

Lauri Moilanen

**CONTINENTAL GEN3 -JÄRJESTELMÄN LIITTÄMINEN JA
KÄYTTÖÖNOTTO COMMON PLATFORM -JÄRJESTELMÄSSÄ**

CONTINENTAL GEN3 -JÄRJESTELMÄN LIITTÄMINEN JA KÄYTTÖÖNOTTO COMMON PLATFORM -JÄRJESTELMÄSSÄ

Lauri Moilanen
Opinnäytetyö
Kevät 2017
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma, auto- ja kuljetustekniikka

Tekijä: Lauri Moilanen

Opinnäytetyön nimi: Continental GEN3 -järjestelmän liittäminen ja käyttöönotto Common Platform -järjestelmässä

Työn ohjaajat: Harri Kervinen, Janne Ilomäki

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2017 Sivumäärä: 75 + 4 liitettä

Alati kasvava tietoisuus haitallisista pakokaasupäästöistä on lisännyt olemassa olevan ajoneuvokaluston pakokaasujen jälkikäsittelyjärjestelmien päivystarvetta. Työn tilaaja Proventia Emission Control Oy haluaa laajentaa vahvaa markkina-asemaansa on-road retrofit -puolelta myös off-road-kalustoon. Opinnäytetyön tavoitteena oli määrittää toimiva lähtötaso työn tilaajan Common Platform -pakokaasujen jälkikäsittelyjärjestelmän off-road retrofit -sovellukselle. Tavoitteena oli, että työ toimisi pohjana yrityksessä tehtävälle tuotekehitystyölle.

Common Platform -järjestelmään liitettiin Continental GEN3 -urearuiskutusjärjestelmä ja tälle kokonaisjärjestelmälle suoritettiin käyttöönotto ja kalibrointi työssä laaditun mittaussuunnitelman perusteella. Työssä selvitettiin GEN3-järjestelmän rakenne ja toimintaperiaate, ureasuuttimen asennusvaatimukset ja ureatankin suunnittelussa huomioitavat pääasiat. Kokeellisessa osuudessa mitattiin Common Platform -järjestelmän vastapainetta, hapetuskatalysaattorin NO₂-tuottoa ja partikkelisuodattimen regeneroitumista. Mittauksissa keskityttiin GEN3-järjestelmän kalibroinnin vaiheiden havainnollistamiseen ja urearuiskutuskartan muokkaamisen periaatteisiin. Kalibroinnin onnistumista ja kokonaisjärjestelmän NO_x-alentamisen tehokkuutta mitattiin ajamalla NRTC-päästömittaussykliä. Työssä simuloitiin järjestelmien reagointia käytön aikana mahdollisesti esiintyviin vikatilanteisiin ja haasteisiin kuten anturisygnaalien katkeamiseen tai pitkään tyhjäkäyntijaksoon.

Tuloksina voidaan todeta, että Continental GEN3 -urearuiskutusjärjestelmä soveltuu hyvin off-road retrofit -sovellukseen. Sen käyttöönotto on yksinkertaista eikä vaiheita ennen ajon aloittamista ole monta. Tarvittaessa urearuiskutusjärjestelmä tarjoaa ominaisuuksia vaativaan käyttöön. Common Platform -järjestelmän haluttua lähtötasoa ei täysin saavutettu, mutta mittausten perusteella toiminta on lupaavaa, kunhan järjestelmään saadaan valittua sopiva hapetuskatalysaattori. Valmista asiakastuotetta ajatellen tuotekehitystä on vielä edessä, mutta opinnäytetyö toimii hyvänä pohjana siihen.

Asiasanat: dieselmoottori, pakokaasupäästöt, hapetuskatalysaattori, partikkelisuodatin, selektiivinen katalyyttinen pelkistys, urearuiskutus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering, Option of
Vehicle and Transportation Engineering

Author: Lauri Moilanen

Title of thesis: Connecting and Implementation of Continental GEN3 System in
Common Platform System

Supervisors: Harri Kervinen, Janne Ilomäki

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2017 Pages: 75 + 4 ap-
pendices

Growing awareness of hazardous exhaust gas emissions has increased the need for updated exhaust gas aftertreatment systems in existing ground vehicles. The subscriber of this thesis, Proventia Emission Control, is aiming to broaden their strong market from on-road retrofit systems to off-road retrofit systems. The objective of this thesis was to determine a functional starting level for Proventia's Common Platform exhaust aftertreatment system in off-road retrofit application. This thesis would work as a foundation for their upcoming product development.

Common Platform system was connected with Continental GEN3 urea dosing system and this assembly was implemented and calibrated according to a measurement plan. Structure and operating principle of GEN3 system was examined, as well as requirements for urea doser installation and urea tank development. In the experimental part Common Platform's backpressure, diesel oxidation catalyst's NO₂-output and diesel particle filter's regeneration were measured. The main focus of the experimental was to demonstrate the phases in GEN3-system's calibration and urea dosing map shaping. The success of calibration and NO_x-reducing effectivity of the whole system were evaluated by driving NRTC emission test cycle. Systems' actions in challenging situations such as lack of vital sensor signals or long idle period were examined.

As a result, the Continental GEN3 urea dosing system fits well for off-road retrofit application. It is easy to implement and there aren't too many steps before driving may start. It provides features also for more demanding use if needed. For Common Platform the objective of functional starting level wasn't totally achieved but the measurements showed great potential once suitable diesel oxidation catalyst is chosen. There is still work to do before marketing off-road retrofit systems to customers but this thesis provides a good baseline to continue product development.

Keywords: diesel motor, exhaust gas emissions, diesel oxidation catalyst, diesel particle filter, selective catalyst reduction, urea dosing

ALKULAUSE

Kiitos Proventia Emission Control Oy:lle mahdollisuudesta jatkaa mielenkiintoisen opinnäytetyön parissa kesän 2016 kesätöiden lisäksi. Kiitos Proventian päässä opinnäytetyötä ohjanneille teknologian varapresidentti Arno Amberlalle ja testausyksiköiden ja -ratkaisujen johtaja Harri Kerviselle sekä käytännön järjestelyissä auttaneelle laboratorioinsinööri Esa Väisäselle. Kiitos työtä oppilaitoksen puolelta ohjanneelle laboratorioinsinööri Janne Ilomäelle, joka antoi opinnäytetyöhön liittyvän tuen lisäksi alkuperäisen vinkin mahdollisesta opinnäytetyöaiheesta oulunsalolaisessa yrityksessä.

Kiitos, rakas vaimoni Katariina ja tyttäreni Olivia ja Jasmin isän pitämisestä kii-reisenä myös kotona ja kaikesta tuesta ja motivaatiosta, jota opiskeluun olette antaneet.

Oulussa 26.4.2017

Lauri Moilanen

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
SANASTO	8
1 JOHDANTO	10
2 DIESELMOOTTORIN PAKOKAASUPÄÄSTÖT	11
2.1 Dieselmoottorissa syntyvät päästöt	11
2.2 Eurooppalaiset päästörajat off-road-ajoneuvoille	12
2.2.1 NRTC-päästömittaussykli	14
2.2.2 ISO 8178 C1 -päästömittaussykli (NRSC)	15
3 PÄÄSTÖJEN JÄLKIKÄSITTELY	17
3.1 Hapetuskatalysaattori	17
3.2 Partikkelisuodatin	17
3.3 Selektiivinen katalyyttinen pelkistys	19
3.3.1 SCR-reaktiot	20
3.3.2 NH ₃ -päästö	21
3.3.3 Eri SCR-katalysaattorityyppien alttius myrkyttymiselle	22
4 TUTKITTAVAT JÄRJESTELMÄT	24
4.1 Common Platform -järjestelmä	24
4.2 Continental GEN3 -järjestelmä	25
4.2.1 Urealinjan vaatimukset	27
4.2.2 Ureasuutin	28
4.2.3 Tankin suunnittelulle asetetut vaatimukset	29
5 MITTAUSSUUNNITELMA	30
5.1 Anturointi ja mittauspisteet	30
5.2 Vastapainemittaus (vääntökäyrän ajo)	32
5.3 DOCin NO ₂ -tuoton mittaus	32
5.4 DPF:n lataus ja regenerointi	33
5.5 GEN3-järjestelmän kalibrointi	34
5.6 Järjestelmän käytönaikaisten vikatilanteiden simulointi	35

5.6.1 NO _x -, lämpötila- tai MAF-anturin rikkoontuminen	35
5.6.2 SCR-katalyyttikennon HC-myrkytys pitkän joutokäynnin takia	35
5.7 Tiedonkeruujärjestelmä	35
6 TULOKSET	38
6.1 Mittausjärjestely	38
6.2 Vastapainemittaus	40
6.3 DOCin NO ₂ -tuotto	41
6.4 DPF:n lataus ja regenerointi	43
6.5 Continental GEN3 -järjestelmän kalibrointi ECU Doser -tilassa	45
6.5.1 Alkuvalmistelut	45
6.5.2 Jälkikäsittelyjärjestelmän perustietojen syöttö	49
6.5.3 NO _x -analysointilaitteen vasteajan määrittely	52
6.5.4 Ruiskutuskartan muokkaaminen	53
6.5.5 NRTC-päästömittauskyklin ajaminen eri vääntömomenttiskaalauksilla	57
6.5.6 Deposit-tarkastelu NRTC-syklien jälkeen	60
6.5.7 NRTC-syklin ajaminen suunnitelmien mukaisella SCR-katalysaattorilla	61
6.6 Käytönaikaisten vikatilanteiden simulointi	63
6.6.1 MAF-, NO _x - tai lämpötila-anturin rikkoontuminen	63
6.6.2 SCR-katalyyttikennon HC-myrkytys	66
6.7 Ureatankin lämmitysjärjestelmän parametrien määrittely	67
7 TULOSTEN ANALYSOINTI	70
7.1 Common Platform -järjestelmä	70
7.2 Continental GEN3 -järjestelmä	71
8 YHTEENVETO	73
LÄHTEET	74
LIITTEET	
Liite 1 DPF:n painehäviökäyrä passiivisesta regeneroinnista	
Liite 2 Urearuiskutuskarttaversiot 2 - 4	
Liite 3 Urearuiskutuskarttaversio 5	
Liite 4 Continental GEN3 -järjestelmälle määritellyt vikatilannereaktiot	

SANASTO

AdBlue	kaupallinen nimitys liikkuvassa kalustossa SCR-järjestelmän yhteydessä käytettävälle urea-vesiliuokselle, joka sisältää massaosuuksiltaan 32,5 % ammoniakkia ja 67,5 % vettä
ASC	Ammonium Slip Catalyst, ammoniakkipäästökatalysaattori
CO	hiilimonoksidi, häkä
CO ₂	hiilidioksidi
DOC	Diesel Oxidation Catalyst, hapetuskatalysaattori
DPF	Diesel Particle Filter, hiukkassuodatin
FTIR	Fourier Transform Infra Red, Fourier-muunnoksen ja infrapunaspektrometrian yhdistävä molekyylien rakenteen analysointimenetelmä
HC	hiilivedyt
H ₂ O	vesi
MAF	Mass Air Flow, ilmamassavirta
N ₂	typpi
NO	typpimonoksidi
NO ₂	typpidioksidi
NH ₃	ammoniakki
NO _x	typenoksidit

NRMM	Non-Road Mobile Machinery, tien ulkopuolella käytetty liikkuva kalusto
NRSC	Non-Road Steady Cycle, 8-vaiheinen tasaisissa kuorituspisteissä ajettava päästömittaussykli
NRTC	Non-Road Transient Cycle, oikeita ajo-olosuhteita simuloiva päästömittaussykli
O ₂	happi
PM	Particulate Matter, partikkelipäästöt
PN	Particle Number, partikkelien lukumäärä
retrofit	olemassa olevan ajoneuvokaluston pakokaasujen jälkikäsittelylaitteiden päivitys uudempaan päästöluokkaan
SCR	Selective Catalyst Reduction, selektiivinen katalyyttinen pelkistys
SOF	Soluble Organic Fraction, dieselpartikkeleiden orgaaninen osuus
SV	Space Velocity, katalysaattoriin virtaavan tilavuusvirran ja katalysaattorin tilavuuden osamäärä

1 JOHDANTO

Kiristynyt pakokaasulainsäädäntö on tehnyt pakokaasujen jälkikäsitteilyjärjestelmistä yhä tärkeämmän osan uusien ajoneuvojen kehitystyöstä. Yleinen tietoisuus haitallisista pakokaasupäästöistä on kasvanut, minkä myötä myös olemassa olevalta ajoneuvokalustolta vaaditaan mahdollisimman pieniä päästöjä. Esimerkiksi suljetuilla alueilla työskenteleviltä urakoitsijoilta voidaan vaatia tietyn päästötason alittavia työkoneita. (1.)

Työn tilaaja Proventia Emission Control Oy on markkinajohtaja on-road retrofit -markkinoilla, eli olemassa olevan linja- ja kuorma-autokaluston pakokaasun puhdistusjärjestelmien päivittämisessä uudempaan päästöluokkaan (2, linkit Emission Control -> Retrofit -> Bus, truck and machine retrofits). Näissä ajoneuvoissa on käytettävissä paineilmaa, jolloin voidaan käyttää paineilma-avusteista AdBlue-lisäaineen annostelujärjestelmää. Nyt markkinaa halutaan laajentaa myös paineilmattomaan off-road-kalustoon. Työn tutkimuksen kohteena oleva järjestelmä on tarkoitettu pienehköön työkoneeseen kuten traktoriin.

Työn tavoitteena on luoda Proventian Common Platform -pakokaasujen jälkikäsitteilytuotteelle toimiva lähtötaso off-road retrofit -sovelluksessa. Common Platform -järjestelmään liitetään Continental GEN3 -urearuiskutusjärjestelmä ja tälle järjestelmälle tehdään käyttöönotto ja kalibrointi laaditun mittaussuunnitelman perusteella. Tavoitteena on, että työ toimii pohjana yrityksen tulevalle tuotekehitystyölle.

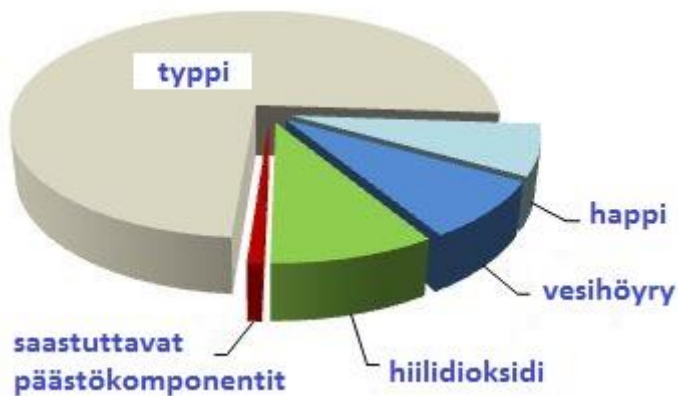
2 DIESELMOOTTORIN PAKOKAASUPÄÄSTÖT

Tässä luvussa käsitellään teoriataustaa dieselmoottorin päästökomponenteista. NRMM-ajoneuvojen pakokaasupäästöjä ja niiden mittausta koskeva lainsäädäntö esitellään siltä osin, että se kattaa työssä käsiteltävän aihealueen.

2.1 Dieselmoottorissa syntyvät päästöt

Dieselmoottori muuttaa polttoaineen sisältämää energiaa mekaaniseksi energiaksi. Mikäli polttoaineen palamisprosessi tapahtuisi ideaalisesti, syntyisi polttoaineen sisältämien hiilivetyjen (HC) ja hapen (O_2) yhtymisestä ainoastaan hiilidioksidia (CO_2) ja vettä (H_2O). Vaikkei palaminen koskaan ole ideaalista, suurimman osan dieselmoottorin pakokaasupäästöistä muodostavat hiilidioksidi, vesi, jäännöshappi sekä typpi (N_2), joka kulkee palamisprosessin läpi lähes reagoimatta. Moottorin kuormituksen kasvaessa jäännöshapen osuus pienenee ja hiilidioksidin ja veden osuudet kasvavat. Dieselmoottori toimii kuitenkin joka tilanteessa ilmaylimäärällä. (3, linkit Technology -> DieselNet Technology Guide -> What Are Diesel Emissions.)

Pieni osa tpeestä reagoi hapen kanssa korkeassa lämpötilassa ja muuttuu typenoksideiksi (NO_x). Muita terveydelle tai ympäristölle haitallisia päästöjä ovat palamattomat hiilivedyt, häkä (CO) ja partikkelit (PM). Ilman edistyksellistä pakokaasujen jälkikäsittelyä saastuttavien päästöjen osuus kokonaispakokaasumäärästä on joitakin prosenttia kymmenesosa, kuten kuvasta 1 nähdään. (3, linkit Technology -> DieselNet Technology Guide -> What Are Diesel Emissions.)



KUVA 1. Eri päästökomponenttien suhteelliset osuudet diesel-pakokaasussa ilman edistyneistä jälkikäsitelyä (3, linkit Technology -> DieselNet Technology Guide -> What Are Diesel Emissions)

2.2 Eurooppalaiset päästörajat off-road-ajoneuvoille

Eurooppalaiset päästöstandardit ovat kehittyneet jatkuvasti kireämpinä päästötasoina Stage I - Stage V uusissa NRMM-ajoneuvoissa (Non-road mobile machinery) käytettäville moottoreille. Päästötasoissa I - IV pääpainotus on ollut dieselmootoreissa, mutta uusien Stage V kattaa myös useimmat kipinäsytytteiset moottorit. Stage I -päästötaso otettiin käyttöön vuonna 1999, ja tällä hetkellä voimassa oleva Stage IV tuli voimaan vuonna 2014. Stage V tulee vaiheittain vuosina 2019 - 2020 moottorin tehosta riippuen. (3, linkit Standards -> Emission Standards -> Europe -> Nonroad Engines.)

Taulukossa 1 on esitetty vuosina 2011 - 2013 voimaan tulleen Stage IIIB -luokan päästörajat non-road-dieselmootoreille. Edeltävään Stage IIIA -luokkaan verrattuna esiteltiin huomattavasti tiukammat partikkelipäästörajat, joiden toivottiin lisäävän partikkelisuodattimien käyttöä. Käytännössä merkittävä osa moottoreista kuitenkin alitti partikkelipäästörajat palamistapahtumaa kehittämällä, ilman partikkelisuodattimia. (3, linkit Standards -> Emission Standards -> Europe -> Nonroad Engines.)

TAULUKKO 1. Stage IIIB -päästörajat non-road-dieselmootoreille (3, linkit Standards -> Emission Standards -> Europe -> Nonroad Engines)

Cat.	Net Power	Date †	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM
	<i>kW</i>						
Stage III B							
L	130 ≤ P ≤ 560	2011.01	3.5	0.19	-	2.0	0.025
M	75 ≤ P < 130	2012.01	5.0	0.19	-	3.3	0.025
N	56 ≤ P < 75	2012.01	5.0	0.19	-	3.3	0.025
P	37 ≤ P < 56	2013.01	5.0	-	4.7	-	0.025

† Dates for constant speed engines are: 2011.01 for categories H, I and K; 2012.01 for category J.

Taulukossa 2 on esitetty non-road-dieselmootoreiden Stage IV -päästörajat. Merkittävin muutos edeltävään Stage IIIB -tasoon oli merkittävä NO_x-päästöjen leikkaus, joka aiheutti laajan jälkikäsitteilylaitteiden käytön. (3, linkit Standards -> Emission Standards -> Europe -> Nonroad Engines.)

TAULUKKO 2. Stage IV -päästörajat non-road-dieselmootoreille (3, linkit Standards -> Emission Standards -> Europe -> Nonroad Engines)

Cat.	Net Power	Date	CO	HC	NOx	PM
	<i>kW</i>					
Q	130 ≤ P ≤ 560	2014.01	3.5	0.19	0.4	0.025
R	56 ≤ P < 130	2014.10	5.0	0.19	0.4	0.025

Taulukossa 3 on non-road-mootoreiden Stage V -päästörajat. Kuten nähdään, päästörajat ulottuvat huomattavasti laajemmalle kuin edellinen taso ja siihen on lisätty partikkelien lukumääräraja (PN) tietyille moottorikategorioille. Käytännössä varsinkin partikkelien lukumäärälle asetetut rajat tekevät pakolliseksi partikkelisuodattimien käytön. (3, linkit Standards -> Emission Standards -> Europe -> Nonroad Engines.)

TAULUKKO 3. Stage V -päästörajat ja voimaantulopäivämäärät non-road-mootoreille (3, linkit Standards -> Emission Standards -> Europe -> Nonroad Engines)

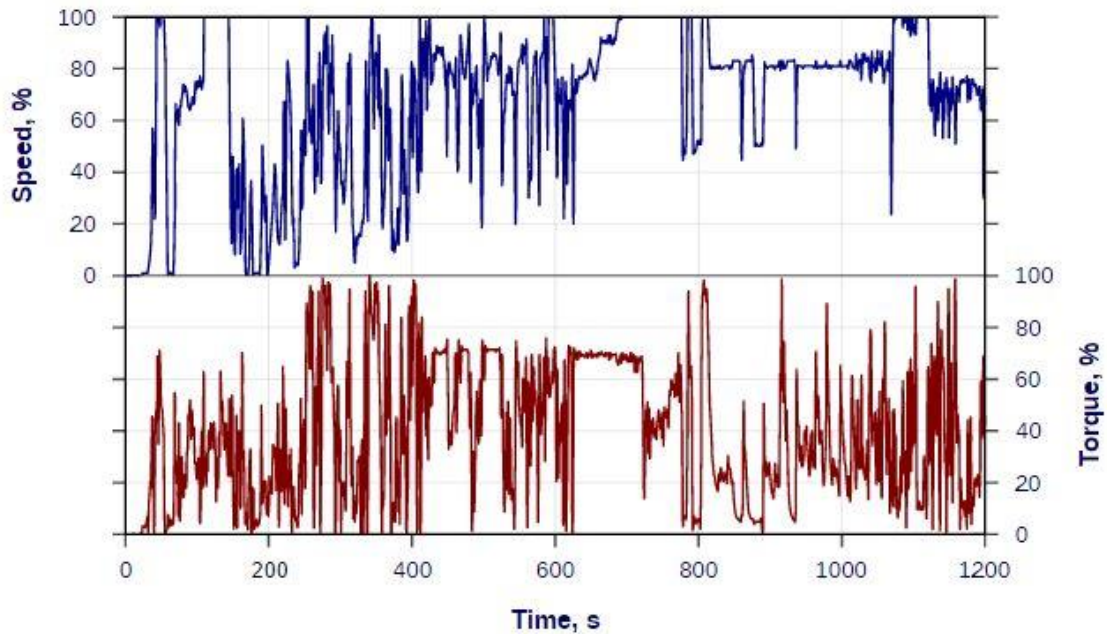
Category	Ign.	Net Power	Date	CO	HC	NOx	PM	PN
		kW						
NRE-v/c-1	CI	P < 8	2019	8.00	7.50 ^{a,c}		0.40 ^b	-
NRE-v/c-2	CI	8 ≤ P < 19	2019	6.60	7.50 ^{a,c}		0.40	-
NRE-v/c-3	CI	19 ≤ P < 37	2019	5.00	4.70 ^{a,c}		0.015	1×10 ¹²
NRE-v/c-4	CI	37 ≤ P < 56	2019	5.00	4.70 ^{a,c}		0.015	1×10 ¹²
NRE-v/c-5	All	56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

2.2.1 NRTC-päästömittaussykli

Stage IIIB -päästötasosta alkaen Euroopassa otettiin käyttöön oikeita ajo-olosuhteita simuloiva NRTC-päästömittaussykli (Non-Road Transient Cycle). Sen ajalta mitataan sekä kaasumaiset että partikkelipäästöt (3, linkit Standards -> Emission Standards -> Europe -> Nonroad Engines.)

Sykli on moottoridynamometrillä ajettava pulssimainen ajojärjestys, joka kestää 1 238 sekuntia. Sykli ajetaan kylmä- ja kuumakäynnistyksellä 20 minuutin sammuksissa ololla näiden välissä. Kylmäkäynnistyssyklin päästöjen painotuskerroin on 10 % ja kuumen 90 %. Sykli on standardisoitu kattamaan myös Pohjois-Amerikan EPA-säädökset. Pieniä eroja on kuitenkin esimerkiksi kylmän ja kuumen syklin painotuskertoimissa, jotka ovat Pohjois-Amerikassa 5 % ja 95 %. Moottorin suorituskykyyn ja pyörintänopeusalueeseen suhteutettu sykli on esitetty kuvassa 2. (3, linkit Standards -> Emission Test Cycles -> International -> Nonroad Transient Cycle (NRTC).)



