattu 25.10.2016

https://www-dieselnet-com.ezproxy.turkuamk.fi/tech/engine_combustion.php

Jääskeläinen, H & Magdi, K. Khair 2016. Emission test cycles. Dieselnet. Viitattu 14.11.2016

<https://www-dieselnet-com.ezproxy.turkuamk.fi/standards/cycles/iso8178.php>

Jääskeläinen, H & Magdi, K. Khair 2016. Turbocharger fundamentals. Dieselnet. Viitattu 10.10.2016

https://www-dieselnet-com.ezproxy.turkuamk.fi/tech/air_turbocharger.php

Mollenhauer, K & Tschoeke, H 2010. Handbook of diesel engines. Saksa: Springer Verlag. Viitattu 11.12.2016

Watson, N & Janota, M.S 1982. Turbocharging the internal combustion engine. Iso Britannia: The Macmillan press LTD. Viitattu 11.12.2016

Liitteet on toimitettu tutkimuksen tilaajalle toimitetussa kappaleessa.