

Opinnäytetyö (AMK)

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

2018

Riku Tainio

TYÖKONEDIESELMOOTTORIN
PYÖRINTÄNOPEUSALUEEN
KAVENTAMISEN VAIKUTUS
MOOTTORIN
SUORITUSKYKYYN JA
PAKOKAASUPÄÄSTÖIHIN

OPINNÄYTETYÖ (AMK / YAMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

2018 | 37 sivua

Riku Tainio

TYÖKONEDIESELMOOTTORIN PYÖRINTÄNOPEUSALUEEN KAVENTAMISEN VAIKUTUS MOOTTORIN SUORITUSKYKYYN JA PAKOKAASUPÄÄSTÖIHIN

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli testata erilaisia kavennetun kierrosalueen (NES) sekä vakiokierrosalueen (*constant speed*) toimintaa Agco Powerin kolmesylinterisessä 33HD-työkonedieselmoottorissa. Lisäksi simuloitiin dieselmoottorin lisänä olevaa pientä sähkömoottoria. Pääosa testeistä suoritettiin NRTC-syklijolla. Tutkimuksessa käytettiin uusia Stage V -päästönormeja. Moottorissa ei ollut jälkikäsitteilylaitteita asennettuna. Tutkimus suoritettiin Turun ammattikorkeakoulun moottorilaboratoriossa yhteistyössä Agco Powerin kanssa loppuvuodesta 2017. Työn tulokset luovat hyvän pohjan jatkotutkimuksille aiheeseen liittyen.

ASIASANAT:

päästöt, työkone, dieselmoottori, hybridi

BACHELOR'S / MASTER'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Automotive and Transportation Engineering

2018 | 37 pages

Riku Tainio

THE IMPACT OF NARROWED ENGINE SPEED ON EMISSIONS AND PERFORMANCE IN NON-ROAD DIESEL ENGINE

The main goal of this thesis was to test different narrow engine speed (NES) variations and operation of engine in constant speed mode. Research also included some electric motor simulation. All of the tests were conducted with AGCO Power 33HD three cylinder nonroad diesel engine. The main focus on testing was in NRTC cycle. Stage V emission rates were noticed in testing. Engine was not equipped with exhaust after treatment. The research was performed in engine laboratory of Turku University of Applied Sciences in cooperation with AGCO Power and it was completed in the final quarter of 2017. Test results are good starting point for further research on this subject.

KEYWORDS:

emission, non-road, diesel engine, hybrid

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	7
2 TYÖKONEDIESELMOOTTORIT NYKYPÄIVÄNÄ	9
Eri työkonvalmistajien hybridiratkaisuja	9
3 TUTKIMUSLAITTEISTO	11
3.1 Moottori	11
3.2 Moottorijarru	12
4 NES – KAPEAN KIERROSALUEEN MOOTTORI	14
Tulokset esitetty vain tilaajalle toimitetussa kappaleessa.	14
5 VAKIOKIERROSLUKUTUTKIMUS	15
Tulokset esitetty vain tilaajalle toimitetussa kappaleessa.	15
6 HYBRIDITUTKIMUS	16
Tulokset esitetty vain tilaajalle toimitetussa kappaleessa.	16
7 LOPPUPÄÄTELMÄT	17
LÄHTEET	19

KUVAT

Kuva 1. NRTC-sykli.	8
Kuva 2. ZH200-5B-hybridikaivinkoneen toimintaperiaate.	10
Kuva 3. Fendt 210 -referenssikäyrä.	12
Kuva 4. Tutkimusmoottori asennettuna tutkimuspaikalle.	12

TAULUKOT

Taulukko 1. Stage V -päästönormit.	7
Taulukko 2. Tutkimusmoottorin dynamometrijossa käytetyt rajoitussuureet.	11
Taulukko 3. Päästömittalaitteet.	13