KUVA 2. Normalisoitu moottorin pyörintänopeus (speed) ja vääntömomentti (torque) ajan funktiona NRTC-syklin yli (3, linkit Standards -> Emission Test Cycles -> International -> Nonroad Transient Cycle (NRTC))

2.2.2 ISO 8178 C1 -päästömittaus sykli (NRSC)

ISO 8178 on kansainvälinen päästömittausstandardi, joka koskee lukuisia non-road-moottoreita. Standardi sisältää kokoelman tasaisissa kuormituspisteissä ajettavia dynamometritestisyklejä, jotka on suunniteltu erilaisille moottoreille käyttötarkoituksineen. Jokaisessa syklissä on peräkkäin tiettyjä tasaisia kuormituspisteitä eri painotuskertoimilla. Näistä sykleistä 8-vaiheinen C1-sykli on saanut myös nimen NRSC (Non-road Steady Cycle). (3, linkit Standards -> Emission Test Cycles -> International -> ISO 8178.)

C1-testisykli koskee dieselmoottorisia off-road-ajoneuvoja (NRMM) ja teollisuuden laitteita. Euroopassa NRSC-testi on ollut käytössä Stage I -päästötasosta lähtien. Taulukossa 4 on esitetty NRSC-testin vaiheet painokertoimineen. Testi suoritetaan vaihenumeroiden kasvavassa järjestyksessä. (3, linkit Standards -> Emission Standards -> Europe -> Nonroad Engines; 4, s. 8.)

TAULUKKO 4. ISO 8178 C1 -testisyklin (NRSC) vaiheet ja painotuskertoimet
(4, s .8)

Testin vaihe	1	2	3	4	5	6	7	8
Moottorin pyörintänopeus	Maksimitehon pyörintänopeus				Maksimivääntömomentin pyörintänopeus			Tyhjäkäynti
Vääntömomentti %	100	75	50	10	100	75	50	0
Painotuskerroin	0,15	0,15	0,15	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15

3 PÄÄSTÖJEN JÄLKIKÄSITTELY

Moottorin palotapahtuman hallinta vaikuttaa olennaisesti moottorin raakapäästöjen laatuun ja määrään. Uuden moottorin kehitystyössä voidaan moottorin raakapäästöjen optimoinnin avulla vaikuttaa jälkikäsitteilytarpeeseen. Retrofit-sovelluksessa ei ole mahdollisuutta vaikuttaa raakapäästöihin, joten jälkikäsitteilytekniikoiden täytyy kattaa hyvin kaikki haitalliset päästökomponentit. Päästöjen jälkikäsitteilyn aihealueesta käydään läpi tärkeimmät työssä tutkittavaan järjestelmään liittyvät asiat.

3.1 Hapetuskatalysaattori

Dieselin hapetuskatalysaattoreita käytetään nimensä mukaisesti useiden päästökomponenttien hapettamiseen pakokaasussa runsaasti olevalla jäännöshapella. Kemiallisia reaktiota tehostetaan katalyytillä, joka on useimmiten platina tai platina/palladium pinnoite. Yleisimmin hapetuskatalysaattoria käytetään häkäpäästöjen, hiilivetyjen sekä partikkelipäästöjen orgaanisen osuuden (SOF) hapettamiseen vaarattomiksi aineiksi, eli vedeksi ja hiilidioksidiksi. (3, linkit Technology -> DieselNet Technology Guide -> Diesel Oxidation catalyst; 3, linkit Technology -> DieselNet Technology Guide -> Commercial DOC technologies.)

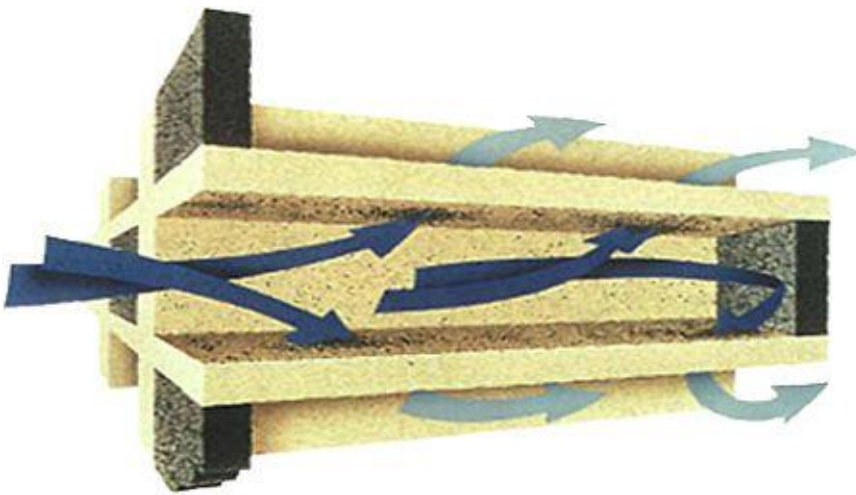
Tärkeä reaktio muiden jälkikäsitteilylaitteiden toiminnan kannalta on typpimonoksidin (NO) hapettaminen typpidioksidiksi (NO₂). Typpidioksidilla voidaan tehostaa DPF:n regeneroitumista ja SCR-katalysaattorin toimintaa. Hapetuskatalysaattorilla voi olla tehtävänä myös tuottaa korkea lämpötila partikkelisuodattimen regeneroimiseen. Hapetuskatalysaattorin johdetaan tällöin palamattomia hiilivetyjä, jotka hapettuvat katalysaattorissa. (3, linkit Technology -> DieselNet Technology Guide -> Diesel Oxidation catalyst; 3, linkit Technology -> DieselNet Technology Guide -> Commercial DOC technologies.)

3.2 Partikkelisuodatin

Partikkelisuodattimet ovat huokoisesta, useimmiten keraamisesta materiaalista valmistettuja laitteita, joihin partikkelit tarttuvat fyysisesti, eivätkä näin ollen

pääse ympäristöön pakokaasun mukana. Partikkelisuodattimet ovat osoittautuneet tehokkaimmaksi menetelmäksi sekä partikkelimassan että -lukumäärän vähentämisessä. (3, linkit Technology -> DieselNet Technology Guide -> Diesel particulate filters; 3, linkit Technology -> DieselNet Technology Guide -> wall-flow monoliths.)

Yleisimmin käytetään wall-flow-suodattimia, joissa pakokaasu pakotetaan virtaamaan huokoisten seinämien läpi. Rakenne koostuu kuvan 3 mukaisesti vierekkäisistä yhdensuuntaisista kanavista, jotka on tulpattu toisesta päästä. Alkuvaiheessa puhtaalla suodattimella partikkelit kulkeutuvat seinämien sisään, jolloin kyseessä on syväsuodatus. Hiljalleen partikkelit alkavat kerrostua myös seinämille. (3, linkit Technology -> DieselNet Technology Guide -> wall-flow monoliths.)



KUVA 3. Pakokaasun virtaus wall-flow-partikkelisuodattimessa (3, linkit Technology -> DieselNet Technology Guide -> wall-flow monoliths)

Partikkelien kerääntyessä suodattimeen läpivirtaus heikkenee ja painehäviö suodattimen yli kasvaa. Tämän vuoksi partikkelisuodatin täytyy puhdistaa partikkeleista, eli regeneroida, aika ajoin. Regenerointi voi olla jatkuvaa eli passiivista moottorin normaalin käytön aikana, tai se tehdään jaksoittain tietyn partikkelimäärän kerryttyä, jolloin kyseessä on aktiivinen regenerointi. Tyypillisesti käytetään lämpöregenerointia, jossa partikkelit saadaan hapetettua hapella ja/tai tyypidioksidilla korkeassa lämpötilassa. Pakokaasun lämpötilan nostami-

nen lisäpolttimella, sähköllä tai jälkiruiskutuksella lasketaan aktiiviseksi regeneroinniksi. (3, linkit Technology -> DieselNet Technology Guide -> Diesel Particulate Filters; 5.)

Typpidioksidipohjainen regenerointi on pääasiallinen keino partikkelisuodattimissa, jotka on pinnoitettu katalyytillä. Regenerointi tapahtuu matalamassa lämpötilassa kuin happea käyttäen, jolloin moottorin normaalissa käytössä syntyvä pakokaasun lämpötila riittää useimmiten luotettavaan regenerointiin. Tämän vuoksi NO₂-pohjaista regenerointia kutsutaan yleisesti passiiviseksi regeneroinniksi. Tällä on merkitystä varsinkin retrofit-käytössä, koska järjestelmän täytyy toimia itsenäisesti ilman lisäenergiaa ja integrointia moottoriin, jolla tarkoitetaan esimerkiksi polttoaineen jälkiruiskutuksen käyttöä. Pakokaasun typpidioksidipitoisuutta nostetaan suodattimen etupuolella hapettamalla typpimonoksidia hapetuskatalysaattorilla. Happipohjainen regenerointi vaatii 600 °C:n lämpötilan, kun taas NO₂-pohjainen reaktio tapahtuu jo 250 °C:n lämpötilasta alkaen. (3, linkit Technology -> DieselNet Technology Guide -> Diesel Filter Regeneration; 6, linkit Products -> Passive Systems.)

3.3 Selektiivinen katalyyttinen pelkistys

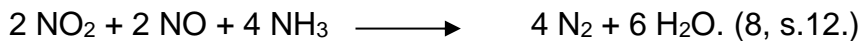
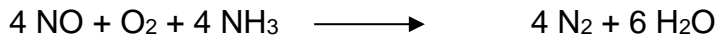
Typenoksidipäästöjen vähentäminen selektiivisellä katalyyttisellä pelkistyksellä käyttäen ureaa (Urea-SCR) on monien moottorivalmistajien valitsema tapa saavuttaa kiristyneet NO_x-päästörajat. SCR prosessissa NO_x reagoi ammoniakkin (NH₃) kanssa pelkistyen vedeksi ja typeksi. Liikkuvassa kalustossa käytetään urealiuosta, kaupalliselta nimeltään AdBlue, joka sisältää massaosuuksiltaan 32,5 % ammoniakkia ja 67,5 % vettä. Puhdasta ammoniakkia ei voida käyttää ajoneuvokalustossa sen myrkyllisyyden vuoksi. Urea-vesiliuos ruiskutetaan suoraan pakokaasuvirtaan ennen SCR-katalysaattoria erillisellä urearuiskutusjärjestelmällä. SCR-katalysaattoreissa käytetyt katalyytit, kuten vanadiinioksidi tai metallipohjaiset zeoliitit, toimivat erilaisissa lämpötiloissa ja täytyy valita käyttökohteen mukaan. (3, linkit Technology -> DieselNet Technology Guide -> Selective Catalytic Reduction; 7.)

3.3.1 SCR-reaktiot

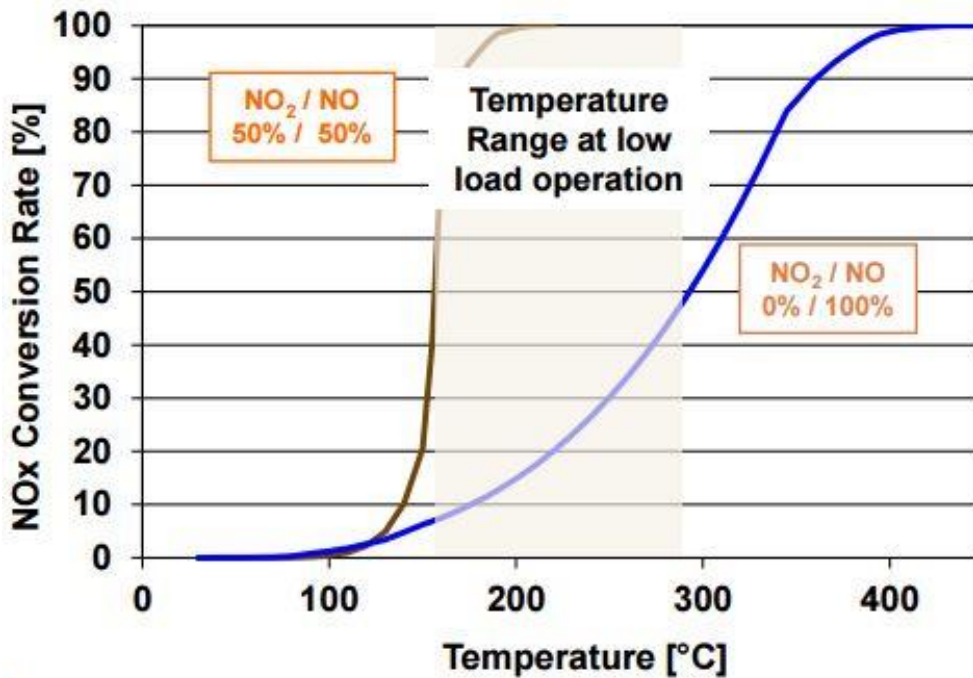
SCR-prosessissa tapahtuu useita kemiallisia reaktioita, joista suurin osa on toivoittuja, osa myös epätoivoittuja. Ensimmäisenä urea täytyy hajottaa ammoniakiksi, mikä tapahtuu kolmivaiheisesti seuraavalla tavalla:

- 1) urealiuoksessa olevan veden höyrystäminen
- 2) urean termolyysi, jossa muodostuu ammoniakkia ja isosyaanihappoa
- 3) isosyaanihapon hydrolyysi ammoniakiksi ja hiilidioksidiksi. (8, s.11.)

Näin ammoniakkia päästään hyödyntämään SCR-prosessissa. Kaksi tärkeintä reaktiota NO_x-aleneman kannalta ovat



Ylempi reaktioyhtälö on perus SCR-reaktio (eng. Standard SCR-reaction). Alemmasta reaktioyhtälöstä käytetään nimitystä nopea SCR-reaktio (eng. fast SCR), koska reaktio on erittäin nopea. (3, linkit Technology -> DieselNet Technology Guide -> Selective Catalytic Reduction.) Kuten alemmasta reaktioyhtälöstä nähdään, se kuluttaa typpimonoksidin lisäksi saman verran typpidioksidia. Tämän vuoksi DOCin rooli NO₂-tuottajana on tärkeä varsinkin matalissa lämpötiloissa. NO₂:n osuus ei kuitenkaan saa ylittää 50 %:a missään tilanteessa, koska tällöin typpidioksidia kulkeutuisi reagoimatta ympäristöön ja NO_x-alenema heikkenisi molempien reaktioiden hidastuessa. Nopea SCR-reaktio lisää saavutettavia NO_x-alenemia erityisesti matalissa lämpötiloissa NO₂-osuuden kasvamisen mukaan kuten kuvasta 4 nähdään.



KUVA 4. NO_x-aleneman kehittyminen pakokaasun lämpötilan funktiona eri NO₂:n prosenttiosuuksilla (8, s. 12)

3.3.2 NH₃-päästö

Yksi tärkeä asia, joka tulee ottaa huomioon SCR-järjestelmää käytettäessä, on SCR-katalysaattorin läpi reagoimatta kulkeva ammoniakki (eng. NH₃-slip). Ympäristölle haitalliselle aineelle on asetettu EU Stage III/IV -päästötasoissa 25 ppm:n maksimikeskiarvo sekä NRTC- että NRSC-testisyklin ajalta (3, linkit Standards -> Emission Standards -> Europe -> Nonroad Engines). Seuraavassa on neljä mahdollista tapaa, joilla ruiskutettu urea voi johtaa NH₃-päästöihin:

- 1) NO_x-alentamisen tehokkuus on heikompi kuin ruiskutetun urean NH₃:NO_x suhde, toisin sanoen SCR-reaktio on epätäydellinen.
- 2) SCR-katalysaattorin varastoitunut ammoniakki vapautuu äkillisesti pääasiassa lämpötilavaihteluiden takia.
- 3) Ruiskutettu urea hajoaa epätäydellisesti ammoniakiksi, mistä voi seurata esimerkiksi putkistoon sakkautumia, jotka höyrystyessään aiheuttavat ammoniakkipitoisuuspiikkejä. (9, s. 427.)

- 4) Ammoniakin jakauma katalyyttikennolla on epätasainen, eli esimerkiksi toisella laidalla on liikaa ja toisella liian vähän ammoniakkia NO_x-määrään suhteutettuna (5).

Ammoniakkipäästöjen hallitsemiseksi on siis tärkeää, että urean ruiskutusmäärät ovat kohdallaan ja ruiskutettu urea saadaan höyrystymään ja sekoittumaan mahdollisimman tasaisesti ennen SCR-kennoa. Nykyisten NO_x-päästötasojen saavuttaminen voi kuitenkin vaatia SCR-katalysaattorilta suurta ammoniakin varastointikykyä sekä aggressiivista urean ruiskuttamista, jotka johtavat suurempiin ammoniakkipäästöihin. Tällöin vaaditaan SCR-katalysaattorin ulostuloon integroitu tai sen jälkeen oleva ammoniakkipäästökatalysaattori (eng. Ammonia Slip Catalyst (ASC)), jonka tarkoituksena on hapettaa ammoniakki selektiivisesti typeksi. (9, s. 427 - 428; 10, s. 8.)

3.3.3 Eri SCR-katalysaattorityyppien alttius myrkyttymiselle

SCR-katalysaattoreista kupari- ja rauta-zeoliitti-katalysaattorit ovat lämmönkestoltaan parempia vanadiini-SCR:ään verrattuna. Zeoliitti-SCR-katalysaattorit ovat kuitenkin alttiimpia myrkyttymään, mikäli pakokaasu sisältää rikkiä tai muita myrkyjä. Myrkyttymisellä tarkoitetaan sitä, että NO_x-alentamisen tehokkuus heikkenee näille aineille altistumisen takia. (11, s. 1.)

Hiilivetymyrkytyksen ajatellaan aiheutuvan SCR-katalysaattorin pintaan kiinnittyvistä hiilivetymolekyyleistä. Hiilivedyt kiinnittyvät huokosiin, joihin ammoniakki normaalisti varastoituu. Myrkytystilasta palaudutaan, kun katalysaattorin lämpötila nostetaan yli 400 °C:seen. (11, s. 4.)

Rikille altistuminen riippuu käytettävän polttoaineen ja voiteluöljyn rikkipitoisuudesta, joka ei ole ongelma esimerkiksi Euroopassa. Kehittyvillä markkinoilla ei voi olla varma polttoaineen laadusta ja tällöin katalysaattorin täytyy kestää rikin olemassaolo. (5; 11, s. 1.)

Mikäli verrataan vanadiini-SCR-katalysaattoria zeoliitti-SCR-katalysaattoreihin, hiilivedyille tai rikille altistaminen ei vaikuta juuri lainkaan vanadiini-SCR:n NO_x-

alentamisen tehokkuuteen. Sen sijaan zeoliitti-katalysaattorien NO_x-alentamisen tehokkuus heikkenee huomattavasti hiilivedyille tai rikille altistumisen jälkeen. (11, s. 4 - 5.)

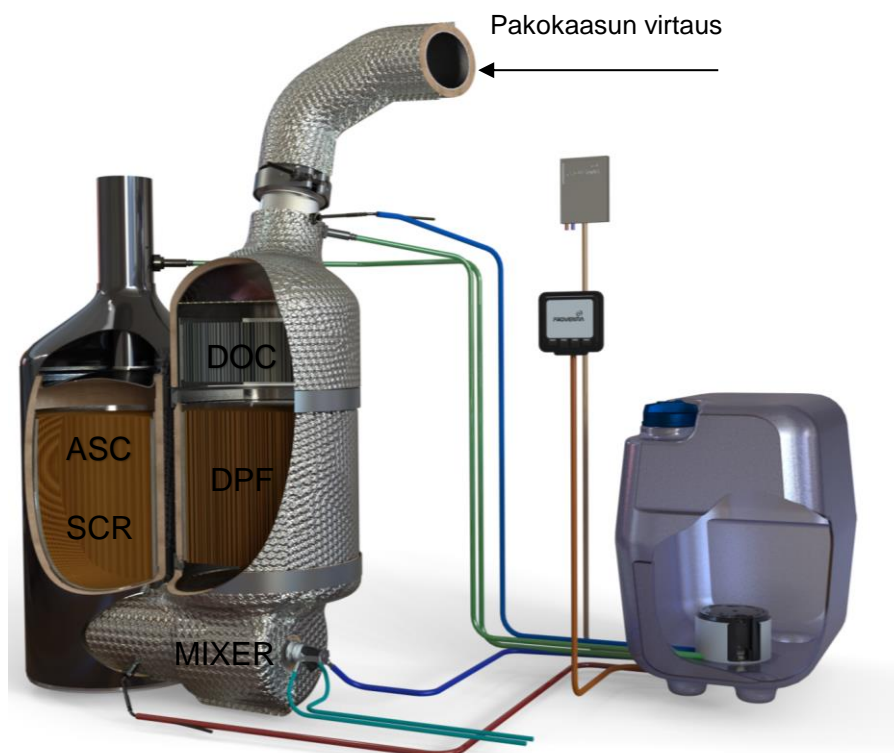
Vanadiini-SCR on kuitenkin siinä mielessä herkkä HC-myrkytykselle, että sen huokoinen pinta imee hiilivetyjä. Mikäli moottori käy tyhjäkäyntiä tai matalassa lämpötilassa kymmeniä tunteja, hiilivetyjä voi kertyä katalysaattoriin merkittävä määrä. Kun tähän lisätään se, että vanadiinilla on myös hapettavia ominaisuuksia, SCR:n lämpötilan nosto pitkän tyhjäkäynnin jälkeen aiheuttaa hiilivetyjen nopean hapettumisen, jolloin katalysaattori voi tuhoutua. (5.)

4 TUTKITTAVAT JÄRJESTELMÄT

Työssä tutkitaan Proventian Common Platform -päästöjen jälkikäsittelyjärjestelmää off-road retrofit -sovelluksessa sekä siihen liitettävää Continental GEN3 -urearuiskutusjärjestelmää. Seuraavassa kerrotaan näiden järjestelmien rakenne ja toiminta.

4.1 Common Platform -järjestelmä

Common Platform -järjestelmän off-road retrofit -sovellus sisältää kuvan 5 mukaisesti hapetuskatalysaattorin, partikkelisuodattimen, urean sekoittimen (mixer) ja vanadiiniyypin SCR-katalysaattorin, jonka ulostuloon on integroitu myös ASC-katalysaattori. Asennuskohteen mukaan ulkomuoto ja väliputkien pituudet voivat vaihdella, mutta osien keskinäinen asennusjärjestys on joka tapauksessa sama. Urearuiskutusjärjestelmän antureille ja suuttimelle on valmiit asennuspaikat.



KUVA 5. Common Platform -järjestelmä ja siihen liitetty urearuiskutusjärjestelmä (12, s. 7)

4.2 Continental GEN3 -järjestelmä

Continental GEN3 -urearuiskutusjärjestelmä on kuvan 6 mukainen ureatankin pohjaan integroitava yksikkö. Järjestelmän tarkoituksena on toimittaa joka tilanteessa tarkka määrä ureaa pakokaasun joukkoon. Urean määrän laskentaan käytetään algoritmia, joka kuvaa SCR-katalysaattorin suorituskyvyn käyttöastetta muuttuvissa massavirta-, lämpötila- ja NO_x-pitoisuus olosuhteissa. GEN3-järjestelmää voidaan käyttää kahdella tavalla: Smart Doser- tai ECU Doser -tilassa. (13, s. 6.)



KUVA 6. Continental GEN3 -urearuiskutusjärjestelmä (8, s. 21 - 22)

ECU Doser -tilassa järjestelmään liitetään moottorin imuputkessa (ilmansuodatimen ja ahtimen välissä) oleva ilmamassatunnistin sekä ennen ja jälkeen SCR-katalysaattorin olevat lämpö- ja NOx-anturit. Antureiden signaalien perusteella ohjausyksikkö laskee urearuiskutusmäärän ja ohjaa ureasuutinta. Lämpötilatunnistimet ovat tyypiltään pt-200-platinavastusantureita ja NOx-anturit yhdistetään GEN3-järjestelmän CAN-väylään. Ilmamassatunnistimen signaalina voidaan käyttää moottorin oman tunnistimen signaalia, mikäli se on saatavissa CAN-viestinä. Toinen vaihtoehto on asentaa erillinen MAF-tunnistin, joka kytketään GEN3-järjestelmän johtosarjaan.

Smart Doser -tilassa urean ruiskutuspyynti, ja muut mahdolliset tiedot liittyen pakokaasun lämpötiloihin ja ajoneuvon toimintaan, lähetään GEN3-yksikölle CAN-viesteinä ulkoiselta ohjausyksiköltä. GEN3-järjestelmän ohjausyksikkö voi vastaanottaa SAE J1939 -standardin mukaisia väyläviestejä, jotka löytyvät taulukosta 5. Yksityiskohdat CAN-viesteistä löytyvät lähteestä 14. (13, s. 6.)

TAULUKKO 5. SAE J1939 -standardin mukaiset väyläviestit, joita voidaan lähettää GEN3-järjestelmälle Smart Doser- tai ECU Doser -tilassa (13, s. 13 - 14.)

Pumpun ohjaus			
CAN-viesti	Tyyppi	PGN	Pituus [ms]
SRC_Dosing_Command	Prop. B – 196	65476 (0xFFC4)	50
SRC_Dosing_Command_2	Prop. B – 197	65477 (0xFFC5)	50
A1SCRDSR1 – Aftertreatment 1 SCR			
Dosing System Requests 1	SAE J1939	61476 (0xF024)	50
A2SCRDSR2 - Aftertreatment 2 SCR Dosing System Requests 2			
	SAE J1939	64832 (0xFD40)	500
Toiminnot ja kalibrointi			
CAN-viesti	Tyyppi	PGN	Pituus [ms]
ProprietaryA_From_ServiceTool	Prop. A	61184 (0xEF00)	On request
XCP_master	Prop. B - 253	65533 (0xFFFD)	On request
UDS_Physical_Request	--	55808 (0xDA00)	On request
DM13 – Stop Start Broadcast	SAE J1939	57088 (0xDF00)	On request
Ajoneuvon informaatio			
CAN-viesti	Tyyppi	PGN	Pituus [ms]
TD – Time / Date	SAE J1939	65254 (0xFEE6)	1000
VDHR – Vehicle distance / high resolution	SAE J1939	65217 (0xFEC1)	1000
AMB – Ambient Conditions	SAE J1939	65269 (0xFEf5)	1000
AMB2 – Ambient Conditions 2	SAE J1939	64992 (0xFDE0)	1000

(jatkuu)

TAULUKKO 5. (jatkuu)

HOURS – Engine Hours, Revolutions	SAE J1939	65253 (0xFEE5)	1000
CCVS – Cruise Control/Vehicle Speed	SAE J1939	65265 (0xFEf1)	100
Moottorin toimintatiedot ja pakokaasuinformaatio			
CAN-viesti	Tyyppi	PGN	Pituus [ms]
A1SCREGT - Aftertreatment 1 SCR Exhaust Gas Temperature	SAE J1939	64830 (0xFD3E)	500
EEC1 – Electronic Engine Controller 1	SAE J1939	61444 (0xF004)	Engine speed dependent
AT1IG1 – Aftertreatment 1 Intake Gas 1	SAE J1939	61454 (0XF00E)	50
AT1OG1 – Aftertreatment 1 Outlet Gas 1	SAE J1939	61455 (0XF00F)	50
EEC3 – Electronic Engine Controller 3	SAE J1939	65247 (0xFEDF)	250 msec or Engine Speed Dependent
EC1 – Engine Configuration 1	SAE J1939	65251 (0xFEE3)	5000
EI – Engine Information	SAE J1939	65170 (0xFE92)	100
EEC2 – Electronic Engine Controller 2	SAE J1939	61443 (0xF003)	50
LFE1 – (Liquid) Fuel Engine 1	SAE J1939	65266 (0xFEf2)	100
ET1 - Engine Temperature 1	SAE J1939	65262 (0xFEEE)	1000
A1DOC – Aftertreatment 1 Diesel Oxidation Catalyst	SAE J1939	64800 (0xFD20)	500

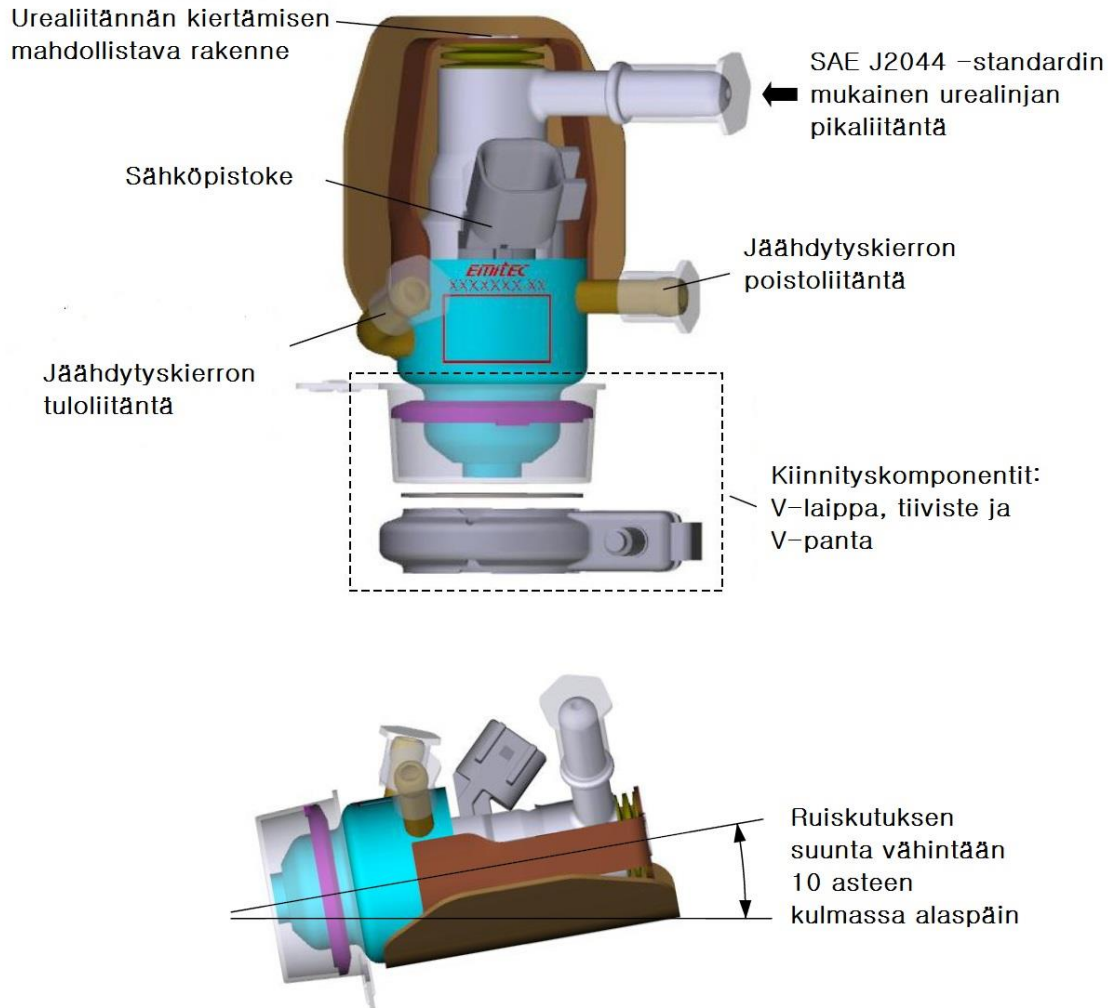
4.2.1 Urealinjan vaatimukset

GEN3-järjestelmä ei tarvitse ureaa varten erillisiä imu- tai paluuputkia. Ainoa tarvittava putki on GEN3-yksikön pohjasta suuttimelle menevä paineistettu urealinja. Tarvittaessa järjestelmä lämmittää urealinjaa sähköllä. GEN3-järjestelmän ja ureasuuttimen yhdistävällä paineistetulla urealinjalla on seuraavat vaatimukset:

- maksimipituus 4 m
- sisähalkaisija 4 mm
- seinämänpaksuus 4,5 mm
- materiaali EPDM (eteenipropeeni-dieeni-kumi)
- letkun jäykkyys 0,5 - 2,7 bar/cc
- pikaliittimien tyyppi SAE J2044 5/16"
- kestää jäätyksen urealla täytettynä. (13, s. 22.)

4.2.2 Ureasuutin

GEN3-järjestelmän kanssa käytetään kuvan 7 mukaista vesijäähdytettyä ureasuutinta. Suutin asennetaan siten, ettei sen kärki osoita pakokaasuvirtaa vastaan, vaan on myötävirtaan tai korkeintaan kohtisuorassa pakokaasuvirtaan nähden. Suuttimen tulee osoittaa alaspäin tai alaviistoon kuvan 7 mukaisesti. (15, s.13.)



KUVA 7. Vesijäähdytetyn ureasuuttimen rakenne ja asennusohjeet (15, s. 13)

Suuttimelle tulevien jäähdytysnesteletkujen sisähalkaisija tulee olla 6 mm. Jäähdytysnesteen keskimääräinen ylipaine on 1 bar ja tulevan nesteen lämpötila saa olla maksimissaan 105 °C. Ureasuuttimen tulee sijaita ureatankin maksimitason yläpuolella, mutta korkeintaan 1 metrin korkeammalla kuin putkiliitäntä GEN3-yksikön pohjassa. (13, s. 22; 15, s. 7 - 8.)

4.2.3 Tankin suunnittelulle asetetut vaatimukset

Tankki, johon GEN3 asennetaan, voidaan räätälöidä asennuskohteen mukaan. Materiaaliltaan tankin tulee olla muovia, jolla on korroosionkestoa AdBluen suhteen. Myös mahdollinen dieselöljyn esiintyminen tankin ympäristössä tulee huomioida. Tankissa tulee olla asiallisella tavalla suodatettu huohotusventtiili, jottei tankkiin synny yli- tai alipainetta. (13, s.12.) Tankin suunnittelussa tulee huomioida myös seuraavat asiat:

- GEN3-järjestelmä asennetaan tankin pohjaan, eikä se saa olla kallistettuna.
- Tankkiin jätetään 15 - 20 % suuruinen laajenemistilavuus kokonaistilavuuteen verrattuna mahdollisen lämpenemisen tai jäätyksen varalta.
- Tankkiin on jätettävä kokonaistilavuudesta 5 %:n suuruinen jäännöstilavuus, jolloin tasotunnistin näyttää ”tyhjää tankkia”.
- Tankin sisäiset muodot eivät saa tulla ultraäänellä toimivan tasoanturin signaalin tielle.
- Tankin täyttöaukon sijainti tulee valita siten, ettei nestesuihku ohjautu suoraan kohti GEN3-moduulia tai sen suodatinta.
- GEN3-moduulin ja tankin yläpinnan väliin on jätettävä tilaa vähintään 60 mm.
- GEN3-moduulin ympärillä on oltava joka suuntaan halkaisijaltaan vähintään 220 mm:n kokoinen alue ennen tankin seinämiä. (13, s. 12 - 13, s. 20 - 21.)

Normaali kokoonpanossa ruiskutusjärjestelmän lämmitys hoidetaan sähköllä ja ureatankki voidaan varustaa erillisellä moottorin jäähdytysnestettä käyttävällä lämmitysjärjestelmällä. Jäähdytysnestekierron venttiiliä voidaan ohjata GEN3-järjestelmällä. (13, s. 6.)

Erillisen jäähdytysnestettä käyttävän tankin lämmitysjärjestelmän käyttö on suositeltavaa kaikissa tapauksissa ja esimerkiksi 20 - 30 litran ureatankille erillinen lämmitysjärjestelmä on pakollinen, koska GEN3-yksikön PTC-vastukset on tarkoitettu lämmittämään ainoastaan itse pumppu ja hyvin pieni tilavuus sen ympäriltä. (16.)

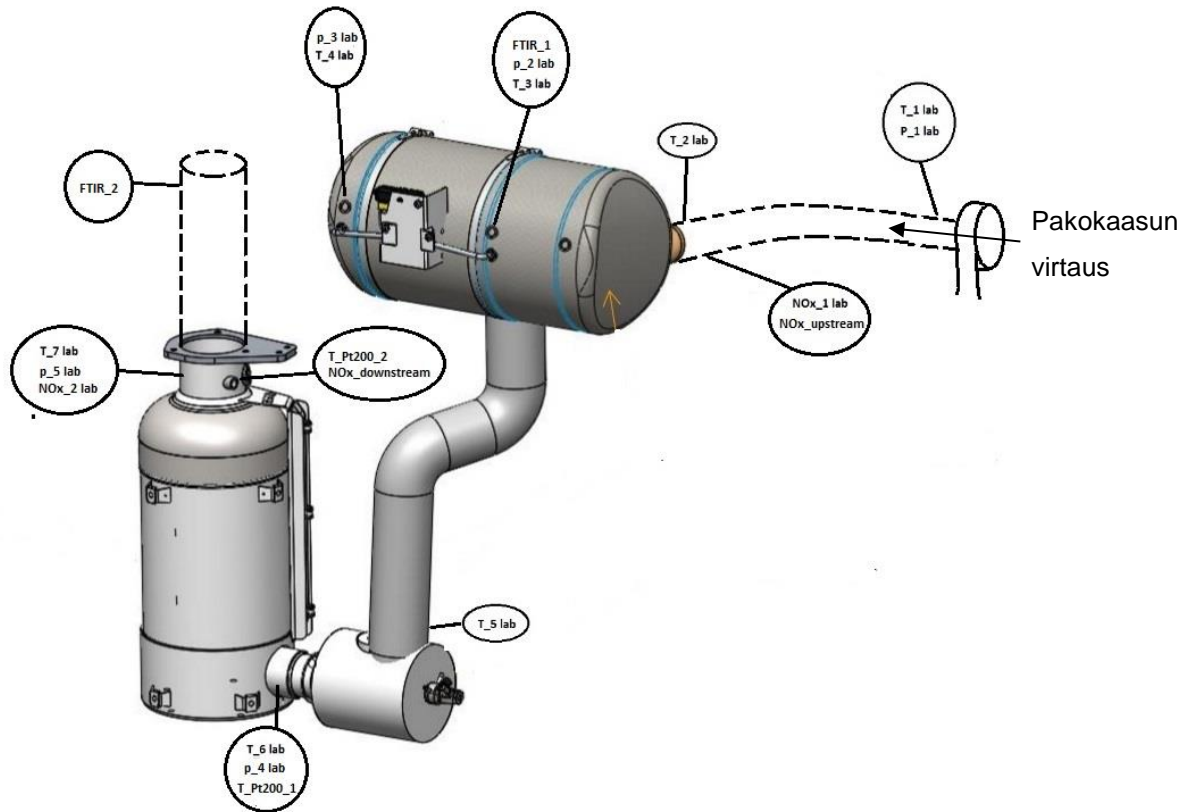
5 MITTAUSSUUNNITELMA

Tässä luvussa kerrotaan mittausten kulku ja annetaan asianmukaiset mittausohjeet Common Platform -järjestelmän off-road retrofit -sovelluksen käyttöönottoon ja siihen liitettävän Continental GEN3 -järjestelmän kalibrointiin. Tavoitteena on, että kokonaisjärjestelmä kattaa testimoottorin koko tehovalikoiman, koska samaa moottoria käytetään useissa eri kohteissa eri tehoisina versioina. Myös järjestelmän kannalta olennaisimmat vikatilanteet simuloidaan ja tutkitaan.

Testimoottorina käytetään 4-sylinteristä pakokaasuahtimella ja välijäähdyttimellä varustettua suoraruiskutusdieselmoottoria, iskutilavuudeltaan 4,4 litraa. Mittaukset tehdään Proventian Watti-testisolussa.

5.1 Anturointi ja mittauspisteet

Kuvassa 7 on esitetty periaatekuva Common Platform -järjestelmästä ja eri mittauspisteiden paikoista ja nimistä. Selitykset mittauspisteiden nimille ovat taulukossa 6.



KUVA 8. Mittauspisteiden paikat ja nimet

TAULUKKO 6. Eri mittauspisteissä käytettävät tunnistimet ja mittalaitteet sekä mittaussuureet

Nimi	Mitattava suure	Tyyppi	Mittalaite
T_1 lab - T_7 lab	Pakokaasun lämpötila	K-tyyppin termopari	AVL F-FEM
p_1 lab - p_5 lab	Pakokaasun paine	Suhteellinen paine	AVL Pressure Measuring Unit
NOx upstream ja downstream	NOx (typenoksidit)	24V	Continental Uninox
NOx_1 lab ja NOx_2 lab	NOx (typenoksidit)	12V	Continental Uninox
T_Pt200_1 ja T_Pt200_2	Pakokaasun lämpötila	PT-200 Platina vastus	GEN3-järjestelmä
FTIR	CO, H ₂ O, CO ₂ , NO, NO ₂ , NO _x , NH ₃	FTIR (Fourier Transform Infra Red) spektrometri	AVL Sesam 4

5.2 Vastapainemittaus (vääntökäyrän ajo)

Mitattavalle järjestelmälle tehdään vastapainemittaus testien alussa ja lopussa. Tällä varmistetaan, ettei mittausjärjestelyssä ole tapahtunut muutoksia, esimerkiksi vuotoja. Periaatteena vastapainemittauksessa on, että moottoria ajetaan 100 %:n kuormalla ja kierroslukua lasketaan 100 rpm välein ilmoitetun huipputehon kierrosluvulta 1 000 rpm asti. Jokaisessa pisteessä lämpötilan ja paineen annetaan tasaantua 5 min ja tämän jälkeen otetaan 60 s mittausjakso. Tulokset ilmoitetaan keskiarvona tältä ajalta. Taulukossa 7 on esitetty mittauspisteet vastapainemittaukseen.

TAULUKKO 7. Moottorin kuormituspisteet vastapainemittauksessa

Moottorin pyörintänopeus [1/min]	Kuormitus [%]
2 100	100
2 000	100
1 900	100
1 800	100
1 700	100
1 600	100
1 500	100
1 400	100
1 300	100
1 200	100
1 100	100
1 000	100

5.3 DOCin NO₂-tuoton mittaus

DPF:n ja SCR:n toiminnan kannalta on oleellista, että DOC tuottaa typpidioksidia huomattavasti, mutta ei kuitenkaan yli 50 %:a. Testi toteutetaan ajamalla moottoria valikoiduissa testipisteissä taulukon 8 mukaisesti ja muodostetaan käyrä NO₂:n prosentuaalisesta osuudesta kokonais NO_x-määrästä pakokaasun lämpötilan (TempPreDOC) funktiona. Testipisteet on valittu siten, että lämpötilat jakaantuvat mahdollisimman tasaisesti ja laajalle.

Testipistetaulukossa on tavoite SCR:n ylävirran lämpötilasta, koska on tärkeää, että DOC toimii hyvin SCR:n kannalta oikealla lämpötila-alueella. Taulukossa 8

olevat kuormitustavoitteet ovat ainoastaan ohjeellisia lähtöarvoja ja niitä voidaan muokata tavoitelämpötilojen saavuttamiseksi. Lämpötilan annetaan tasaantua jokaisessa testipisteessä 10 minuuttia, minkä jälkeen mitataan 5 min ajan FTIR:llä DOCin ulostulosta.

TAULUKKO 8. Testipisteet NO₂-tuoton mittausta varten

Testipiste	Moottorin pyörintänopeus [1/min]	Kuormitustavoite [Nm]	SCR:n ylävirran lämpötilatavoite [°C]	Lämpötilan tasaantumisaika ennen mittausta [min]
1	2 100	30	220	10
2	2 100	160	260	10
3	2 100	338	300	10
4	2 100	377	330	10
5	2 100	416 (100%)	375	10

5.4 DPF:n lataus ja regenerointi

Mittauksen lähtökohtana on, että DPF ladataan noella ajamalla testimoottorivalmistajalta saadulta nokeavalla moottorinohjaimen ohjelmistoversiolla. Nokilatausta kerätään 3 g suodattimen tilavuuslitraa kohden. Tässä tapauksessa DPF on tilavuudeltaan 7,9 litraa, joten nokea kerätään noin 24 g. Noen kertymistä seurataan DPF kasvavana painehäviönä sekä punnitsemalla järjestelmää.

DPF regeneroidaan nokilatauksen jälkeen passiivisesti ajamalla tasaista pyörintänopeutta 1 500 rpm ja nostamalla kuormitusta portaittain. Tarkoituksena on selvittää lämpötila, jossa regenerointi käynnistyy ja regeneroida DPF kokonaan. Testin kulku on kokonaisuudessaan seuraava:

- 1) DPF:n punnitus
- 2) nokeavan ohjelmistoversion vaihto moottorinohjainlaitteeseen
- 3) nokilatauksen kerääminen kokemusperäisesti noin 6 h
- 4) DPF:n punnitus
- 5) normaalin ohjelmistoversion vaihto moottorinohjainlaitteeseen
- 6) passiivinen regenerointi 1 500 rpm
 - a. Aloitetaan kuormituksella 50 Nm ja nostetaan kuormaa 10 Nm:n välein ajaen jokaisessa kuormituspisteessä 30 minuuttia.

- b. Kun regenerointi on selkeästi käynnistynyt, nostetaan moottorin kuormitus maksimiin ja ajetaan 50 min.

7) DPF:n punnitus.

Punnitukset tehdään järjestelmän lämpötilan ollessa aina sama. Lämpötila mitataan ennen punnitusta. Tuloksina esitetään DPF:n painehäviö, pakokaasun lämpötila DOCin jälkeen ja moottorin vääntömomentti ajan funktiona regeneroinnin ajalta.

5.5 GEN3-järjestelmän kalibrointi

Common Platform -järjestelmä kalibroidaan yhteen Continental GEN3 -urearuiskutusjärjestelmän kanssa. Järjestelmälle luodaan ruiskutuskartta, joka kattaa koko moottorin käyttöalueen. Kalibroinnin onnistumista mitataan ajamalla NRTC-sykli. Tavoitearvona NO_x-päästöjen osalta on Stage IV -raja-arvo 0,4 g/kWh.

Urearuiskutuskartta optimoidaan lähtökohtaisesti moottorin suurimman tehon ohjelmistoversiolle, ja sen jälkeen kokeillaan, toimiiko sama kartta myös pienemmän tehon ohjelmistoversiolla ajettaessa. Teoriassa ruiskutuskartan pitäisi toimia molemmilla tehoversioilla ja mittausten jälkeen voidaan todeta, onko toiminta riittävän hyvää vai vaatii järjestelmä muutoksia. Pienemällä teholla ajettaessa pakokaasun lämpötilat ovat matalammat, minkä takia urearuiskutus päästään aloittamaan myöhemmin ja myös SCR toimii heikommin matalamassa lämpötilassa.

Olellaisena osana kalibrointiin kuuluu myös deposit-tarkastelu, jossa varmistetaan, ettei järjestelmän normaalitoiminnan alueella ole riskiä, että ruiskutettu urea sakkautuisi putken pinnalle tai mikseriin epätäydellisen sekoittumisen tai höyrystymisen seurauksena. Parhaassa tapauksessa olisi tärkeää tehdä pääruiskutuskartan rinnalle raja-arvokartta, jossa on mittaamalla todetut rajat ruiskutukselle ilman riskiä urean sakkautumisesta putkeen. Tässä työssä näin laajaa deposit-tarkastelua ei voida aikataulun vuoksi tehdä, vaan deposit-tarkastelua tehdään muun mittaustoiminnan lomassa aina kun putki on avattuna.

5.6 Järjestelmän käytönaikaisten vikatilanteiden simulointi

Mittauksissa pyritään simuloimaan sekä GEN3- että Common Platform -järjestelmän kannalta oleelliset vikatilanteet. Tavoitteena on varmistaa, ettei päästöjen jälkikäsitteilykomponentteihin kohdistu liian suuria lämpötiloja eikä ureaa ruiskuteta mahdollisissa vikatilanteissa.

5.6.1 NO_x-, lämpötila- tai MAF-anturin rikkoontuminen

GEN3-järjestelmä ei voi laskea urearuiskutuksen määrää tarkasti, mikäli jokin anturisignaali puuttuu. Tämän vuoksi varmistetaan, että järjestelmä lopettaa ruiskutuksen välittömästi, kun anturisignaalit katkeavat. Toisaalta järjestelmän täytyy kyetä jatkamaan normaalia toimintaa automaattisesti signaalin palatessa.

Testi tehdään irrottamalla vuorotellen NO_x-, lämpötila- tai MAF-anturin pistoke kesken ajon. Kun on nähty, miten järjestelmä reagoi tilanteeseen, pistoke laiteaan takaisin ja katsotaan, palautuuko toiminta normaaliksi. Jokaisesta tilanteesta tallennetaan tiedonkeruu ja seurataan vikamuistiin tallentuvia vikakoo- deja.

5.6.2 SCR-katalyyttikennon HC-myrkytys pitkän joutokäynnin takia

Common Platform -järjestelmän vanadiini-SCR:n altistamista hiilivedyille simuloidaan käyttämällä moottoria 3 tuntia tyhjäkäynnillä. Tämän jälkeen moottorin kuormitus nostetaan nopeasti täydelle teholle ja samalla seurataan mahdollisten lämpötilapiikkien esiintymistä SCR:n jälkeen. Lämpötila ei saisi ylittää 500 °C:ta. Myös NO_x-alentamisen tehokkuutta lämpötilan nousun ajalta seurataan.

5.7 Tiedonkeruujärjestelmä

Mittausten tiedonkeruu tapahtuu Watti-testisolussa käytössä olevalla AVL Puma -automaatiojärjestelmällä. Järjestelmään on liitetty AVL Pressure Sensor Unit painemittauksia varten ja analogi-sisääntuloja mittaava AVL F-FEM -yksikkö, johon on liitetty esimerkiksi K-typin-lämpötunnistimet. AVL Puman tiedonkeruulle saadaan CAN-väylästä testimoottorin moottorinohjaimen väyläviestit ja dynamometrin mittaama vääntömomentti ja kierrosluku.