KÄYTETYT LYHENTEET

DPF	Partikkelisuodatin
H ₂ O	Vesi
kW	kilowatti
N ₂	Typpi
NES	Narrow Engine Speed
Nm	Newtonmetri
NO _x	Typpioksidipäästöt
NRTC	Nonroad Transient Cycle
MSS	Micro Soot Sensor
rpm	Kierrosluku (rounds per minute)
SCR	Selective Catalytic Reduction
SFC	Specific Fuel Consumption
Stage V	EU:n liikkuviin työkoneisiin määräämän päästönormin viides vaihe (2016/1628)

1 JOHDANTO

Nopeasti tiukentuvista päästönormeista johtuen moottorinvalmistajat joutuvat koko ajan kehittämään moottoreitaan normeja vastaaviksi. Uusin päästoluokka Stage V tulee käyttöön alle 56kW:n ja yli 130kW:n työkonedieseleissä vuoden 2019 alusta sekä 56–130kW:n moottoreissa 2020 alkaen. Stage V:n partikkelirajoitukset tarkoittavat käytännössä sitä, että kaikissa moottoreissa tulee olla DPF (ECOpaint Inc. 2016). Alla olevassa taulukossa on esitetty Stage V -päästoluokan rajat.

Taulukko 1. Stage V -päästönormit. (ECOpaint Inc. 2016).

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

^a HC+NOx
^b 0.60 for hand-startable, air-cooled direct injection engines
^c A = 1.10 for [gas engines](#)
^d A = 6.00 for [gas engines](#)

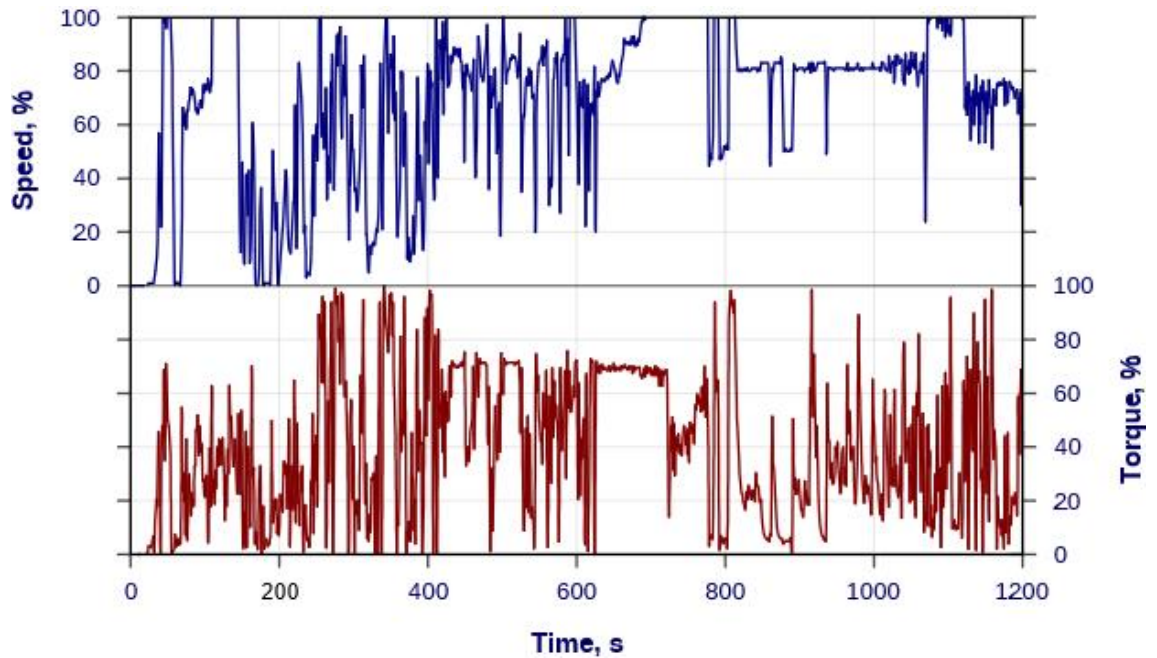
Tutkimuksen kannalta tärkeimmät päästömittaukset ovat NOx ja savutus. Moottorinohjauksen säätömahdollisuuksien lisäksi moottorin päästöihin pystytään vaikuttamaan erilaisilla pakokaasujen jälkikäsittelyjärjestelmillä. Yksi esimerkki näistä on SCR-katalysaattori, jonka avulla NOx-päästöt muunnetaan typeksi (N₂) ja vedeksi (H₂O). (ECOpaint Inc. 2005.)