GEN3-järjestelmän tietoja, kuten urearuiskutuksen määrää tai lämpötiloja, ei saada Puman tiedonkeruulle, joten ne kerätään GEN3:n omalla tiedonkeruulla. Tallennetut tiedonkeruut yhdistetään myöhemmin ja kohdistetaan samaan aikaan tasoon esimerkiksi NO_x-antureiden signaalien perusteella (lab ja GEN3). Tiedonkeruulle tulevat kanavat on esitetty taulukossa 9. Kanavaresurssilla *lab* tarkoitetaan Puma-automaatiojärjestelmään suoraan tulevia laboratoriokanavia.

TAULUKKO 9. Tiedonkeruu mittauksia varten

Kanavan nimi	Kanavan selitys	Yksikkö	Kanavaresurssi
Time	Aika	s	lab
Speed	Moottorin pyörintänopeus	1/min	lab
Torque	Moottorin vääntömomentti	Nm	lab
Power	Moottorin teho	kW	lab
EngSpeed	Moottorin pyörintänopeus	1/min	CAN-väylä (ECU)
EngOilPress	Moottorin öljynpaine	bar	CAN-väylä (ECU)
OilPress	Moottorin öljynpaine	kPa	lab
BatteryVoltage	Akkujännite	V	CAN-väylä (ECU)
EngCoolantTemp	Jäähdytysnesteen lämpötila	°C	CAN-väylä (ECU)
EngCoolOutTemp	Jäähdytysnesteen lämpötila	°C	lab
EngFuelTemp	Polttoaineen lämpötila	°C	CAN-väylä (ECU)
EngTurboBoostPress	Ahtopaine (suhteellinen)	kPa	CAN-väylä (ECU)
IntakeManifoldTemp	Imusarjan lämpötila	°C	CAN-väylä (ECU)
InjectionQuantity	Polttoaineen ruiskutusmäärä	mg/isku	CAN-väylä (ECU)
EngineRailPressureSetpoint	Polttoaineen rail-paine pyynti	MPa	CAN-väylä (ECU)
EngRailPress	Polttoaineen rail-paine	MPa	CAN-väylä (ECU)
AirMassFlow	ilmamassavirta	kg/h	CAN-väylä (ECU)
IntakeAirMassFlow_lab	ilmamassavirta	kg/h	lab
FuelMassFlow	polttoaineen massavirta	mg/s	lab
ExhaustUpstreamTemp	SCR:n ylävirran lämpötila (T_Pt200_1)	°C	GEN3
	SCR:n alavirran lämpötila		
ExhaustDownstreamTemp	(T_Pt200_2)	°C	GEN3
NOxUpstream	Nox-päästöt ennen SCR:ää	ppm	GEN3
NOxDownstream	Nox-päästöt SCR:n jälkeen	ppm	GEN3
NOxUpstream_lab	Nox-päästöt ennen SCR:ää	ppm	lab
NOxDownstream_lab	Nox-päästöt SCR:n jälkeen	ppm	lab
DefDosingQuantity	Urearuiskutuksen määrä	g/h	GEN3
UreaPress	Urean paine	bar	GEN3
AmbientTemp	Ympäristön lämpötila	°C	lab
AmbientPress	Ympäristön ilmanpaine	kPa	lab
Humidity	Ilman kosteus	%	lab

(jatkuu)

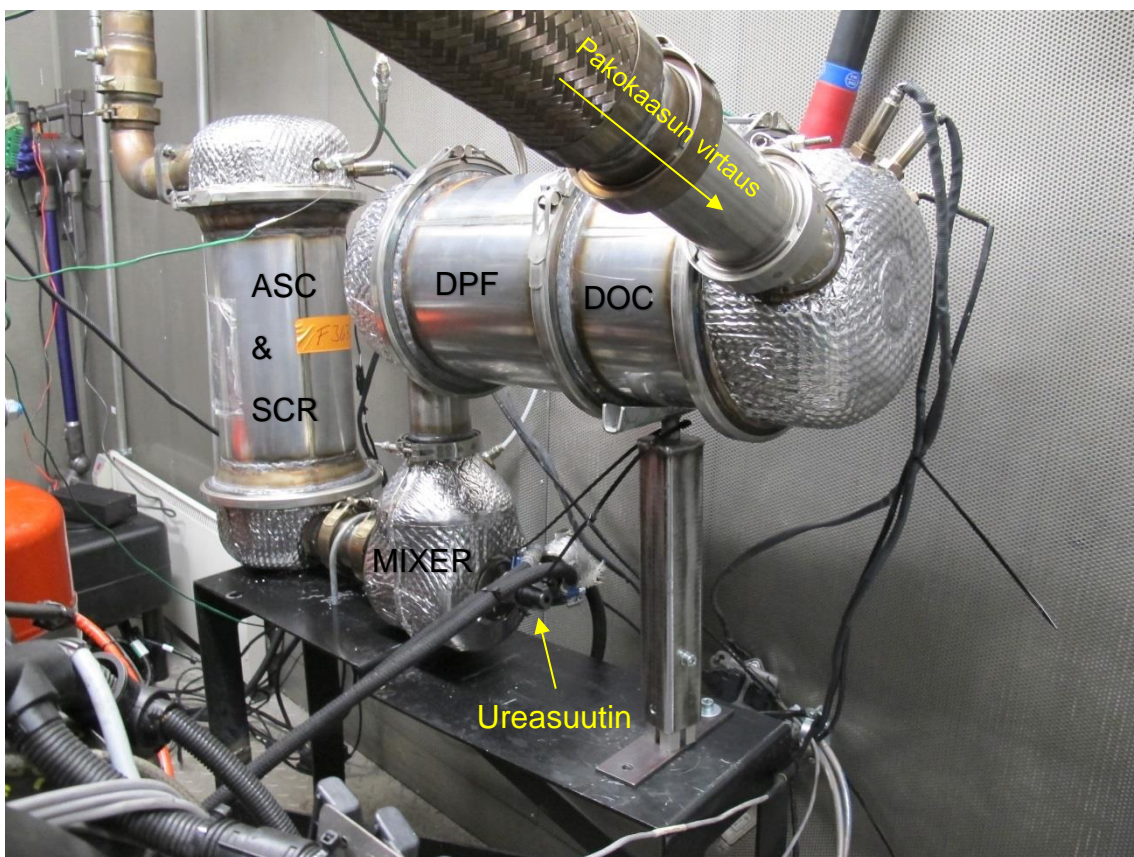
TAULUKKO 9. (jatkuu)

PressPostTurbo	Pakokaasun paine turbon jälkeen (p_1 lab)	mbar	lab
PressPreDPF	Pakokaasun paine ennen DPF:ää (p_2 lab)	mbar	lab
PressPostDPF	Pakokaasun paine DPF:n jälkeen (p_3 lab)	mbar	lab
PressPreSCR	Pakokaasun paine ennen SCR:ää (p_4 lab)	mbar	lab
PressPostSCR	Pakokaasun paine SCR:n jälkeen (p_5 lab)	mbar	lab
TempPostTurbo	Pakokaasun lämpötila turbon jälkeen (T_1 lab)	°C	lab
TempPreDOC	Pakokaasun lämpötila ennen DOC:a (T_2 lab)	°C	lab
TempPostDOC	Pakokaasun lämpötila DOC:n jälkeen (T_3 lab)	°C	lab
TempPostDPF	Pakokaasun lämpötila DPF:n jälkeen (T_4 lab)	°C	lab
TempConnectingPipe	Pakokaasun lämpötila väliputkessa ennen mikseriä (T_5 lab)	°C	lab
TempPreSCR	Pakokaasun lämpötila ennen SCR:ää (T_6 lab)	°C	lab
TempPostSCR	Pakokaasun lämpötila SCR:n jälkeen (T_7 lab)	°C	lab
FTIR_NOX	NO _x FTIR:ltä	ppm	lab
FTIR_NO	NO FTIR:ltä	ppm	lab
FTIR_NO2	NO ₂ FTIR:ltä	ppm	lab
FTIR_H2O	H ₂ O FTIR:ltä	ppm	lab
FTIR_NH3	NH ₃ FTIR:ltä	ppm	lab
FTIR_CO	CO FTIR:ltä	ppm	lab
FTIR_CO2	CO ₂ FTIR:ltä	ppm	lab

6 TULOKSET

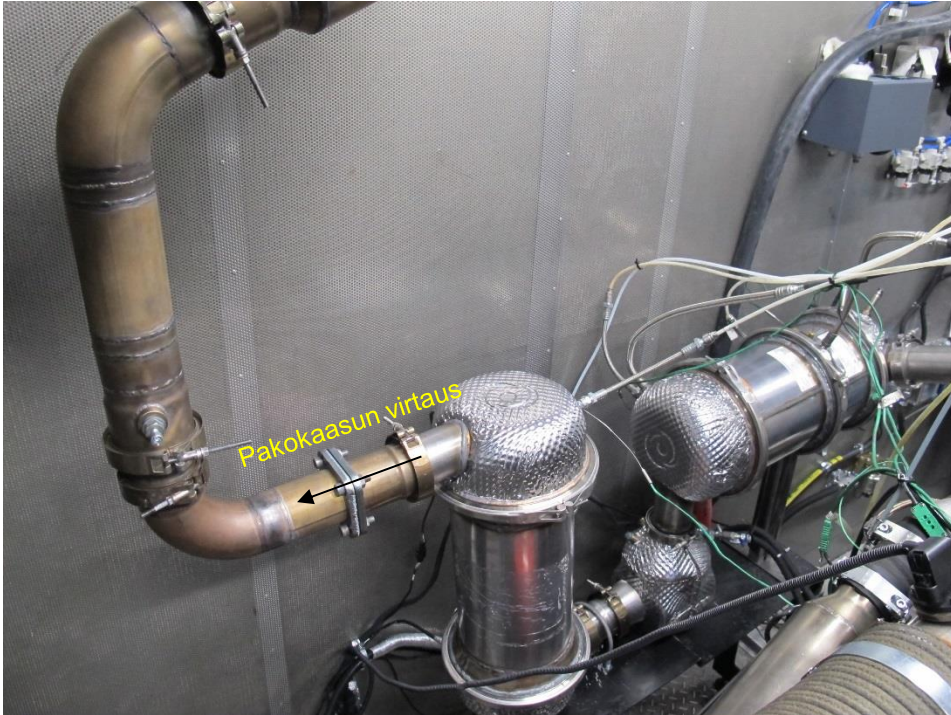
6.1 Mittausjärjestely

Mittausjärjestely on nähtävissä kuvissa 9 ja 10. Järjestelmä asennettiin kuvassa 9 näkyvälle telineelle ja kiinnitettiin siihen mixerin ja SCR:n välissä olevasta putkesta u-raudalla. DOCin alle asennettiin kuvassa 9 näkyvä korkeussäädettävä tuki. Järjestelmää kallistettiin noin 10 astetta, jotta ureasuutin osoittaisi alaspäin asennusohjeiden mukaisesti.



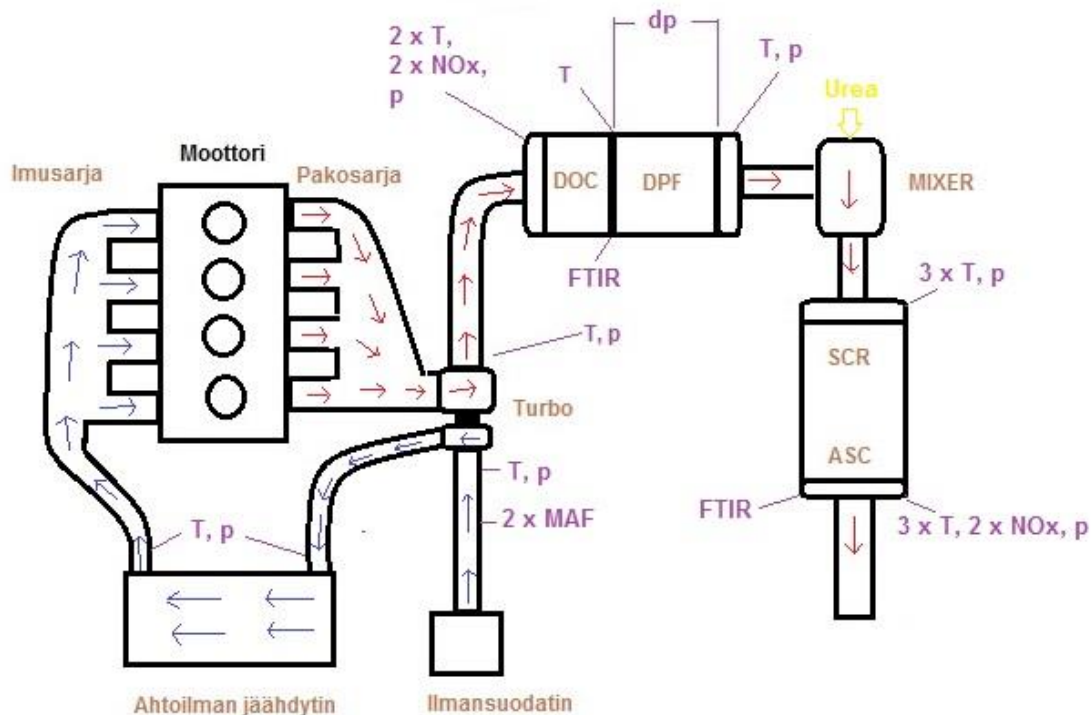
KUVA 9. Mittausjärjestely etuviistosta kuvattuna

Mittauksiin ei saatu toimitusviiveen vuoksi oikeaa SCR:ää. Kuvissa 9 ja 10 näkyvä hyllystä mittauksiin otettu SCR on halkaisijaltaan tuuman pienempi kuin oli tarkoitus, mutta tyypiltään vanadiini-SCR kuten suunniteltiin. Kyseistä SCR:ää on käytetty Stage IIIB -päästöluokan ajoneuvoissa.



KUVA 10. Mittausjärjestely takaviistosta kuvattuna

Järjestelmä anturoitiin kuvan 11 mukaisesti. Lisäyksenä mittaus suunnitelmaan asennettiin erillinen paine-erotunnistin mittamaan DPF:n painehäviötä. Kuten kuvasta 11 nähdään, lämpötilatunnistimia asennettiin ennen ja jälkeen SCR:n kolme, koska joka väliin asennetun k-tyyppin lämpöparin lisäksi moottorin ohjainlaite ja Continental GEN3 -järjestelmä tarvitsivat omat tunnistimensa. Moottorin ohjainlaite tarvitsi oman lämpötilatunnistimen myös ennen DOCia, joten siinä lämpötilatunnistimia on kaksi.



T	lämpötilatunnistin
p	painetunnistin
dp	paine-erotunnistin
NOx	NOx-tunnistin
FTIR	Näytteenottopiste NOx-analysointia varten
MAF	Ilmamassatunnistin

KUVA 11. Mittausjärjestelyn toteutunut anturointi ja mittauspisteet

NOx-antureita asennettiin kaksin kappalein ennen DOCia ja SCR:n jälkeen, koska GEN3-järjestelmä tarvitsi omat NOx-tunnistimet ja niiden rinnalle asennettiin laboratorion tunnistimet. GEN3-järjestelmän MAF-anturi asennettiin ilmansuodattimen ja ahtimen väliin, ja myös laboratorion oma mittari mittasi samasta välistä. NOx-analysointia varten käytettiin näytteenottopistettä joko DOCin tai SCR:n jälkeen meneillään olleen mittauksen mukaan.

6.2 Vastapainemittaus

Ensimmäisenä testinä suoritettiin vastapainemittaus. Mittaus tehtiin suunnitelmien mukaisesti ja tulokset ovat nähtävissä taulukossa 10. Mittausta ei toistettu testien lopussa, koska testijärjestely muuttui alkuperäisestä, eikä tulokset näin olisi olleet vertailukelpoisia.

TAULUKKO 10. Testien alussa tehdyn vastapainemittauksen tulokset 30 sekunnin keskiarvomittauksesta 5 minuutin tasaantumisajan jälkeen jokaisessa testipisteessä

Testipiste	n [rpm]	T [Nm]	P [kW]	Ilmamassavirta [kg/h]	Lämpötila turbon jälkeen [°C]	Paine turbon jälkeen [mbar]
1	2100	476,8	104,9	600,9	491	178
2	2000	499,3	104,6	584,1	493	167
3	1900	527,2	104,9	569,7	490	157
4	1800	557,5	105,1	542	502	149
5	1700	587,4	104,6	516	514	141
6	1600	612,5	102,6	486,1	524	132
7	1500	603,7	94,8	447,8	514	114
8	1400	602,8	88,4	411,9	511	102
9	1300	598,5	81,5	383,6	502	89
10	1200	590,1	74,2	348	512	78
11	1100	568,4	65,5	318,9	479	66
12	1000	539,9	56,5	270,7	488	55

6.3 DOCin NO₂-tuotto

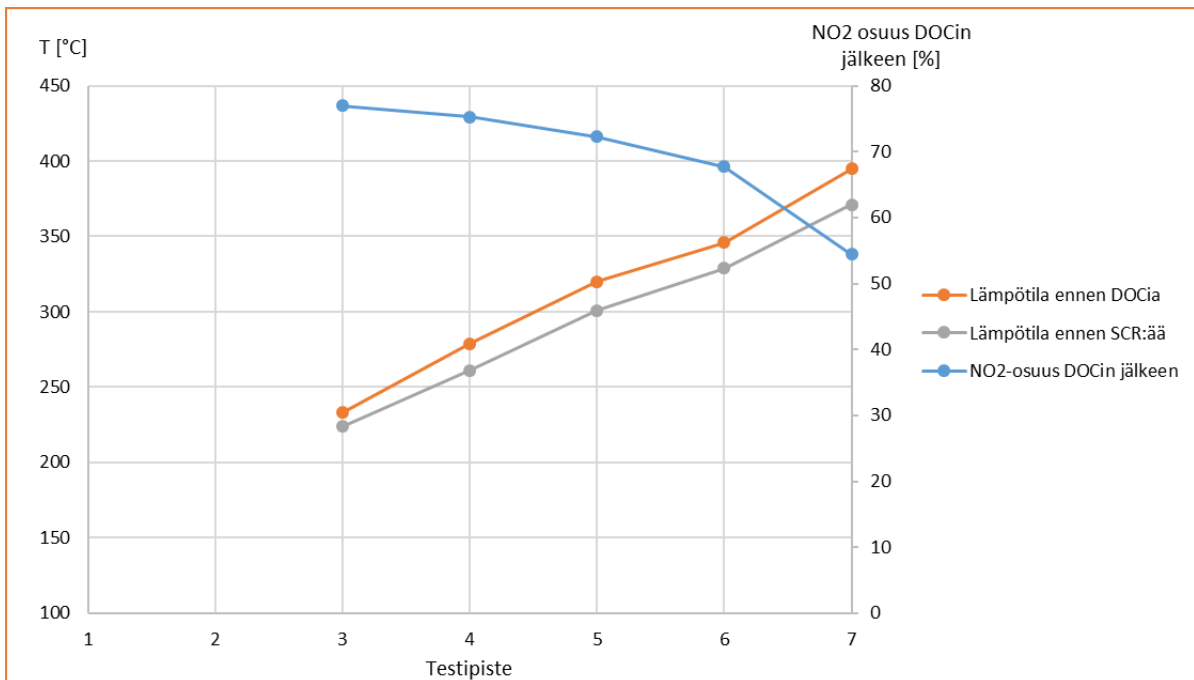
Taulukossa 8 esitettyjen testipisteiden kuormitukset haettiin kohdilleen ennen varsinaista NO₂-tuottomittauksia, jotta SCR:n ylävirran lämpötilavoitteet täyttyvät. Toteutuneet testipisteet on esitetty taulukossa 11. Testipisteet numeroitiin numeroilla 3 - 7, koska testin alkupäähän lisättiin myöhemmin kaksi ylimääräistä pistettä. Jokaiseen testipisteeseen asetettiin pyynti ahtoilman lämpötilalle testin toistettavuuden takia.

TAULUKKO 11. Toteutuneet testipisteet DOCin NO₂-tuottomittaukseen

Testipiste	Moottorin pyörintänopeus [1/min]	Kuormitus [Nm]	SCR:n ylävirran lämpötila [°C]	Lämpötilan tasaumisaika ennen mittausta [min]	Säädetty ahtoilman lämpötila [°C]
3	2100	35	220	10	24
4	2100	100	260	10	27
5	2100	195	300	10	30
6	2100	240	330	10	40
7	2100	300	375	10	52

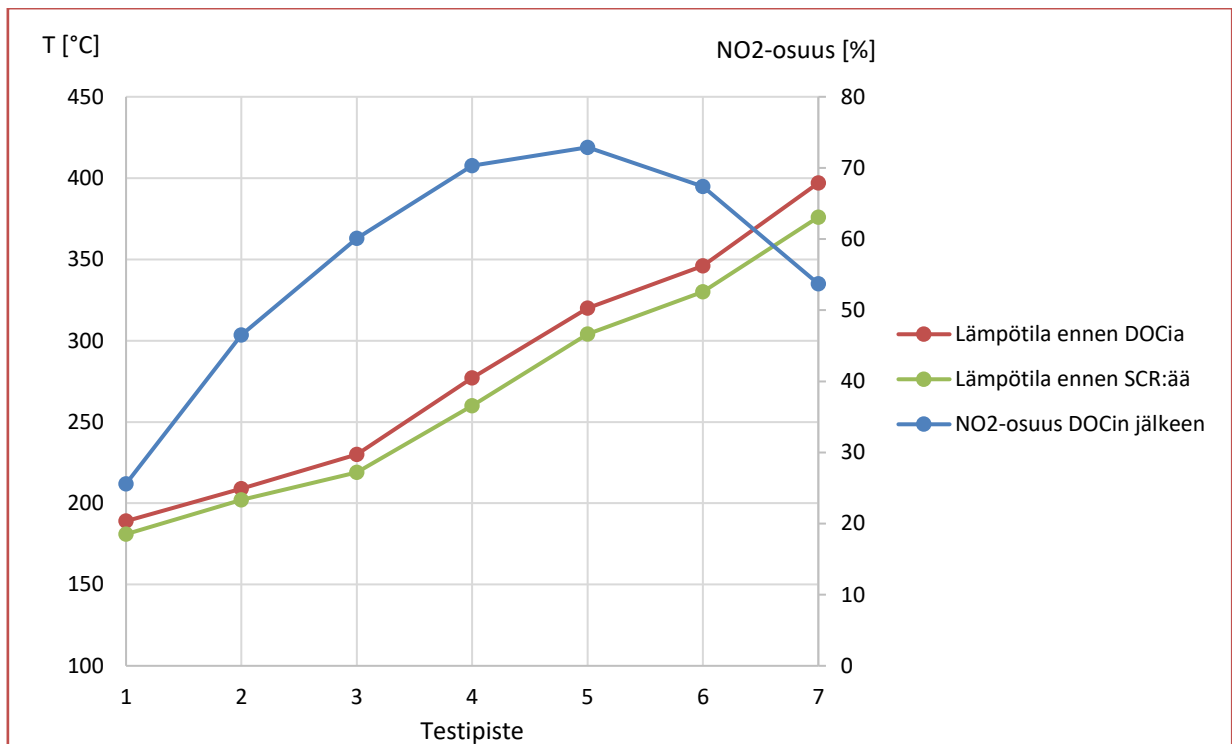
Ensimmäisenä ajatun vastapainemittauksen jälkeen moottoria ajettiin erikseen vielä tunti täydellä kuormalla 1 500 rpm:n pyörintänopeudella esikäsitteilyä uusille jälkikäsitteilykomponenteille ennen päästömittauksia. Tämän jälkeen ajettiin

NO₂-tuottotesti taulukon 11 mukaisissa testipisteissä ja tulokset on esitetty kuvassa 12.



KUVA 12. NO₂-osuus DOCin jälkeen ja pakokaasun lämpötilat ennen DOCia ja SCR:ää testipisteen funktiona

Kuvan 12 tuloksista nähdään, että NO₂-osuus on jokaisessa pisteessä yli suositeltavan 50 %:n. Työn tilaajan pyynnöstä testi toistettiin siten, että kylmään päähän lisättiin kaksi testipistettä, joissa lämpötila ennen DOCia on 200 °C:n molemmin puolin. Tämän testin tulokset ovat nähtävissä kuvassa 13.



KUVA 13. Toistetun NO₂-tuottotestin tulokset. Testipisteet 1-2 ovat alkuperäiseen suunnitelmaan lisättyjä kylmän pään pisteitä

Kuvan 13 tuloksista nähdään, että lisättyissä kylmissä pisteissä DOC ei tuota liikaa typpidioksidia, mutta lämpötilan noustessa sen pitoisuus nousee edelleen liian korkeaksi. Kuvien 12 ja 13 NO₂-osuuskäyriä verratessa havaitaan, että käyrien muoto on alkupäässä erilainen ja testipisteiden 3 ja 4 arvot ovat alempana toistetussa mittauksessa. Toteutuneet lämpötilat ovat molemmissa mittauksissa samat, joten syytä erolle ei tiedetä.

Joka tapauksessa DOC tuottaa typpidioksidia yli 50 % suurella alalla käyttölämpötilastaan, mikä vaikuttaa negatiivisesti SCR-reaktioihin (kohta 3.3.1) ja siten saavutettaviin NO_x-alenemiin. DPF:n passiivisen regeneroitumisen kannalta suuri NO₂-osuus on puolestaan hyvä asia (kohta 3.2).

6.4 DPF:n lataus ja regenerointi

Ennen DPF:n ensimmäistä punnitusta suoritettiin passiivinen regenerointi, koska moottorilla oltiin ajettu muutamia tunteja. Tyhjän DPF:n punnituksen jälkeen alettiin kerätä nokilatausta normaalia savuttavammalla ohjelmaversiolla.

Tavaksi valittiin toistuvien NRTC-sykliden ajaminen 50 %:iin skaalatulla vääntömomentilla, jotta pakokaasujen lämpötilat pysyisivät matalina eikä DPF siten alkaisi regeneroitumaan vaan täyttymään.

Ensin ajettiin kolme 50 %:n NRTC-sykliä, jonka jälkeen DPF punnittiin, jotta nähtiin, kuinka paljon yhden syklin aikana kertyy nokea keskimäärin. Punnituksesta tehtyjen johtopäätösten jälkeen moottori laitettiin ajamaan vielä 31 sykliä lisää. Ajallisesti kaikkien 34 syklin ajaminen vei puoli vuorokautta.

Lopputuloksena nokilatausta kertyi noin 2 g/l, eli tavoiteltuun arvoon 3 g/l ei päästy. Kerättyyn määrään kuitenkin tyydyttiin, koska se näkyi selkeästi DPF:n nousseena painehäviönä. Punnitustulokset ja niiden perusteella tehdyt laskelmat DPF:n latauksesta on kerätty taulukkoon 12.

TAULUKKO 12. DPF:n punnitukset mittausten ajalta. Ilmoitetut lämpötilat on mitattu juuri ennen punnitusta, joka toistettiin aina kolmesti

1. punnitus regeneroinnin jälkeen ennen latausta	2. punnitus kolmen 50 % NRTC syklin jälkeen
T 200 °C	T 200 °C
1 8490,0 g	1 8492,2 g
2 8490,3 g	2 8492,2 g
3 8490,1 g	3 8492,3 g
ka 8490,13 g	ka 8492,23 g
3. punnitus 34:n 50 % NRTC syklin jälkeen	DPF:n tilavuus
T 200 °C	7,90 [l]
1 8506,0 g	Nokilataus
2 8506,2 g	15,93 g
3 8506 g	2,02 g/l
ka 8506,07 g	
4. punnitus passiivisen regeneroinnin jälkeen	
T 200 °C	
1 8491,1 g	
2 8490,9 g	
3 8491 g	
ka 8491,00 g	

Moottorin ohjausyksikköön vaihdettiin ennen regeneroinnin aloittamista normaali ohjelmaversio. Regenerointia varten luotiin mittaussuunnitelman mukainen automaattinen testiohjelma, jossa moottorin kuormaa nostettiin 10 Nm:n välein aloittaen arvosta 50 Nm ja päättyen arvoon 250 Nm vakiokierrosluvulla

1 500 rpm. Jokaisessa kuormituspisteessä ajettiin 30 min. Lopuksi moottorin kuorma nostettiin vielä maksimiin 50 minuutin ajaksi. DPF:n painehäviö, lämpötila ja moottorin vääntömomentti regeneroinnin ajalta on liitteenä 1.

Kuten liitteestä 1 nähdään, regeneroituminen käynnistyi pakokaasun lämpötilan ollessa noin 280 °C. Lämpötilan noustessa reaktio voimistui ja regenerointi oli valmis paljon ennen kuin moottorin kuorma nostettiin maksimiin. Painehäviökäyrän lopussa näkyvä äkillinen pudotus selittyi pakoputkesta irronneella tulpalla. Asialla ei ollut vaikutusta tuloksiin, koska se tapahtui loppuvaiheessa regeneroinnin ollessa jo valmis.

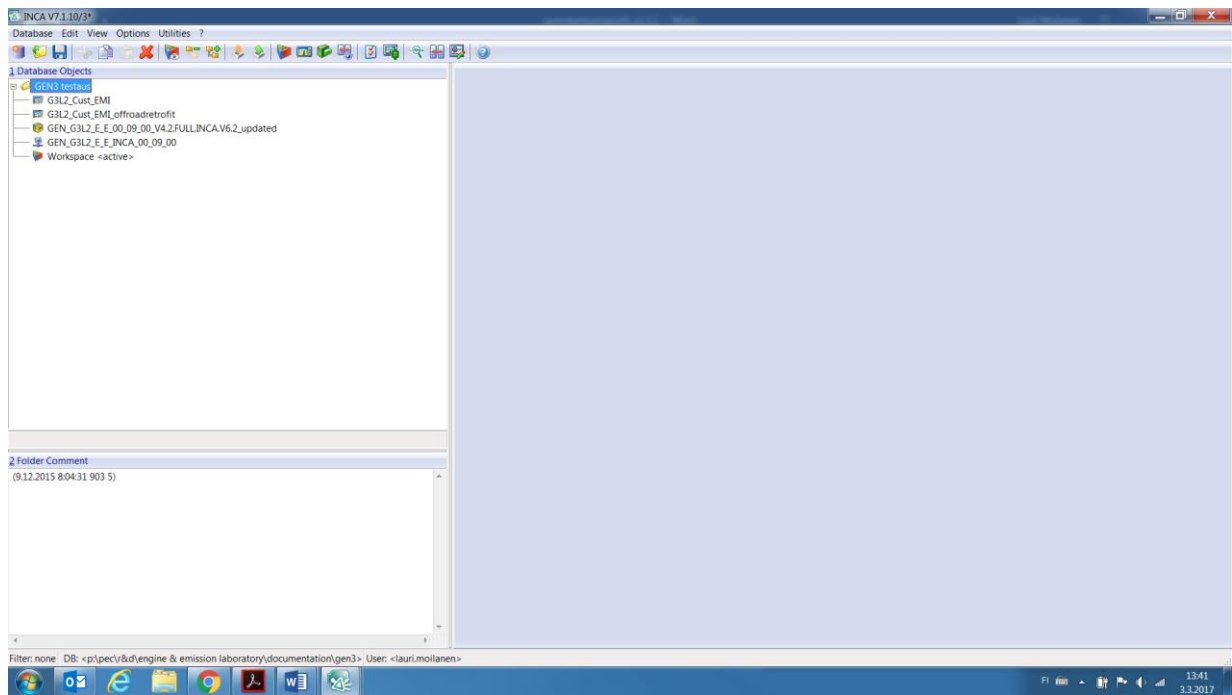
6.5 Continental GEN3 -järjestelmän kalibrointi ECU Doser -tilassa

Kalibrointityökaluina käytettiin ETAS INCA V.7.1.10/3 -ohjelmistoa sekä ETAS ES581.3 -väyläsovittinta, jolla tietokone voidaan liittää USB-portin kautta GEN3-järjestelmän CAN-väylään. ES581.3-väyläsovittimen ajurit ladattiin tietokoneelle HSP Update Tool -ohjelman kautta ennen väyläsovittimen kytkemistä tietokoneeseen.

6.5.1 Alkuvalmistelut

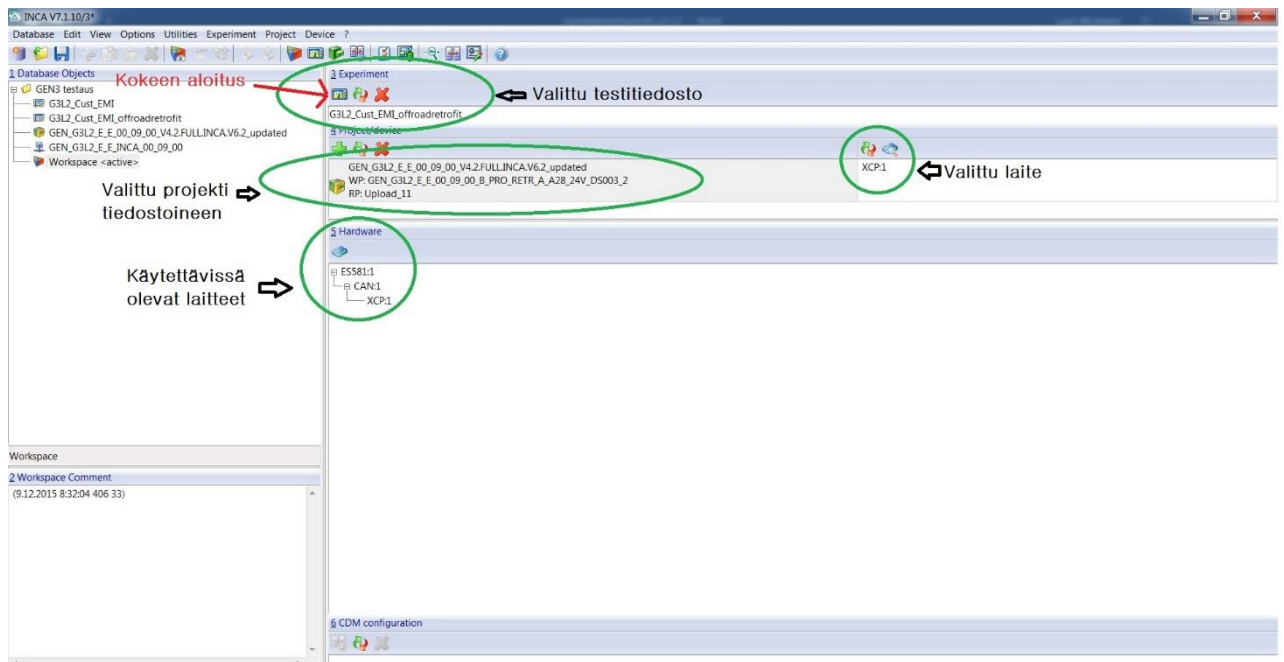
Kuvassa 14 näkyy perusnäky INCA-ohjelman etusivulta. Ensimmäisenä täytyy määrittää tietopohja (database), joka sisältää seuraavat asiat:

- a2l.-tyyppinen projektitiedosto
- hex.- tai s19.-tyyppinen päätiedosto (master hexfile)
- testitiedosto (experiment), johon määritellään halutut kalibrointikartat, taulukot, mittasuureet, kalibrointisuureet ja kuvaajat
- CAN-väylän tietopohja (CAN DB)
- työympäristö (workspace).



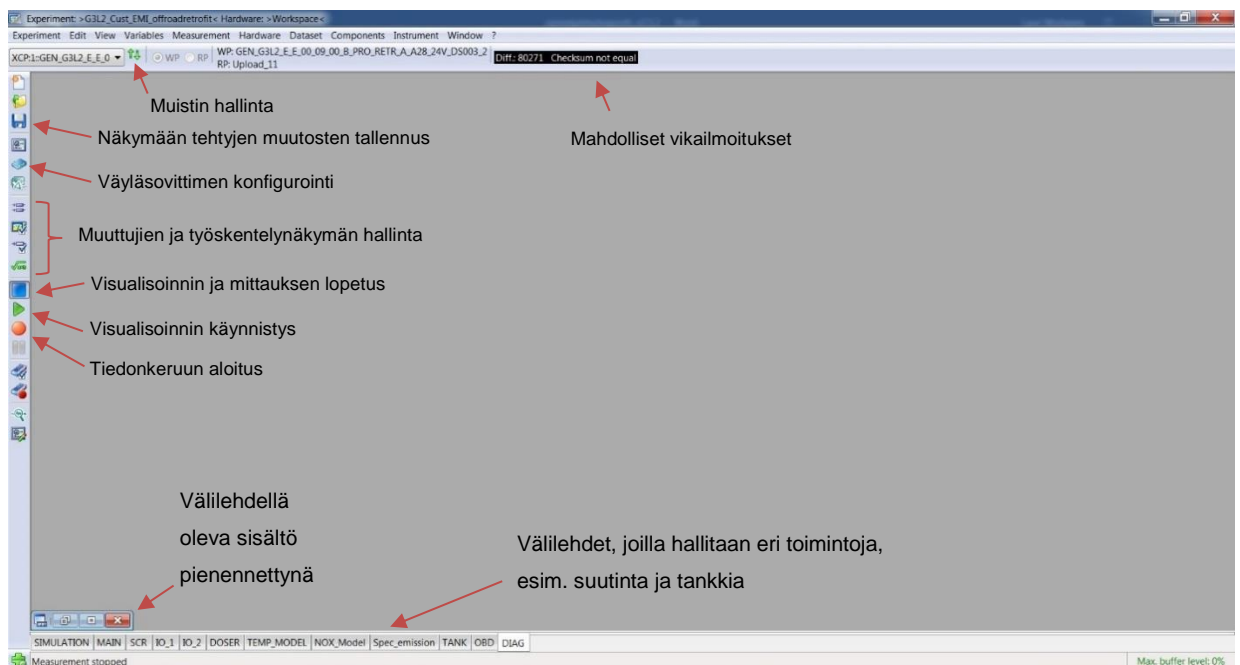
KUVA 14. INCA-ohjelman etusivu ja käytössä olevan tietopohjan rakenne

Työympäristön käyttämät tiedostot ja käytössä oleva väyläsovitin määritetään kuvan 15 mukaisesti. Tämän jälkeen voidaan aloittaa työskentely painamalla *start experiment* -näppäintä. Ohjelma tarkastaa tässä vaiheessa väyläsovitin laiteohjelman version ja sen jälkeen avautuu kuvan 16 mukainen työskentelynäköymä.



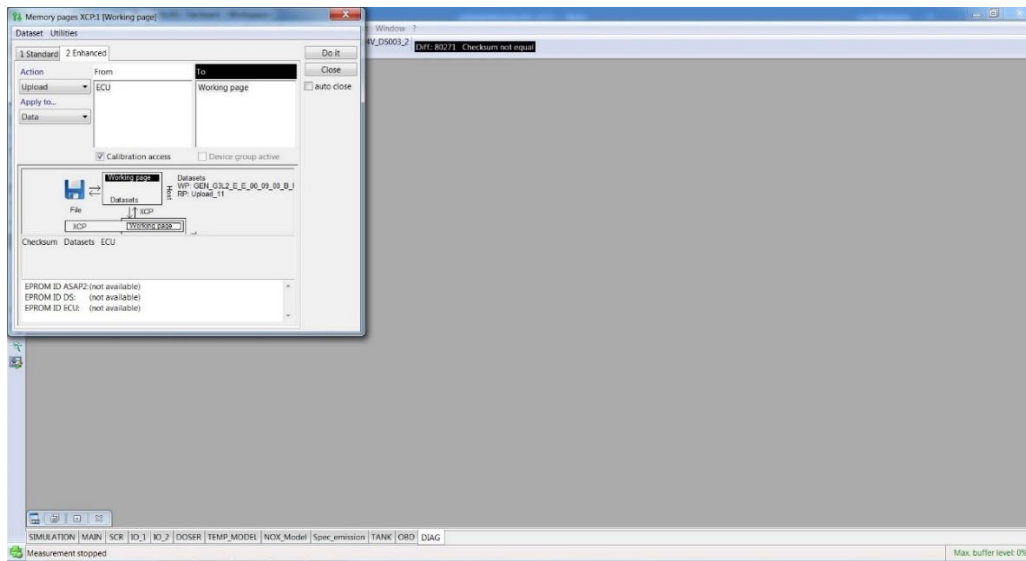
KUVA 15. Työympäristön määrittely ja kokeen aloitus

Työskentelynäkymän tärkeimmät asiat on esitetty kuvassa 16. Ensimmäisenä mennään muistin hallinnan kautta lataamaan ohjausyksikön muistista tiedot työskentelysivulle.



KUVA 16. Työskentelynäkymä testin aloituksen jälkeen

Muistin hallinnassa valitaan välilehti *enhanced* ja toiminnoksi tietojen lataaminen ohjausyksiköltä (ECU) työskentelysivulle kuvan 17 mukaisesti.



KUVA 17. Tietojen lataaminen ohjausyksikön muistista työskentelysivulle

Kuvissa 14 - 17 esitettyjen vaiheiden jälkeen voidaan käynnistää visualisointi, jolloin työskentelysivulla alkaa näkyä reaaliaikaisesti mitattuja arvoja ja kalibrointisuureita voi muokata. Muokattujen kalibrointisuureiden syöttö ja tallennus GEN3-järjestelmän ohjausyksikköön on selostettu kuvassa 18.

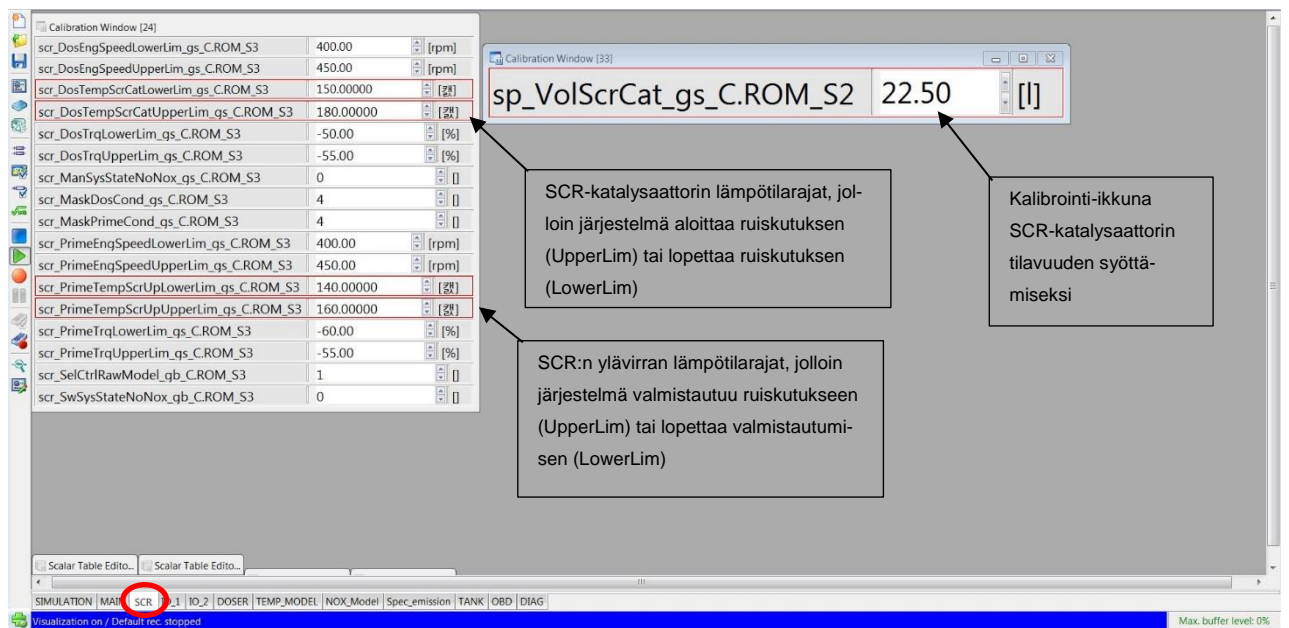
KUVA 18. Muokattujen kalibrointisuureiden syöttö ja tallennus GEN3-järjestelmän ohjausyksikköön, esimerkkinä urearuiskutuskartan muokkaus

6.5.2 Jälkikäsittelyjärjestelmän perustietojen syöttö

Ennen moottorin käynnistämistä tulee työskentelysivulla määritellä seuraavat asiat:

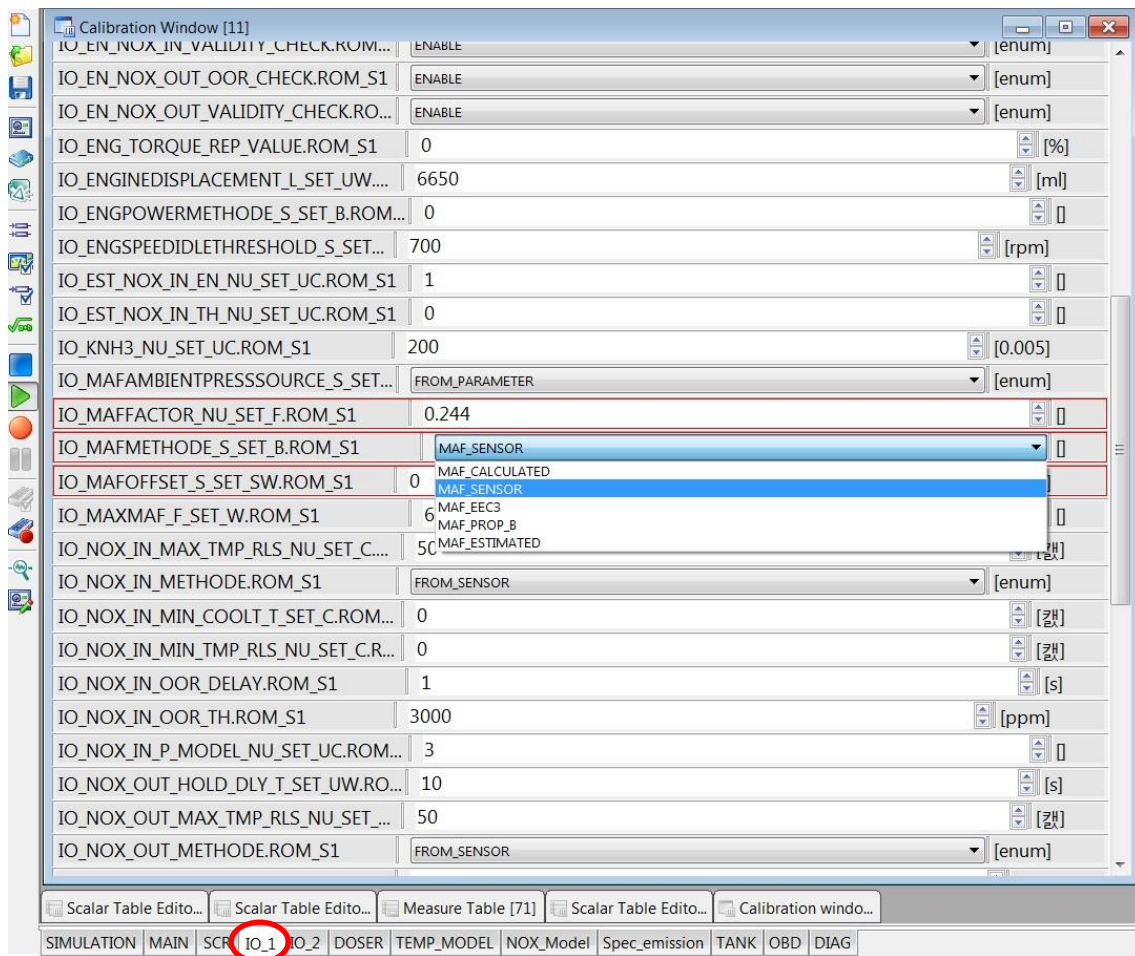
- SCR-katalysaattorin tilavuus litroina
- anturisyönteiden lähde
- pakokaasun lämpötilan raja-arvot NOx-antureiden käynnistämiseksi ja sammuttamiseksi
- pakokaasun lämpötilan raja-arvot ruiskutuksen aloittamiseksi ja lopettamiseksi.

Kuvasta 19 nähdään, miten määritellään lämpötilarajat ruiskutukseen valmistautumiselle ja ruiskutukselle. Ruiskutukseen valmistautuminen perustuu SCR:n ylävirran lämpötilatietoon ja itse ruiskutus SCR-katalysaattorin laskennalliseen lämpötilaan lämpötila-antureiden signaalien perusteella.