Moottorin polttoaineen kulutuksen vähentäminen on myös yksi tärkeä kehityseruste. Polttoaineen kulutuksen pienentämiseksi on suunniteltu kavennetun kierrosalueen moottoreita. Yleisesti ottaen tutkimuksessa käytettyjen työkonedieselien toimintakierrosalue on ollut 800-2 200 rpm välillä.

Tutkimuksessa testattiin neljää erilaista NES-käyrää (*narrow engine speed*), joissa kierrosalueet vaihtelivat 1 200rpm:n ja 1 700rpm:n välillä. Lisäksi tutkittiin useaa eri vakio-kierrosalukua vaihtoehtoa sekä hybridisimulaatiota.

Tutkimuksen pääpaino on NRTC-sykliajoissa. NRTC-sykli on työkonedieselmoottoreille EU:n ja US EPA:n suunnittelema sykliajo, jolla testataan moottorien päästötasoja. NRTC

vaaditaan Stage III/IV:n ja uudemmilta moottoreilta. Sykli ajetaan kahdesti, ensin kylmällä moottorilla ja 20 minuutin jäähtymisen jälkeen uudestaan lämpöisellä moottorilla. Kylmällä moottorilla ajatun testin painokerroin on 10 % EU:ssa. Sykli kestää 1 238 sekuntia (Ecopoint Inc. 2018).



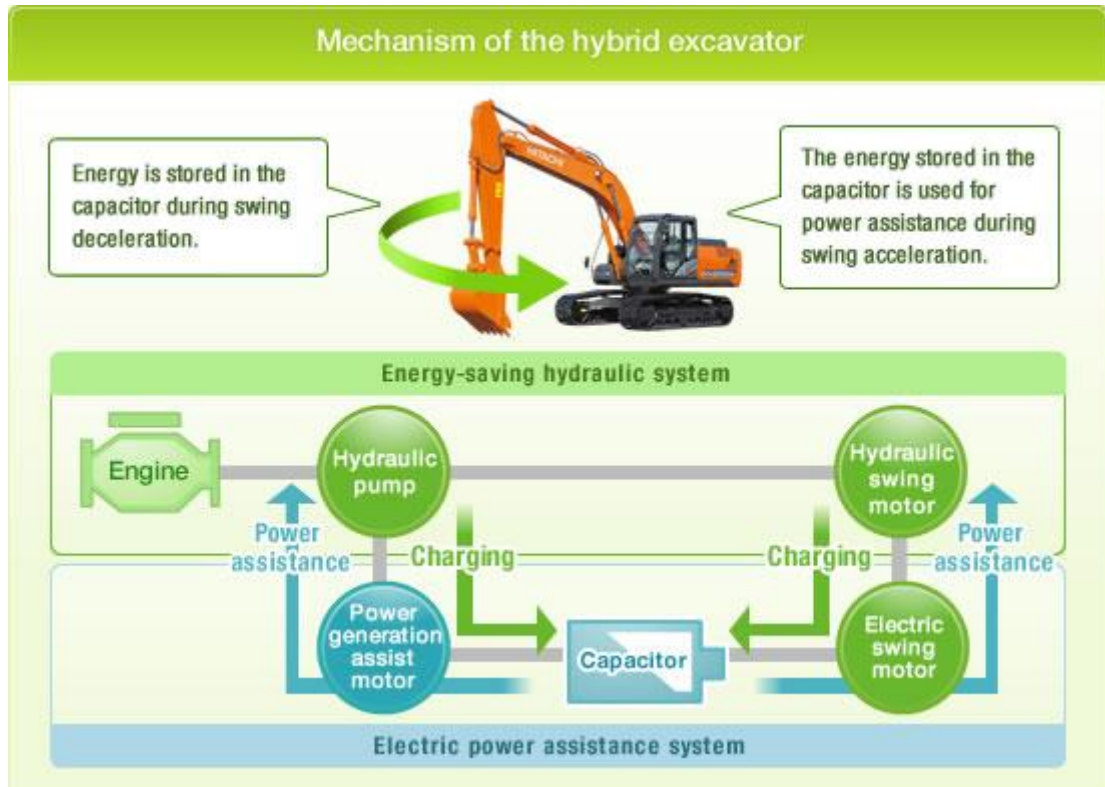
Kuva 1. NRTC-sykli. (ECOpaint Inc. 2005)

2 TYÖKONEDIESELMOOTTORIT NYKYPÄIVÄNÄ

Työkonemarkkinoilla yksi suurista trendeistä on polttoaineen kulutuksen vähentäminen. Lähivuosina onkin tullut markkinoille useita hybridiversioita eri työkoneista. Jaakko Nokka perehtyi hybriditekniikkaan työkonikäytössä omassa väitöstudkimuksessaan (2018), joka käsitteli työkoneiden hybridisointia simuloinnin avulla. Työkoneen dieselmoottorit mitoitetaan yleisesti ottaen maksimikuormituksen mukaan, jota kuitenkin tarvitaan vain hetkellisesti hyvin lyhyitä aikoja. Hybridisoinnin ideana onkin, että dieselmoottori mitoitetaan yleisen käyttökuormituksen mukaan ja suuret kuormapiikit hoidetaan sähkömoottorin avustuksella. Kevyellä kuormalla ollessaan dieselmoottori lataisi jatkuvasti koneen litiumakkuja, joista saataisiin suuri tehopiikki silloin, kun sitä tarvittaisiin. Dieselmoottori saataisiin toimimaan enemmän optimikäyttöalueella, jolloin moottorin hyötysuhde kasvaa ja polttoaineen kulutus pienenee. (Yle 2018.)

Eri työkonvalmistajien hybridiratkaisuja

Hitachi ja Komatsu on esimerkkejä työkonvalmistajista, jotka ovat valmistaneet hybridikäyttöisiä kaivinkoneita. Hitachi ZH200-5B on yksi esimerkki hybridikaivinkoneesta. Siinä on sähkömoottori, joka muuntaa ylävaunun käännössä aiheutuvan hidastuvuuden sähköenergiaksi ja varastoi sen kondensaattoriin. Varastoitua sähköenergiaa käytetään, kun ylävaunua halutaan taas kääntää. Kyseisessä mallissa on myös toinen sähkömoottori, joka on kytketty kaivinkoneen hydraulipumppuihin. Hydraulipumppuihin yhdistetyn sähkömoottorin tehtävä on säätää kondensaattorin energiamäärää sekä avustaa dieselmoottoria polttoaineen säästämiseksi. Kuvassa 2 on esitetty Hitachin hybridikaivinkoneen toimintaperiaate. (Hitachi Ltd 2018.)



Kuva 2. ZH200-5B-hybridikaivinkoneen toimintaperiaate (Hitachi Ltd. 2018).

Logset on valmistanut Visedon kanssa yhteistyössä Logset12HGTE Hybrid harvesterin. Siinä on dieselmoottorin lisäksi kestmagneettisähkomoottori ja energia varastoidaan superkondensaattoriin. Logsetissa on AGCO Powerin valmistama 7-sylinterinen 7,4-litrainen dieselmoottori, joka tuottaa tehoa 220 kW ja kierrosluvun ollessa 1500 saadaan vääntömomenttia 1 200 Nm. Sähkomoottori tuottaa 800 Nm vääntöä ja 175 kW tehoa. (Koivisto, H. 2016.)

Suomalainen Visedo on kehittänyt yhteistyötä myös monien muiden valmistajien kanssa, kuten mm. Sisun kanssa tehty kuorma-auto. Dieselmoottoreina toimii Mercedesen valmistama OM471 tai OM473, jonka rinnalla toimii Visedon kestmagneettimoottori. Energia varastoidaan PowerCAP-superkondensaattorilla. Tehoa luvataan 850 kW ja vääntöä yli 5 000 Nm. Sähköjärjestelmän idea on auttaa dieselmoottoria korkeilla kuormilla ja ladata energiavarasto silloin, kun dieselmoottorin kuorma on kevyt. (Oy Sisu Auto Ab 2017.)