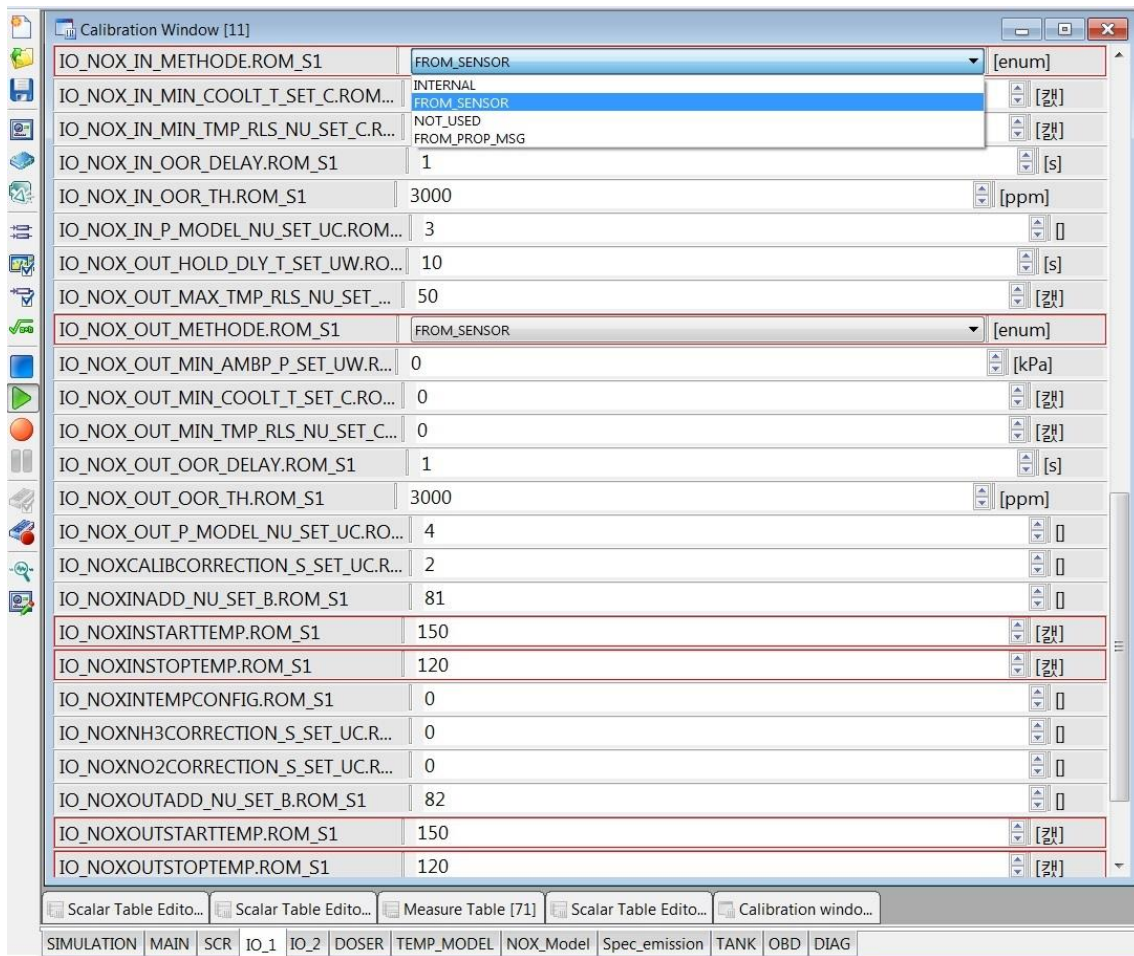
KUVA 19. SCR-katalysaattorin tilavuuden ja ruiskutukseen liittyvien rajalämpötilojen määrittely

Kuvassa 20 on esitetty lämpötila-antureiden määrittely. Ylävirran (CATIN) ja alavirran (CATOUT) anturit voidaan määritellä erikseen joko GEN3-järjestelmään liitetyiksi pt-200-antureiksi, jolloin valitaan *from_sensor*, tai CAN-väylästä



KUVA 21. MAF-anturin määrittely

Kuvasta 22 nähdään, kuinka voidaan muuttaa NOx-antureiden signaalilähdettä ja käynnistys- tai sammutuslämpötilaa. Käytännössä valikosta valitaan aina *from_sensor*, koska tunnistimet yhdistetään joka tapauksessa GEN3-järjestelmän CAN-väylään. Kuvassa 22 on valittu molempien NOx-antureiden käynnistyslämpötilaksi 150 °C, ja anturit sammuvat, kun lämpötila laskee 120 °C:seen. Lämpötilojen tulee olla riittävän korkeat, jottei antureissa ole missään tilanteessa kosteutta mittauksen aikana.



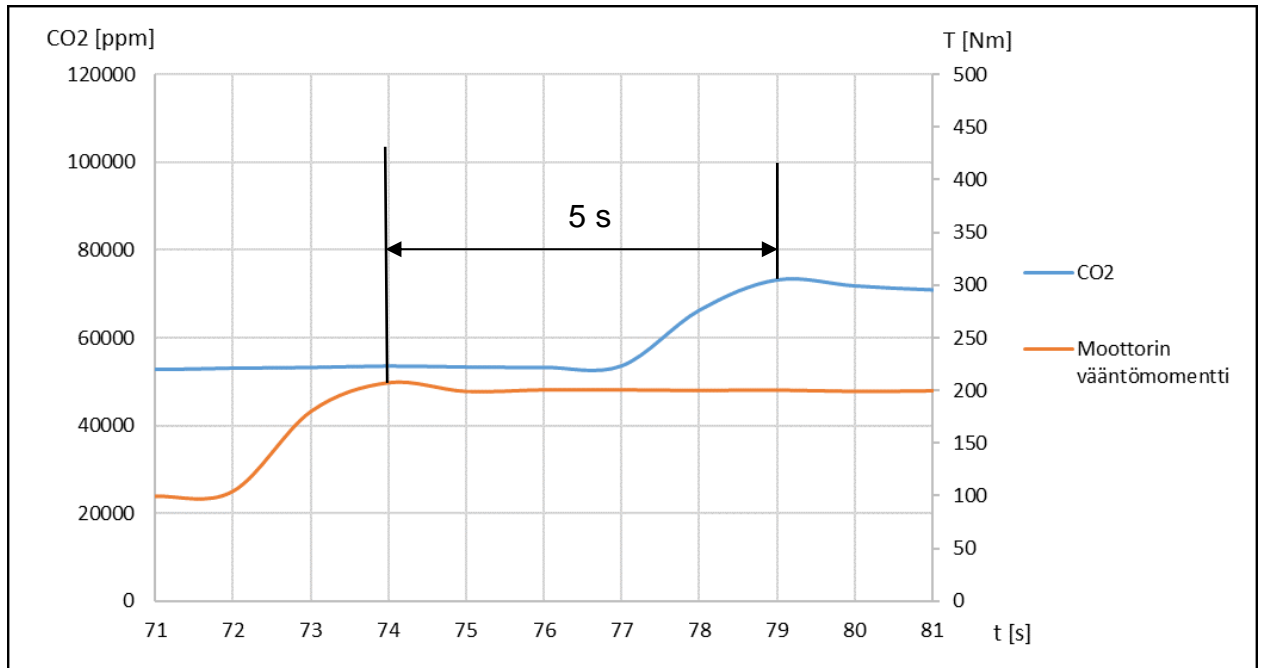
KUVA 22. NOx-antureiden signaalin ja käynnistys/sammutus lämpötilojen määrittely

6.5.3 NOx-analysaattorin vasteajan määrittely

Ennen pakokaasun jälkikäsitteilyjärjestelmän jälkeisten NOx-päästöjen mittauksesta NRTC-syklien ajalta, täytyi määrittellä NOx-analysaattorin vasteaika. Se koostuu ajasta, joka menee pakokaasun virratessa näytelinjaa pitkin analysaattorille ja ajasta, jonka analysaattori tarvitsee pakokaasun analysointiin. Tässä tapauksessa näytelinjalla oli pituutta toistakymmentä metriä, koska analysaattori sijaitsi testausolun viereisessä rakennuksessa.

Periaatteeksi vasteajan määrittelyyn otettiin moottorin vääntömomentin ja analysaattorin mittaaman hiilidioksidipitoisuuden vertailu. Moottori asetettiin ensin tasaiseen kuormituspisteeseen ja tämän jälkeen kuormitusta nostettiin nopeasti ja

huomattavasti. Kuormituksen huippuarvon ja hiilidioksidipitoisuuden huippuarvon välisestä aikaerosta saatiin määritettyä vasteaika kuvan 23 mukaisesti. 5 sekunnin vasteaika otettiin huomioon tulosten käsittelyssä.

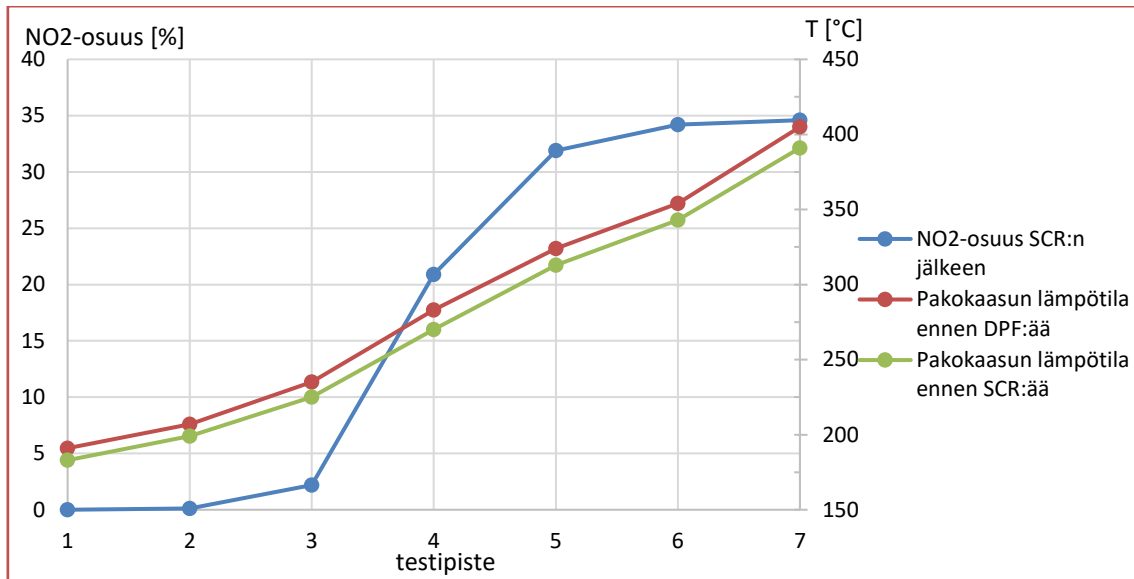


KUVA 23. NO_x-analysointilaitteen vasteajan määrittäminen moottorin vääntömomentin ja pakokaasun CO₂-pitoisuuden vertailulla

6.5.4 Ruiskutuskartan muokkaaminen

Ennen kuin urearuiskutuskarttaa alettiin tosissaan muokata, päätettiin muuttaa mittausjärjestelyä siten, että hapetuskatalysaattori otettiin kokonaan pois. Liian tehokkaan NO₂-tuoton takia saavutetut NO_x-alennamat olivat heti silmin nähden vaatimattomat ja SCR:n kalibrointi siten hyvin vaikeaa.

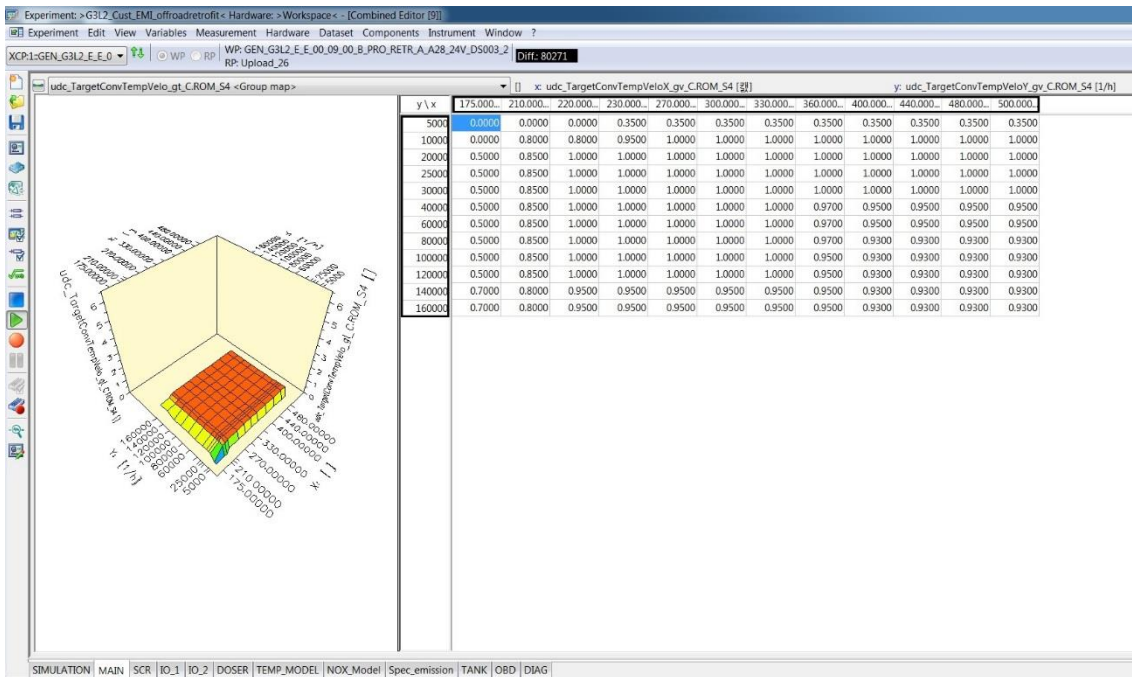
Järjestelmään jätetty DPF oli kuitenkin DOCin tapaan pinnoitettu ja sen ajateltiin tuottavan tässä tilanteessa typpidioksidia enemmän kuin sitä kuluisi NO₂-pohjaiseen regenerointiin, varsinkin DPF:n ollessa suhteellisen tyhjä edellä tehdyn regeneroinnin takia. Asian varmistamiseksi ajettiin vielä kerran NO₂-tuottomittauksen mukaiset testipisteet (taulukko 11) mitaten samalla NO₂-pitoisuutta SCR:n ulostulosta ilman urearuiskutusta. Mittauksen tulokset löytyvät kuvasta 24.



KUVA 24. NO₂-pitoisuuden mittaus SCR:n ulostulosta ilman hapetuskatalysaattoria ja urearuiskutusta aiemmin tehdyn DOCin NO₂-tuottomittauksen mukaisissa testipisteissä (vrt. kuva 13)

Kuten kuvasta 24 nähdään, NO₂-pitoisuus on lähes olematon alle 225 °C:n alapuolella, mutta nousee kuitenkin sen jälkeen kohtuulliselle tasolle eikä ylitä missään 50 %:a. Ruiskutuskartan muokkaamisen kannalta tilanne on huomattavasti parempi kuin, jos ajettaisiin DOCin kanssa.

Kuvassa 25 on esitetty lähtötilanne, josta ruiskutuskarttaa lähdettiin muokkaamaan. Ruiskutuskartan x-akselilla on SCR-katalysaattorin lämpötila ja y-akselilla *Space Velocity* (SV), joka on katalysaattoriin virtaavan pakokaasun tilavuusvirran ja katalysaattorin tilavuuden osamäärä. Akseleiden rajaamaan taulukkoon syötetään tavoiteltu NO_x-alenema kussakin lämpötila- ja virtaustilanteessa. Esimerkiksi arvo 0,85 tarkoittaa 85 %:n tavoitealenemaa. GEN3-järjestelmän ohjausyksikkö laskee anturisignaalien perusteella ruiskutusmäärän, joka vaaditaan halutun aleneman saavuttamiseksi.



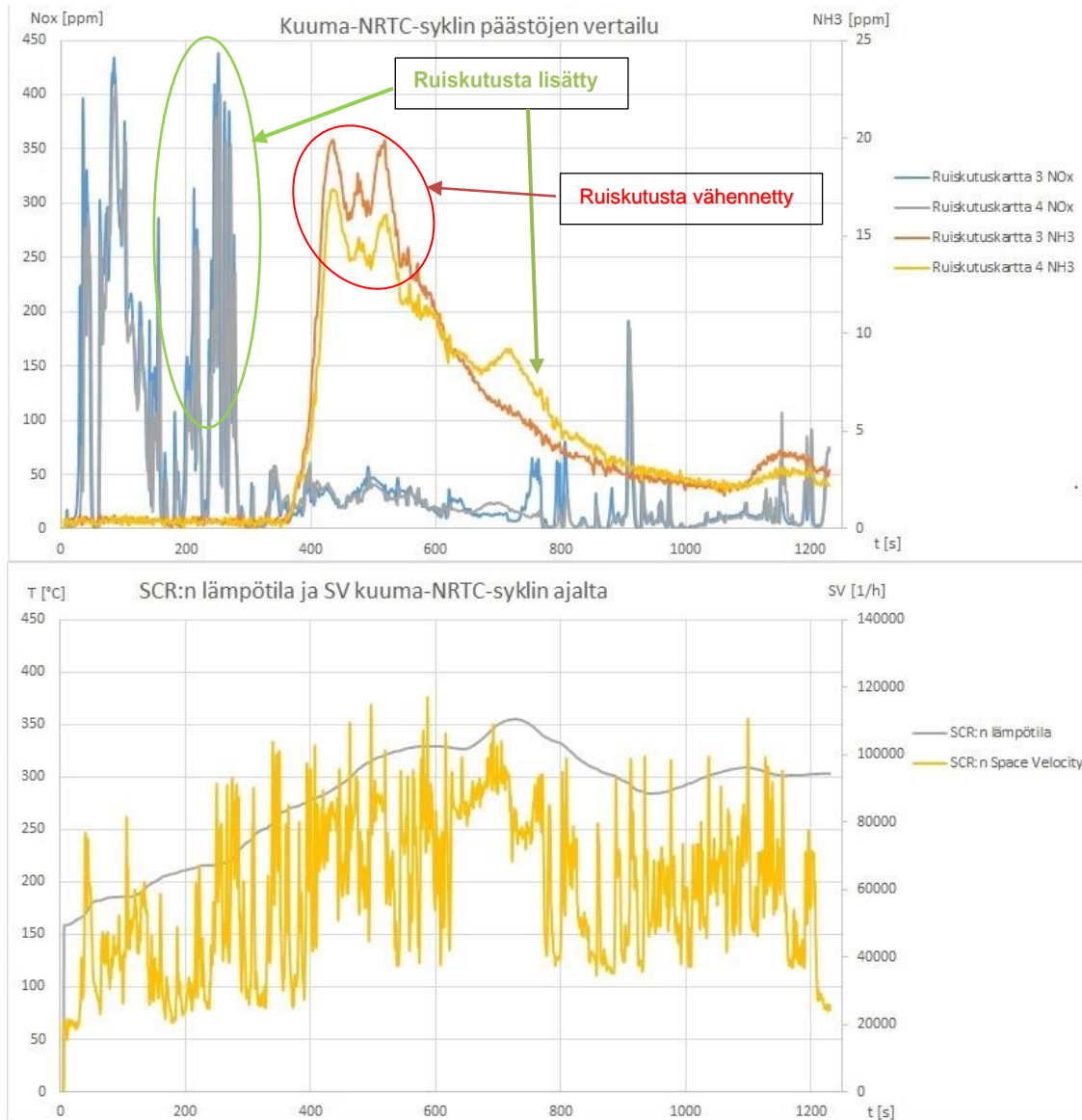
KUVA 25. Lähtötilanne, josta urearuiskutuskarttaa alettiin muokata

Periaatteena ruiskutuskartan muokkaamisessa oli, että jokaisella ruiskutuskartan versiolla ajettiin ensin kaksi peräkkäistä valmistelevaa NRTC-sykliä, minkä jälkeen moottori oli sammuksissa yön yli ja seuraavana aamuna ajettiin varsinainen kylmä-kuuma NRTC-sykli. Valmistelevien syklien ajatuksena oli, että moottorilla olisi ikään kuin ajettu normaalia ajoa juuri ennen päästömittausta ja SCR-katalysaattorissa olisi siten normaali NH_3 -varaus.

Kuvan 25 ruiskutuskartalla ei ajettu edes valmistelevia syklejä kokonaan, koska ruiskutusmäärät olivat selvästi liian suuret, mikä näkyi suurena NH_3 -päästönä. Tämän jälkeen ruiskutuskarttaa muokattiin huomattavasti ja eri versioita syntyi lähtötilanteen jälkeen kolme, joista viimeinen osoittautui parhaaksi. Ruiskutuskarttaversiot löytyvät liitteestä 2.

Vertailu eri ruiskutuskarttojen toimivuudesta tapahtui vertailemalla NRTC-syklien ajalta tallennettua tiedonkeruuta. Päähuomio kiinnitettiin SCR:n jälkeisiin NO_x - ja NH_3 -päästöihin ja samalla tarkasteltiin SCR:n lämpötilaa ja SV-arvoja,

jotta voitiin tehdä päätelmiä, mihin ruiskutusta voisi lisätä ja mistä laskea. Kuvassa 26 on esitetty esimerkki tällaisesta vertailusta ruiskutuskarttojen 3 ja 4 välillä.



KUVA 26. Päästöjen vertailu ruiskutuskartoilla 3 ja 4 sekä SCR:n lämpötila ja Space Velocity kuuma-NRTC-syklin ajalta; kuvaan on merkitty kohdat, joihin tehtiin muutoksia ruiskutuskartan 3 jälkeen

NO_x -päästöjen huippuja saatiin tasoitettu kohdissa, joihin ruiskutusta lisättiin. Hieman ennen syklin keskivaihetta näkyvään voimakkaaseen NH_3 -päästön nousuun reagoitiin laskemalla ruiskutusta kyseisellä lämpötilalla ja virtauksella,

millä huippuarvoja saatiin hieman alemmaksi. Erot karttojen 3 ja 4 välillä voi nähdä liitteestä 1.

6.5.5 NRTC-päästömittaussyklin ajaminen eri vääntömomenttiskaalauksilla

Päästöjen jälkikäsittelyjärjestelmän toimintaa eri tehoisilla moottoreilla demonstroitii ajamalla NRTC-päästömittaussykli kahdella eri vääntömomenttiskaalauksella, 80 % ja 100 %. Skaalaus alaspäin tehtiin muuttamalla jokaisen 100 %:n mittaussykliin määritetyn kuormituspisteen vääntömomenttia kertoimella 0,8. Molemmilla skaalauksilla ajettiin käyttäen ruiskutuskarttaa 4 (liite 1) ja molemmissa tapauksissa edellisenä päivänä oltiin ajettu kaksi peräkkäistä valmis-televaa NRTC-sykliä, minkä jälkeen moottori oli sammuksissa yön yli.

Tulokset on esitetty taulukossa 13. Taulukkoon on eritelty tehty työ ja päästöt kylmän ja kuuman syklin ajalta ja laskettu painotetut yhteistulokset ilmoitetuilla painotuskertoimilla. NOx-päästöt alittavat molemmilla skaalauksilla taulukossa 1 esitetyn Stage IIIB -luokan rajan 3,3 g/kWh (moottorin teho 105 kW), joten siinä mielessä tuloksiin voi olla tyytyväinen, koska käytetty SCR on tarkoitettu alun perin siihen päästöluokkaan. Toisaalta tavoiteltuun NOx-päästöjen Stage IV -luokan rajaan 0,4 g/kWh (taulukko 2) on vielä matkaa.

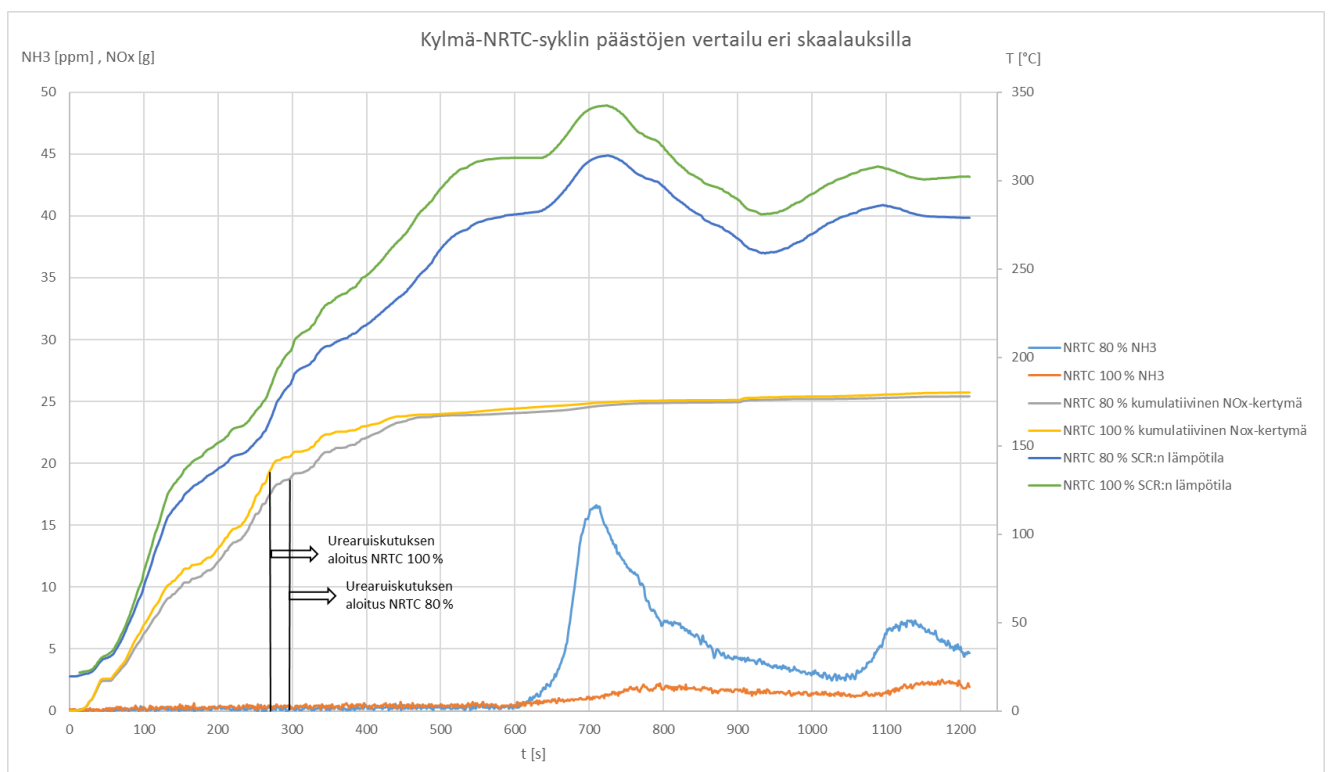
TAULUKKO 13. NRTC-päästömittaussyklin tulokset painotuksineen vääntömomenttiskaalauksilla 80 % ja 100 %

	Painotuskerroin	Tehty työ [kWh]	Nox kertymä [g]	NOx [g/kWh]	NH3-päästö keskiarvo [ppm]
Kylmä-NRTC 100 %	0,1	12,26	25,13	2,05	0,89
Kuuma-NRTC 100 %	0,9	12,28	8,44	0,69	4,76
Painotettu NRTC 100 %				0,82	4,37
Kylmä-NRTC 80 %	0,1	9,83	24,77	2,52	3,13
Kuuma-NRTC 80 %	0,9	9,95	10,52	1,06	3,91
Painotettu NRTC 80 %				1,20	3,83

Kuvissa 27 ja 28 on esitetty graafisesti lämpötilojen ja päästöjen kehittyminen kylmä- ja kuuma-NRTC-sykliden ajalta eri vääntömomenttiskaalauksilla. Kuvissa

on esitetty hetkellisinä arvoina SCR:n lämpötila ja NH₃-päästö syklien ajalta. Kuvissa näkyvä kumulatiivinen NO_x-kertymä tarkoittaa NO_x-päästöjen grammamääräistä kertymistä syklin edetessä.

Kuvassa 27 tehty vertailu kylmä-NRTC-syklin ajalta vääntömomenttiskaalauksilla 80 % ja 100 % näyttää, että SCR:n lämpötilaero eri skaalauksilla tasaantuu noin 20 °C:seen. Hitaampi lämpötilan nousu pienemällä skaalauksella vaikuttaa ruiskutuksen aloitushetkeen negatiivisesti, mutta toisaalta pienemällä skaalauksella raakapäästöt ovat pienemmät, mikä näkyy kuvassa 27 alempana kullevana NO_x-kertymänä syklin alkuvaiheessa.

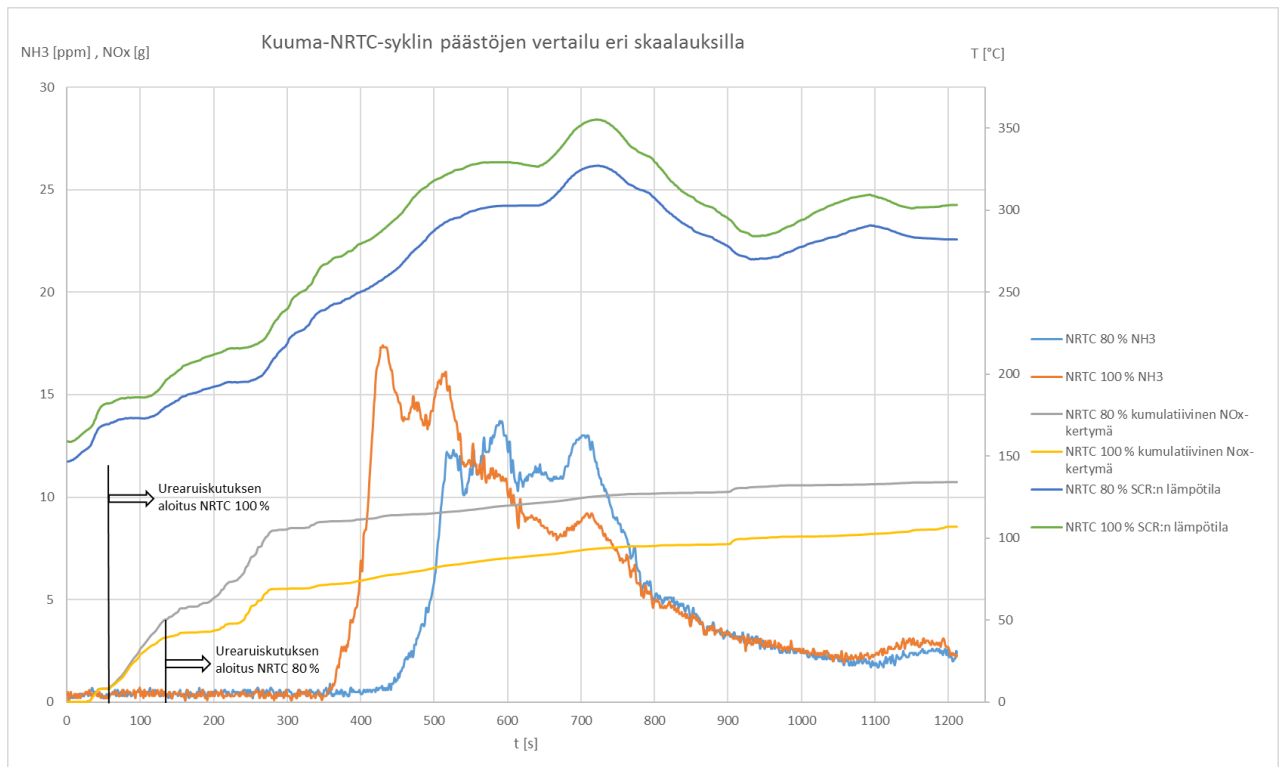


KUVA 27. Kylmä-NRTC-syklin päästöjen ja lämpötilojen vertailu vääntömomenttiskaalauksilla 80 % ja 100 %

NO_x-päästökäyrät kuitenkin tasaantuvat samalle tasolle, koska suuremmalla teholla päästään aiemmin SCR:n toiminta-alueelle ja NO_x-päästöjen määrän kasvu taittuu aiemmin kuin pienellä teholla. Lopussa NO_x-päästöjä on kertynyt käytännössä sama määrä molemmilla skaalauksilla. Pienemällä skaalauksella syklin aikana tehty työ on pienempi, joten päästöt ovat työhön suhteutettuna yli 20 % suuremmat kuin 100 %:n skaalauksella.

Kuvasta 27 nähdään, että SCR-katalysaattoriin syklin alkuvaiheessa varastoitu-
nut NH_3 vapautuu pienemmällä teholla ajettaessa äkillisesti, kun SCR:n lämpö-
tila nousee huippuunsa. Täydellä skaalauksella ajettaessa NH_3 -päästöt ovat pa-
remmin hallinnassa, koska katalysaattori on toiminta-alueellaan pidemmän ai-
kaa eikä ammoniakkia pääse varastoitumaan niin paljon.

Kuvassa 28 tehty vertailu kuuma-NRTC-syklin osalta korostaa lämpötilaerojen
ja ruiskutuksen aloitushetken vaikutusta NO_x -päästöjen kertymiseen. 100 %:n
skaalauksella ajettaessa urearuiskutus päästiin aloittamaan jo minuutin kuluttua
käynnistyksestä, kun taas pienemmällä skaalauksella lähtölämpötila on mata-
lampi ja lämpötilannousu hitaampaa, joten ruiskutus alkoi vasta kahden minuu-
tin kohdalla.



KUVA 28. Kuuma-NRTC-syklin päästöjen ja lämpötilojen vertailu vääntömo-
menttiskaalauksilla 80 % ja 100 %

Myöhemmin aloitettu ruiskutus ja matalampi lämpötila aiheuttavat sen, että 80
%:n skaalauksella NO_x -kertymä on kuuma-NRTC-syklin alussa huomattavasti
suurempi kuin 100 %:n skaalauksella. NH_3 -päästön osalta molemmat vääntö-
momenttiskaalaukset toimivat samankaltaisesti, eli syklin keskivaiheilla päästö

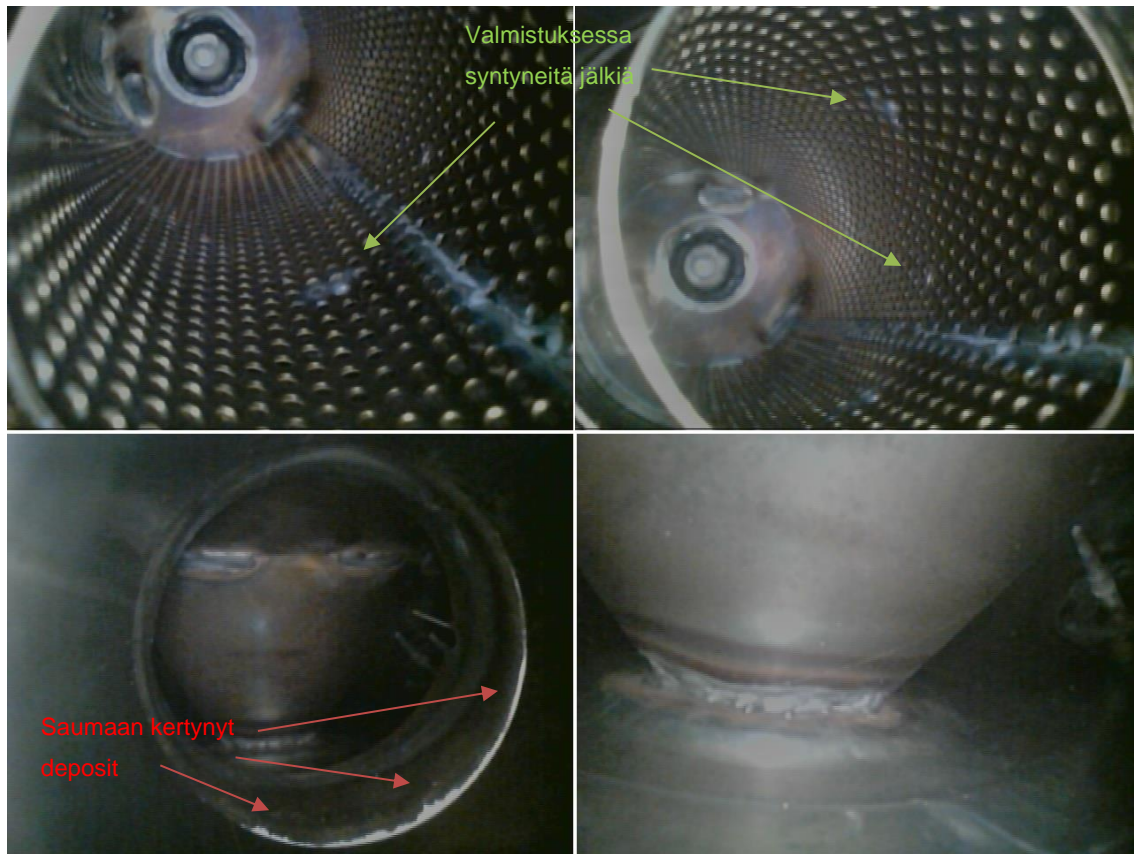
nousee melko korkealle, mutta tasaantuu loppua kohden hyvälle tasolle alle 5 ppm:ään kuten kuvasta 28 nähdään.

6.5.6 Deposit-tarkastelu NRTC-syklien jälkeen

Kuten mittaussuunnitelmassa mainittiin, deposit-tarkastelu on olennainen osa urearuiskutusjärjestelmän kalibrointia. Työn aikataulu ei kuitenkaan mahdollistanut ruiskutusrajojen hakemista putkeen syntyvien sakkautumien osalta.

Asiaa päätettiin lähestyä siten, että edellä ajettujen useiden peräkkäisten NRTC-syklien jälkeen putki avattiin mikserin ja SCR:n välistä, jotta nähtiin, onko mikseriin, väliputkeen tai SCR:n sisääntuloon syntynyt sakkautumia. 20 minuutin mittaisia NRTC-syklejä oli ajettu ennen putken avaamista yhteensä noin 15 kertaa eri ruiskutuskarttaversioilla, eikä moottoria ollut käytetty tänä aikana erikseen kovalla kuormituksella.

Kuvasta 29 nähdään, että mikserin reikäputki ja SCR:n sisääntulo ovat puhtaat. Väliputkessa olevaan saumaan ureaa on sakkautunut hieman, mikä näkyy kuvassa valkoisena.



KUVA 29. Deposit-tarkastelu NRTC-syklien jälkeen. Ylhäällä kuvat mikserin reikäputkesta, alvasemmalla väliputki ja SCR:n sisääntulo ja alaoikealla SCR:n sisääntulon pohjapinta

6.5.7 NRTC-syklin ajaminen suunnitelmien mukaisella SCR-katalysaattorilla

Mittausten loppuvaiheessa oikea Common Platform -järjestelmään suunniteltu SCR saapui toimittajalta ja sitä päästiin testaamaan. Tähän saakka testeissä käytetty SCR oli siis halkaisijaltaan tuuman pienempi ja alun perin EU Stage IIIB -päästöluokkaan tarkoitettu järjestelmästä.

Oikean SCR:n suurempi tilavuus tarkoittaa sitä, että SV-arvot ovat pienempiä ajon aikana. Siten liikutaan eri kohdassa ruiskutuskarttaa eivätkä ruiskutusmäärät vastaa täysin pienemällä SCR:llä ajettuja. Tästä huolimatta uudella SCR:llä ajettiin NRTC-sykli käyttäen suoraan ruiskutuskarttaa 4, jolla pienempi SCR

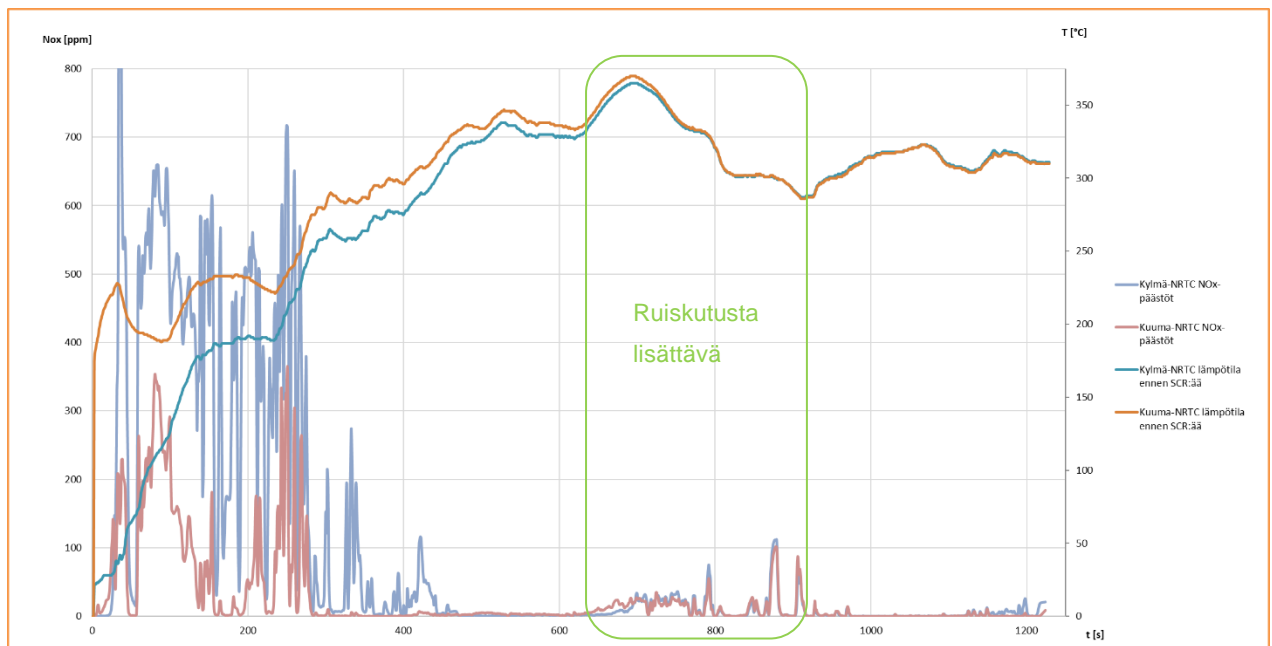
toimi parhaiten. Sykli ajettiin 100 %:n vääntömomenttiskaalauksella ja edellisenä päivänä ajettiin kaksi peräkkäistä valmistelevaa sykliä, minkä jälkeen moottori oli sammuksissa yön yli.

Taulukossa 14 on nähtävillä tulokset, jotka ovat huomattavasti paremmat kuin pienemällä SCR:llä ajetun 100 %:n NRTC-syklin tulokset (vrt. taulukko 13). Ilman ruiskutuskartan muokkaustakin painotettu NO_x-päästö on jo lähellä Stage IV -luokan raja-arvoa 0,4 g/kWh. Merkille pantavaa on myös olematon NH₃-päästö aiempaan verrattuna.

TAULUKKO 14. Oikealla SCR:llä ajetun kylmä-kuuma-NRTC-syklin tulokset 100 %:n vääntömomenttiskaalauksella

	Painotuskerroin	Tehty työ [kWh]	Nox kertymä [g]	NO _x [g/kWh]	NH ₃ -päästö keskiarvo [ppm]
Kylmä-NRTC 100 %	0,1	12,18	17,39	1,43	0,13
Kuuma-NRTC 100 %	0,9	12,26	5,25	0,43	0,31
Painotettu NRTC 100 %				0,53	0,29

Kuvassa 30 näkyy NO_x-päästöjen määrä sekä pakokaasun lämpötila ennen SCR:ää oikealla SCR:llä ajetusta NRTC-syklistä. NH₃-päästön määrä oli koko syklin ajan alle 1 ppm, joten sitä ei kuvaan piirretty. Kuvaan on merkitty alue, joissa havaittiin tarvetta lisätä urearuiskutusta. Käytännössä ruiskutusta lisättiin SCR:n lämpötilasta 300 °C ylöspäin ja tuloksena on liitteenä 3 oleva ruiskutus-kartta 5.



KUVA 30. Oikealla SCR:llä ajatun NRTC-syklin NO_x-päästöt sekä pakokaasun lämpötila ennen SCR:ää erikseen kylmän ja kuumen syklin ajalta

Ruiskutuskartalla 5 ei enää ehditty ajaa kylmä-kuuma NRTC-sykliä, jolla olisi nähty muutosten todellinen vaikutus. Moottorilla kuitenkin ajettiin kuumalla alueella muutosten jälkeen ja silmämääräisesti NO_x-alenemat paranivat.

6.6 Käytönaikaisten vikatilanteiden simulointi

6.6.1 MAF-, NO_x- tai lämpötila-anturin rikkoontuminen

Eri antureiden rikkoontumista simuloitiin irrottamalla anturin pistoke GEN3-järjestelmän normaalin toiminnan aikana. Moottori ajettiin tasaiseen kuormituspisteeseen, jossa urean ruiskutusmäärä ja pakokaasun lämpötila olivat tasaantuneet, jotta signaalien seuraaminen olisi helppoa.

Taulukkoon 15 on kerätty tulokset vikojen simuloinnista. GEN3-järjestelmän reaktiot olivat johdonmukaisia ja toivottuja, lukuun ottamatta alavirran lämpötilatunnistinta, jonka irrottaminen ei vaikuttanut mihinkään.

TAULUKKO 15. Antureiden rikkoutumisen simuloinnin tulokset

Vika	Urearuiskutus pysähtyy	Paine vapautuu urealinjasta	Urearuiskutus jatkuu automaattisesti vian korjaututtua	Erityishuomioita
MAF-anturi irrotettu	kyllä	kyllä	kyllä	
Ylävirran Nox-anturi irrotettu	kyllä	ei	kyllä	
Alavirran Nox-anturi irrotettu	kyllä	kyllä	kyllä	
Ylävirran lämpötila-anturi irrotettu	kyllä	kyllä	kyllä	Molemmat NOx-anturit sammuvat
Alavirran lämpötila-anturi irrotettu	ei	ei	ei	

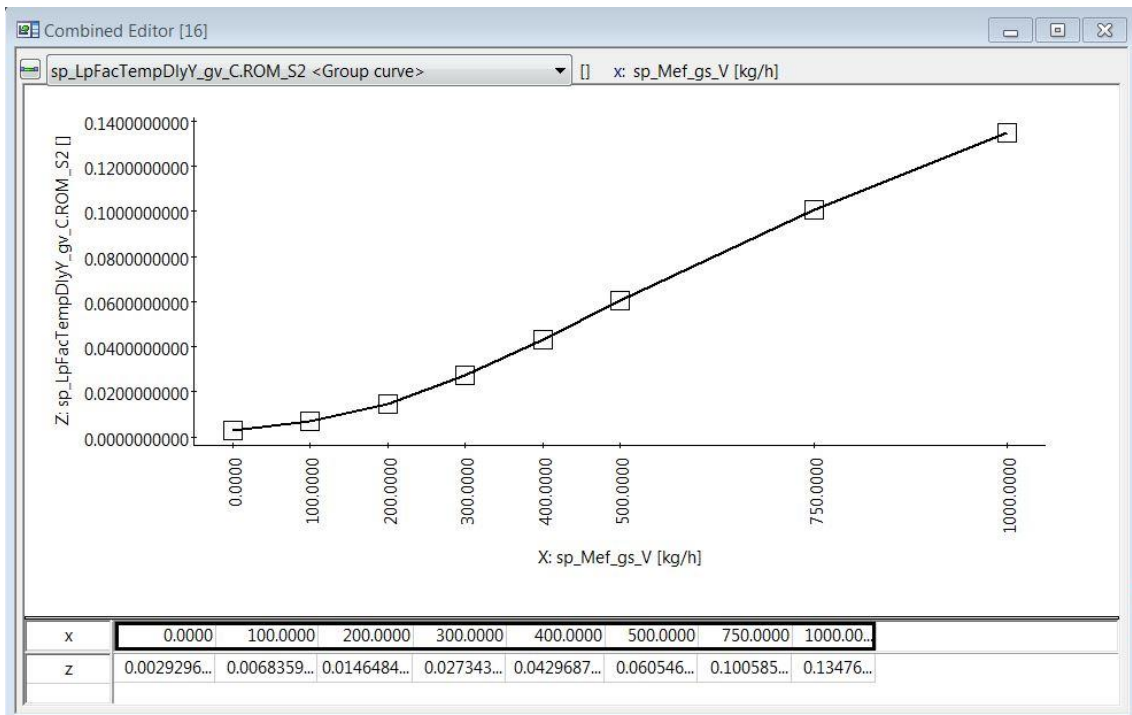
Syytä alettiin etsiä siihen, miksi alavirran lämpötila-anturin irrottaminen ei vaikuttanut edes kyseiseen signaaliin, joka jatkui suoraviivaisena, vaikka pistoke oli irti. Syyksi paljastui ohjausyksikön käyttämä lämpötilamalli, joka oli laitettu oletusarvoisesti käyttämään ainoastaan ylävirran lämpötilatietoa, jonka perusteella laskettiin sekä SCR:n lämpötila ja SCR:n alavirran lämpötila pakokaasun mas-savirran mukaan määritellyn viiveen avulla.

Käytännössä siis kaikki tähänastiset testit oli ajettu pelkän ylävirran lämpötila-anturin signaalin perusteella. Pelkän ylävirran lämpötilatiedon käyttöä tukee myös GEN3-järjestelmän ohjausyksikölle määritelty ei muokattavissa oleva vikatilannetaulukko, jossa reaktioksi alavirran lämpötilatiedon virheellisyyteen on määritelty *proceed*, eli jatka. Kyseinen vikatilannetaulukko on esitetty liitteenä 4 ja siitä voi nähdä miten *catout_temp*-suureeseen liittyvät reaktiot on määritelty.

GEN3-järjestelmän käyttämää anturikohtaista lämpötilamallia sen sijaan voi muokata, eli halutessaan alavirran lämpötilan saa ylävirran lämpötilan tapaan suoraan mitatusta signaalista ilman viivettä. Laskennallinen SCR:n lämpötila, jota käytetään ruiskutuksen perustana, voidaan määritellä molempien lämpötilasignaalien mukaan niiden keskinäistä painotusta muuttamalla.

Lämpötilamallin määritystä on havainnollistettu kuvassa 31. Käytettävissä on 6 lämpötilamallia (0 - 5), joille määritetään erikseen painotuskerroin, jonka mukaan mallista ulostuleva lämpötila saadaan kaavalla 1.

Mikäli moottorin kuormituspiste on tasainen, kaikki kolme lämpötilaa tasaantuvat samaksi. Vaihtelevassa ajossa eroja syntyy, koska alavirran lämpötilalle ja SCR:n lämpötilalle on määritetty viive kuvan 32 mukaisella käyrällä, joka ottaa huomioon hetkellisen pakokaasun massavirran. Viivekertoimen kasvaminen tarkoittaa sitä, että lämpötila muuttuu enemmän aikayksikössä. Lämpötilamalleihin liittyvän kokonaisuuden määrittelyt tulee tehdä tietysti järjestelmän perustietojen määrittelyjen aikana (kohta 6.5.2), mutta tässä työssä asiat tulivat vastaan testien loppuvaiheessa.