3 TUTKIMUSLAITTEISTO

3.1 Moottori

Tutkimusmoottorina toimi AGCO Powerin valmistama kolmesylinterinen 3,3-litrainen työkonedieselmoottori mallimerkinnältään 33HD. Moottori on varustettu BorgWamer-turboahtimella, sähköisellä hukkaportilla ja ahtoilman jäähdyttimellä sekä polttoaineen Common Rail -ruiskutuksella. Moottorikokoonpanossa ei käytetty jälkikäsitteilyjärjestelmiä, ja tästä johtuen pakoputkiston vastapaineeksi säädettiin läpän avulla 230 mbar. Lisäksi välijäähdyttimen painehäviöksi säädettiin 150 mbar ja imuilman alipaineeksi 35 mbar. Painet säädettiin referenssikäyrän nimellistehon kuormituspisteessä. Moottorin kaikki rajoitukset on esitetty taulukossa 2. Tutkimusmoottori asennettuna tutkimuspaikalle näkyy kuvassa 4.

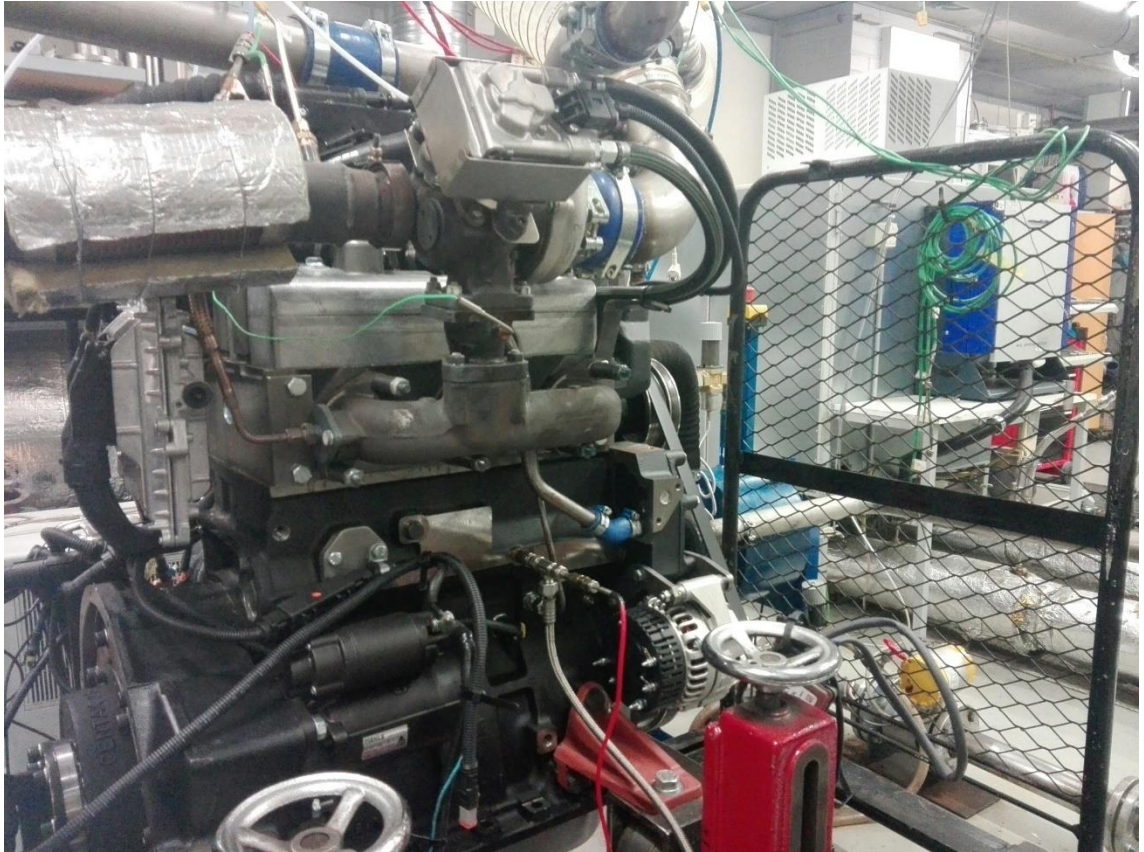
Taulukko 2. Tutkimusmoottorin dynamometrijossa käytetyt rajoitussuureet.

Boundary Condition	Value
<i>Esitetty vain tilaajalle toimitetussa kappaleessa</i>	

Tutkimuksen referenssinä käytettiin Fendt 210 -referenssikäyrää, joka on esitetty alla olevassa kuvassa. Referenssikäyrä ja rajoitussuureet tulivat työn tilaajalta eli AGCO Powerilta.

Kuva esitetty vain tilaajalle toimitetussa kappaleessa.

Kuva 3. Fendt 210 -referenssikäyrä.



Kuva 4. Tutkimusmoottori asennettuna tutkimuspaikalle.

3.2 Moottorijarru

Moottori paikan jarruna toimi Horiba WT300 -pyörrevirtadynamometri, jonka maksimitehonkesto on 300 kW ja 1 200 Nm. Jarrua ohjattiin National Instruments PXI -järjestelmän sekä Horiban oman jarrunohjausjärjestelmän kautta.

Moottorinohjaus

Moottorinohjaus, säätö ja tarkkailu toteutettiin WinEEM4 Restricted Development Tool -ohjelmalla, jonka versio oli 2.1.3.

Päästöjen mittaus

Päästöjä mitattiin tutkittavasta moottorista ottamalla näytteitä pakoputkesta. Näytteet ohjattiin lämmitettyä linjaa pitkin päästömittalaitteille, jotka analysoivat näytteet. Mittalaitteet kalibroitiin jokaisen päivän alussa ja lopussa, jotta tulokset pysyisivät mahdollisimman tarkkoina. Laboratoriosta mitattiin myös huoneilman lämpötilaa, kosteutta sekä painetta.

Taulukko 3. Päästömittalaitteet.

Päästötyyppi	Mittalaite
Typen oksidit NOx	Eco Physics CLD 822/Siemens Smart Nox-sensor
Happi O2	Siemens Oxymat 61/Siemens Smart Nox-sensor
Hiilivedyt HC	J.U.M HFID VE7
Hiilimonoksidi CO	Siemens Ultramat 6E-2R
Hiilidioksidi CO2	Siemens Ultramat 6E-2R
Hiukkaset	AVL 415S/AVL MSS

4 NES – KAPEAN KIERROSALUEEN MOOTTORI

Tulokset esitetty vain tilaajalle toimitetussa kappaleessa.

5 VAKIOKIERROSLUKUTUTKIMUS

Tulokset esitetty vain tilaajalle toimitetussa kappaleessa.

6 HYBRIDITUTKIMUS

Tulokset esitetty vain tilaajalle toimitetussa kappaleessa.

7 LOPPUPÄÄTELMÄT

Tutkimus käsitti kolme eri osa-aluetta. Tutkimuksen testit koostuivat pääasiassa NRTC-sykleistä, joiden tuloksia vertailtiin keskenään. Tuloksissa pääpaino oli polttoaineen kulutuksessa sekä raakapäästöissä, joiden pääosassa NO_x ja savutus. Moottori oli speksiltään Stage V:tä vastaava, mutta pakokaasujen jälkikäsitteilylaitteet eivät olleet tässä tutkimuksessa kiinnitettynä.

Ensimmäisenä verrattiin neljää eri kavennetun kierrosalueen (NES) variaatiota referenssiin ja tutkittiin moottorin pyörintänopeusalueen kaventamisen vaikutusta moottorin toimintaan, kulutukseen ja päästöihin.

NES-testien jälkeen ajettiin vakiokierroslukutestit (*constant speed*). Tutkimus rakentui NES3:n pohjalta ja siinä testattiin viittä eri vakiokierroslukuvaihtoehtoa. Korkein kierros-luku oli 1 500 rpm, josta oli kaksi eri tehoversiota. Niiden lisäksi tutkittiin 1 400 rpm, 1 300 rpm ja 1 200 rpm vaihtoehtoja.

Vakiokierroslukututkimuksen tuloksista valikoitui yksi vaihtoehto kolmanteen tutkimukseen, eli hybriditutkimukseen. Vakiokierroslukumoottorin rinnalle simuloitiin pientä sähkömoottoria, jonka tehtävä oli hoitaa suuret kuormituspiikit. Testauskohteena oli yhteensä kuusi eri variaatiota, joissa vaihteli sähkömoottorin teho sekä toiminta-alue.

Hybridi on varteenotettava vaihtoehto tulevaisuuden työkonemarkkinoilla. Tälle osa-alueelle kannattaa jatkossakin kiinnittää resursseja ja tutkia erilaisia sähkön tuomia käyttömahdollisuuksia työkonekäytössä. Hybriditutkimuksessa olisi hyvä tutkia tarkemmin sähkömoottorin tehontarvetta ja miettiä millä ja miten tarvittava teho saataisiin tuotettua.

Mittaukset suoritettiin pääosin aikataulussa, mutta välillä tutkimus viivästyi meistä riippumattomista syistä.

Parantamisen varaa jäi ennen syklejä tapahtuvissa valmisteluissa. Tuloksia analysoidessa kävi ilmi, että NRTC-sykliden aloituslämpötiloissa eri testien välillä oli suuria eroja. Kyseinen ongelma olisi helppo korjata sillä, että moottorin lämmittelyt ja muut valmistelut noudattaisivat aina samaa kaavaa. Näin saataisiin sykliden aloitusilanteet ja alkuarvot lähemmäs toisiaan.

NRTC-syklejä ajetaan virallisesti kaksi. Ensimmäinen on niin sanottu kylmäsykli, jonka alussa moottorin lämpötilojen tulisi olla tasoittunut huoneenlämpöä vastaaviksi. Kylmäsyklin jälkeen tulisi olla 20min tauko, jonka jälkeen ajetaan toinen NRTC-sykli eli kuumasykli. EU:ssa kylmätestin painotuskerroin on 10 %. (ECOpoint Inc. 2018.)

LÄHTEET

Eur-lex 2016. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus. Viitattu 20.5.2018 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A32016R1628>.

ECOpint Inc. 2005. SCR-katalysaattorin toiminta. Viitattu 19.3.2018 https://www.dieselnet.com/tech/cat_scr.php.

ECOpint Inc. 2016. Työkonedieselmoottorin päästövaatimukset. Viitattu 21.4.2018 <https://www.dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php>.

ECOpint Inc. NRTC-sykli. Viitattu 19.3.2018 <https://www.dieselnet.com/standards/cycles/nrtc.php>.

Hitachi. Hybridikaivinkoneen tekniikka. Viitattu 22.3.2018 http://www.hitachi.com/environment/products/hybrid_excavator/index.html.

Matec-conferences 2015. SCR-katalysaattorin optimaalinen toimintalämpötila. Viitattu 7.4.2018 https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2015/07/matecconf_acmme2015_03002.pdf.

Koivisto, H. Logset– uusi hybriditekniikka harvesteriin. Maaseutumedia 26.3.2016 Viitattu 25.3.2018. <http://www.maaseutumedia.fi/logset-uusi-hybriditekniikka-harvesteriin/>.

Oy Sisauto Ab 2017. Kotimainen kuljetusvälineollisuus elää uutta nousukautta. Viitattu 31.3.2018. <http://sisuauto.com/sisu-auto-tahtaa-tulevaisuuteen-uusi-kotimainen-teknologiaainnovaatio-raskaisiin-kuorma-autoihin-ja-erikoisajoneuvoihin/>.

Yle 2018. Hybridisoinnin simulointi. Viitattu 15.4.2018 <https://yle.fi/uutiset/3-10011490>.