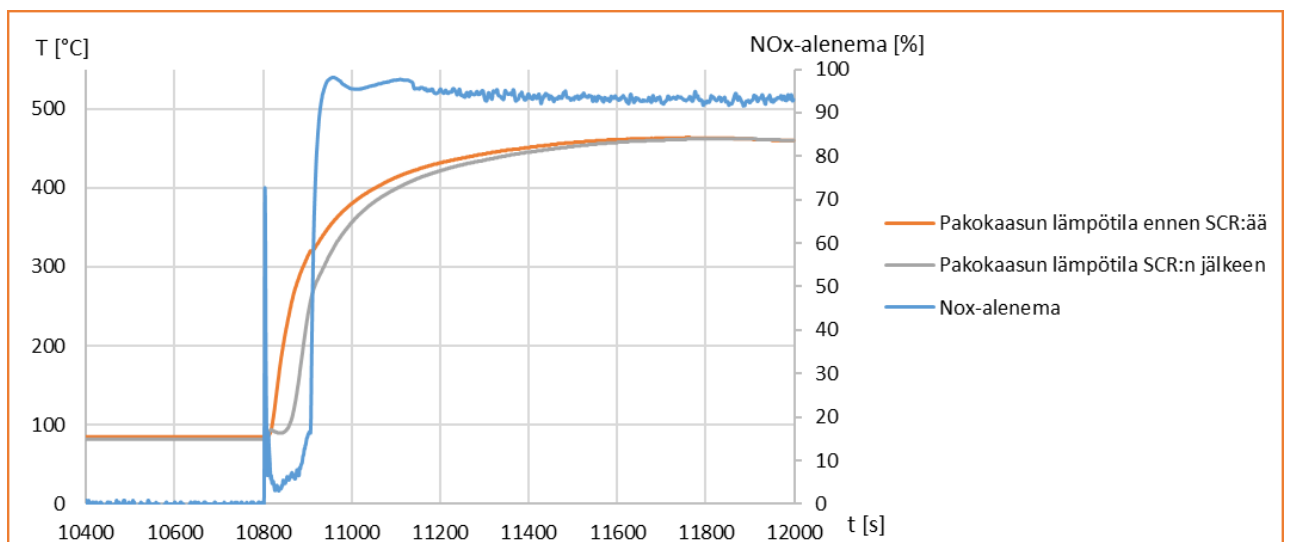
KUVA 32. Pakokaasun massavirran huomioiva viivekäyrä, jonka perusteella lämpötila muuttuu sitä nopeammin, mitä suurempi on pakokaasun massavirta

6.6.2 SCR-katalyyttikennon HC-myrkytys

SCR-katalyyttikennon HC-myrkytysherkkyttä päästiin simuloimaan oikealla SCR:llä, joka saapui testien loppuvaiheessa. Hapetuskatalysaattori ei ollut paikallaan tänäkään testin aikana. Mittaussuunnitelman mukaisesti luotiin testiohjelma, jossa moottori ja pakokaasun jälkikäsitteilyjärjestelmä ajettiin ensin normaaliin käyttölämpötilaan ja tämän jälkeen moottori kävi tyhjäkäyntiä 3 tuntia. Tyhjäkäyntijakson jälkeen moottorin kierrokset nostettiin 1 500 rpm:ään ja

vääntömomentti maksimiin 20 minuutin ajaksi 15 sekunnin nousurampilla. Urea-ruiskutusjärjestelmä toimi koko ajan normaalisti, eli se alkoi ruiskuttaa ureaa heti, kun lämpötila sen salli.

Testin ajan seurattiin reaaliaikaisesti SCR:n jälkeisen k-tyyppin lämpötila-anturin signaalia mahdollisten lämpötilapiikkien havaitsemiseksi ja kaikki arvot tallentui-
vat myös tiedonkeruulle. Kuvassa 33 on tiedonkeruulta otettu näyte testin loppuvaiheesta, jolloin kuormitus nostettiin tyhjäkäynniltä maksimiin. SCR:n jälkeinen lämpötila nousi tasaisesti ja yhdensuuntaisesti ennen SCR:ää olleen lämpötilan kanssa, eikä signaalissa esiintynyt piikkejä, jotka kertoisivat hiilivetyjen nopeasta hapettumisesta SCR-katalysaattorissa. Myös NO_x-alenemat kehittyivät nopeasti hyvälle tasolle yli 90 %:n heti kun urearuiskutus alkoi.



KUVA 33. Pakokaasun lämpötila ennen ja jälkeen SCR:n sekä NO_x-antureiden signaalien perusteella laskettu NO_x-alenema testin loppuvaiheen ajalta

6.7 Ureatankin lämmitysjärjestelmän parametrien määrittely

Continental GEN3-järjestelmällä on kolme eri tapaa ohjata tankin lämmitystä, jotka ovat

- automaatti
- puoliautomaatti
- orja.

Automaatti- ja puoliautomaattitilassa GEN3-järjestelmä laskee ja ohjaa itse lämmityksen tarpeen, ja niiden ero on se, että puoliautomaatilla lämmityksen vapautuskäsky tulee ulkoiselta ohjausyksiköltä. Orja-tilassa lämmityksen ohjaus tulee kokonaan ulkoiselta ohjausyksiköltä ja GEN3-järjestelmä toteuttaa vastaanottamansa käskyt. Retrofit-käyttöön valinta on ehdottomasti automaattitila, koska järjestelmän täytyy toimia itsenäisesti. (16.)

Lämpötilatiedot, joita järjestelmä käyttää lämmityksen ohjaukseen, voivat tulla seuraavista lähteistä:

- urean lämpötila pumppuun integroidulta tunnistimelta
- ohjausyksikön (piirilevyn) lämpötilatunnistimelta
- ympäristön lämpötila, mikäli on saatavissa CAN-väylästä tai erilliseltä tunnistimelta
- urean lämpötila erilliseltä tankkiin asennetulta lämpötilatunnistimelta.

Kun halutaan päästä pienellä vaivalla ilman uusia tunnistimia ja yhdistämistä ajoneuvon tietojärjestelmään, käyttöön jäävät edellä luetelluista kaksi ensimmäistä.

Kuvassa 34 on näytetty, miten ohjaavat lämpötilasignaali-lähteet ja lämpötilarajat asetetaan. Lämpötilasignaalin lähde valitaan kolmeen kohtaan, eli mitä signaalia katsotaan käynnistysvaiheessa tai normaalin käytön aikana ja mistä mitataan suurin sallittu lämpötila. Tässä tapauksessa ohjaavaksi lämpötilaksi asetettiin pumppuun integroidun tunnistimen mittaama urean lämpötila.

Jäähdytysnesteventtiilin ohjaus on jaettu kolmeen eri tilaan, jotka ovat

- EHS0 = off
- EHS2 = lämmitys
- EHS1 = sulatus.

Kuvassa 34 on näytetty eri rajalämpötilat yllä lueteltujen ohjaustilojen välillä niin käynnistysten kuin normaalin käytön osalta. Rajalämpötiloja voi muokata kohteen mukaan, mutta oletuksena olevat rajat on valittu järkevästi urean jäätymislämpötilan $-11,5\text{ °C}$:n mukaisesti (7, s. 3).

Experiment: >G3L2_Cust_EML_offroadretrofit< Hardware: >Workspace< - [Calibration Window [171]]

Experiment Edit View Variables Measurement Hardware Dataset Components Instrument Window ?

XCP1:GEN_G3L2_E_E_0 WIP RP WP: GEN_G3L2_E_E_00_09_00_B_PRO_RETR_A_A28_24V_DS003_2 Diff: 78203 RP: Upload_S2

CoolantTempHighRestartExtHeating.ROM_S7	100		
CoolantTempHighStopExtHeating.ROM_S7	120		
CoolantTempLowRestartExtHeating.ROM_S7	35		
CoolantTempLowStopExtHeating.ROM_S7	30.0		
EHS1LowerTemp.ROM_S7	-6.0	Lämpötilaraja käynnistyksen yhteydessä, jolloin siirrytään suoraan sulatus-tilaan	
EHS1UpperTemp.ROM_S7	-10.0	Lämpötilaraja normaalin käytön aikana sulatustilasta lämmitystilaan siirtymiselle	
CoolantTempProtectionUsed.ROM_S7	Prot_Deactivated		[enum]
EHS2LowerTemp.ROM_S7	10.0	Lämpötilaraja normaalin käytön aikana off-tilasta lämmitystilaan siirtymiselle	
EHS2UpperTemp.ROM_S7	15.0	Lämpötilaraja normaalin käytön aikana lämmitystilasta off-tilaan siirtymiselle	
EHS_MAXTEMP.ROM_S7	30.0	Lämpötilaraja normaalin käytön aikana, jolloin off-tilaan siirrytään joka tapauksessa	
ExternalHeatingMode.ROM_S7	HEATING_MODE_AUTO		[enum]
ExtHeaterStartDelay.ROM_S7	3		[s]
ExtHeatingPinConfig.ROM_S7	12		
ExtHeatingStrategyMaxTempConfig.ROM_S7	1	Mitatun maksimilämpötilan lähde: 1 = urean lämpötila, 2 = ohjauksyksikön lämpötila	[enum]
ExtHeatingStrategyTemp1Config.ROM_S7	1	Käynnistyshetkellä mitatun lämpötilan lähde: 1 = urean lämpötila, 2 = ohjauksyksikön lämpötila	[enum]
ExtHeatingStrategyTemp2Config.ROM_S7	1	Mitatun lämpötilan lähde käytön aikana: 1 = urean lämpötila, 2 = ohjauksyksikön lämpötila	[enum]
ExtMaxTempReplaceValue.ROM_S7	30.0		[k]
ExtTemp1ReplaceValue.ROM_S7	20.0		[k]
ExtTemp2ReplaceValue.ROM_S7	20.0		[k]
LineHeaterStartDelay.ROM_S7	250		[s]
MinTimeInEHS2.ROM_S7	65		[s]
s16FlushCoolantHighThreshold.ROM_S7	39.0		[k]
s16FlushCoolantLowThreshold.ROM_S7	20.0		[k]
u32TimeToFlushCoolant.ROM_S7	30.0		[s]

SIMULATION | MAIN | SCR | IO_1 | IO_2 | DOSE1 | TEMP_MODEL | NOX_Model | Spec_emission | TANK | OBD | DIAG

Measure Window [81]

g_s16AmbientTempFromCAN	0	[k]
g_s16PCB_Temp	30.0	[k]
g_s16UreaTemperature	21.3	[k]

KUVA 34. Jäähdytysnestettä käyttävän ureatankin lämmitysjärjestelmän määrittely

7 TULOSTEN ANALYSOINTI

7.1 Common Platform -järjestelmä

Common Platform -päästöjen jälkikäsitteilyjärjestelmän komponenttien toimintaa ja lähtötasoa mittausten perusteella analysoitaessa suurin kysymysmerkki on hapetuskatalysaattorin toiminta ja sen vaikutus muihin jälkikäsitteilykomponentteihin. Noella ladatun DPF:n regeneroinnin yhteydessä SCR:n kannalta liikaa typpidioksidia tuottava DOC oli paikallaan.

NO₂-pohjaiseen DPF:n regenerointiin suurella typpidioksidipitoisuudella on positiivinen vaikutus. Nyt regenerointi alkoi selvästi 280 °C:n kohdalla. Pakokaasun keskimääräinen lämpötila ennen DPF:ää 100 %:n kylmä-NRTC-syklin ajalta oli 300 °C ja 100 %:n kuumen-NRTC-syklin ajalta 312 °C (ajettu ilman hapetuskatalysaattoria), joten näitä lukemia vertailemalla DPF:n regeneroituminen ei ole ongelma normaalin käytön aikana.

Kun järjestelmään löytyy myöhemmin ominaisuuksiltaan sopiva hapetuskatalysaattori, täytyy DPF:n regeneroitumisen arviointi tehdä uudelleen. NO₂-pitoisuus tulee olemaan pienempi ja DOC myös varastoi itseensä lämpöä, jolloin DPF:n keskimääräiset lämpötilat ajon aikana laskevat.

Common Platform -järjestelmään kuuluvaan SCR:ään liittyvät arvioinnit jäivät pintapuolisiksi, koska suurin osa testeistä ajettiin väärällä SCR-katalysaattorilla. Mittausten loppuvaiheessa saatu oikea SCR kuitenkin osoitti sen, että potentiaalia Stage IV -päästöluokan NO_x-raja-arvon 0,4 g/kWh alittamiseen on. Kyseisen SCR:n soveltuvuus eri tehoisiin moottoreihin on kysymysmerkki, mutta pienemällä SCR:llä ajettujen 80 %:n ja 100 %:n NRTC-sykliden perusteella pienempi teho lisää NO_x-päästöjä, koska ruiskutus päästään aloittamaan myöhemmin ja SCR:n lämpötila on kauttaaltaan matalampi, vaikka raakapäästöt ovatkin pienemmät.

Todennäköisesti hyvin pienellä ruiskutuskartan muokkaamisella ja NO₂-tuoton kannalta sopivasti mitoitettulla DOCilla saadaan NO_x-päästöjen kertymästä pois huomattava määrä NRTC-sykliden alkuvaiheessa, jolloin SCR-katalysaattori on

kylmä. Kuvassa 4 esitetty periaatekuva NO₂-osuuden vaikutuksesta saavutettaviin NO_x-aleneisiin näyttää kuinka suuri vaikutus typpidioksidilla ja sitä käyttävällä fast-SCR-reaktiolla on matalissa lämpötiloissa.

SCR:n HC-myrkyttymisen oireita ei tullut esille kolmen tunnin tyhjäkäyntijakson jälkeen, mikä on hyvä asia. Mikäli tyhjäkäynti, tai muuten matalalla lämpötilalla ajettava jakso, kestää moninkertaisen ajan, HC-myrkyttyminen lienee kuitenkin vakava uhka SCR-katalysaattorin kestoiälle.

Deposit-tarkasteluista voidaan sanoa alustavasti, että urean sekoitin ja ureasuutin toimivat hyvin yhdessä. Toistuneiden NRTC-sykliden jäljiltä mikserin ja SCR:n välisen putken saumaan oli sakkautunut hieman ureaa, mutta tämä saataneen hallintaan tarkemmalla deposit-tarkastelulla, jossa haetaan rajat ruiskutukselle sakkaumien syntymisen kannalta.

7.2 Continental GEN3 -järjestelmä

Mittausten perusteella Continental GEN3 -urearuiskutusjärjestelmä soveltuu hyvin retrofit-käyttöön. ECU Doser -tilassa tehty kalibrointi osoittaa, että järjestelmä pystyy toimimaan hyvin omien antureiden ja laskentamallinsa varassa ilman yhteyttä ajoneuvon tietojärjestelmiin.

Uuteen pakokaasujen jälkikäsitteilyjärjestelmään liittämisen yhteydessä tehtävät määritelmät on helppo tehdä eikä vaiheita ennen ajon aloittamista ole monta. Mahdollisuus tehdä reaaliaikaisia muutoksia esimerkiksi ruiskutuskarttaan tekee kalibrointityöstä jouhevaa ja palaute muutoksista tulee heti.

GEN3-järjestelmä osaa toimia vikatilanteissa oikein, eli mikäli tärkeitä anturisiignaaleja puuttuu, urearuiskutus loppuu. Järjestelmän toiminta palautuu nopeasti normaaliksi signaalien palatessa. Vikatilanteisiin reagointia ei voinut muuttaa, vaikka niihin liittyvä taulukko löytyikin. Laittevalmistajalta lienee saatavana halutun mukaiset vikatilannereaktiot, jos tarvetta niiden muuttamiseksi on.

GEN3-järjestelmän ohjausyksikön käyttämät lämpötilamallit SCR:n lämpötilasuureissa täytyy miettiä alustavasti jo järjestelmän suunnitteluvaiheessa. Kuten työssä tehdyissä mittauksissa havaittiin, pelkkä SCR:n ylävirran lämpötila-

anturi ja sen perusteella laskettu alavirran lämpötila ja SCR:n lämpötila riittävät, mutta tarvittaessa voidaan käyttää myös todellista alavirran lämpöanturin signaalia SCR:n lämpötilan laskentaan. Tällöin urearuiskutuksen määrää ohjaava SCR:n lämpötila saadaan laskettua tarkemmin hakemalla ylä- ja alavirran lämpötilojen painotuskerroin kohdalleen laboratorio-olosuhteissa.

Mikäli myös alavirran lämpötila-anturia käytetään SCR:n lämpötilan laskentaan, täytyy varmistaa, että siihen liittyvässä vikatilanteessa urearuiskutus loppuu. Mikäli SCR:n alavirran lämpötilatieto häviää, ja sitä käytetään laskentaan, nykyisellä vikatilannereaktiolla ruiskutus jatkuu, mutta laskennallinen SCR:n lämpötila menee täysin väärin, joten ruiskutuskartalla ei olla enää siellä missä halutaan. Alavirran lämpötila-anturin käyttäminen on myös kustannuskysymys, ilman sitä johtosarja kevenee ja itse anturin kustannus jää pois.

Continental GEN3 -järjestelmä tarjoaa myös hyvät ominaisuudet tankin lämmitysjärjestelmän hallintaan. Tankki, johon GEN3-yksikkö asennetaan, vaatii suunnitteluvaiheessa monien asioiden huomioonottoa. Toisaalta tankkiin integroitu yksikkö vähentää letkujen, johtojen ja erillisten tunnistimien määrää ja on tilankäytöllisesti järkevää.

8 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli luoda Common Platform -päästöjen jälkikäsittelytuotteelle toimiva lähtötaso off-road retrofit -sovelluksessa, liittää siihen Continental GEN3 -urearuiskutusjärjestelmä ja tehdä näistä muotoutuvan kokonaisjärjestelmän käyttöönotto ja kalibrointi laaditun mittaussuunnitelman mukaisesti. Tavoitteena oli, että työ toimisi hyvänä pohjana yrityksessä tehtävälle jatkokehitystyölle.

Työhön laadittu mittaussuunnitelma osoittautui hyväksi, ja mittaukset etenivät hyvin sen mukaisessa järjestyksessä. Varsinkin kun käytännön mittausten aikataulu kävi hieman tiukaksi, oli tärkeää olla hyvä suunnitelma, jottei aikaa kuluisi turhaan työhön.

Toimivan lähtötason saavuttamisen kannalta tulokset olivat kaksijakoiset: Uearuiskutusjärjestelmä toimii hyvin ja sen ominaisuudet riittävät off-road retrofit -käyttöön. Common Platform -järjestelmän komponenttien kehitystyötä on vielä tehtävä, jotta NOx-päästöt saadaan halutulle tasolle.

Continental GEN3 -urearuiskutusjärjestelmän kalibrointiin, käyttöönottoon ja asennukseen liittyvät asiat ja vaiheet käytiin työssä läpi tarkasti ja asioita pyrittiin havainnollistamaan siten, että kehitystyötä on helppo jatkaa yrityksessä työn perusteella. Vaikka suurin osa mittauksista ajettiin suunnitelmista poikenneella SCR-katalysaattorilla, se ei vaikuttanut GEN3-järjestelmän toimintaan liittyvien asioiden määrittelyssä.

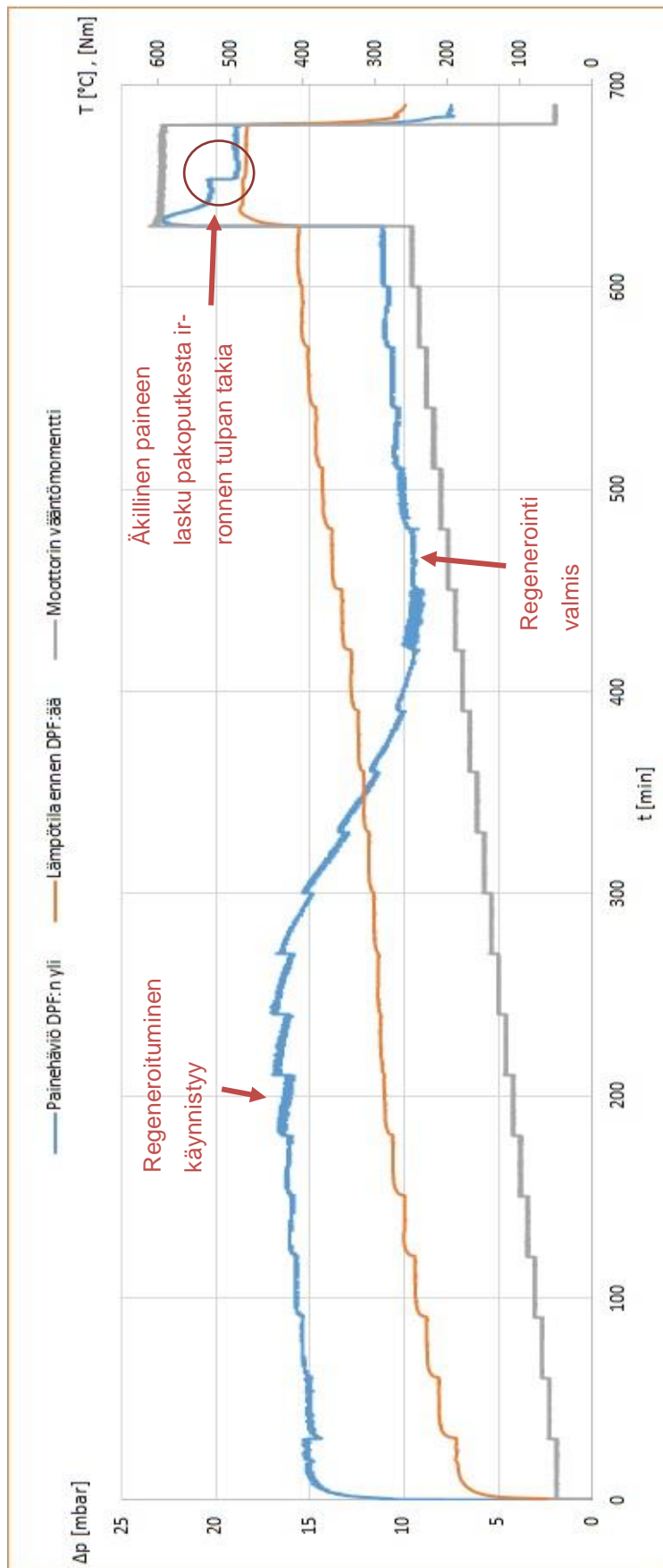
Valmiita asiakastuotteita ajatellen tekemistä on vielä jäljellä. Sovelluskohtaisten ureatankkien suunnittelu, Common Platform -järjestelmän katalyyttikennojen vertailu ja valinta, deposit-testaus ja GEN3-järjestelmän lopullinen kalibrointi asiakaskohteen vaatimusten mukaiseksi ovat lähitulevaisuuden tuotekehityskohteita, joille tämä työ antaa hyvän lähtökohdan.

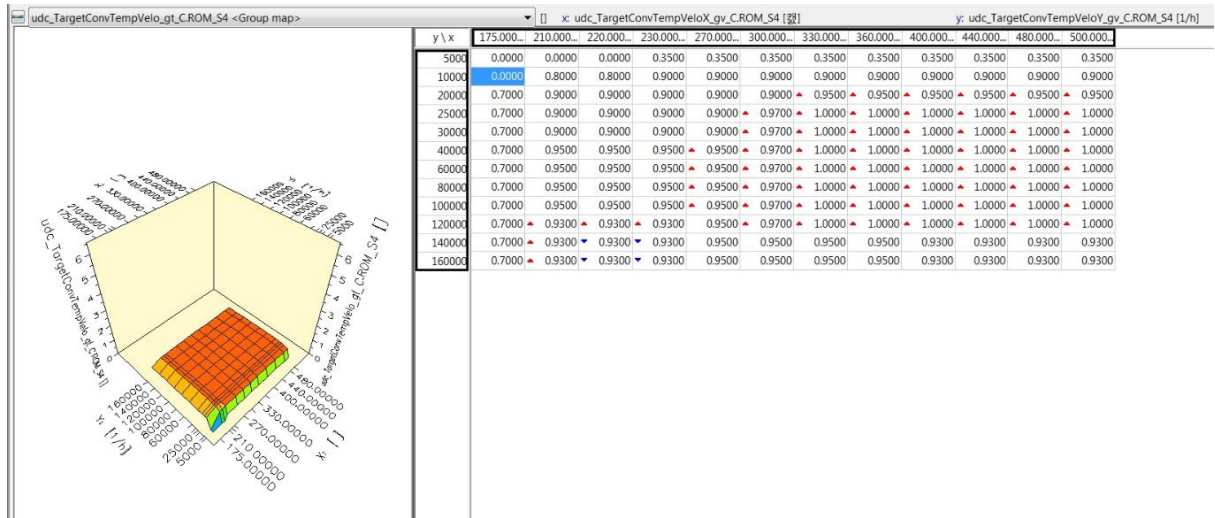
LÄHTEET

1. Off-road retrofits! With NoXBuster DPF + SCR systems. 2016. Proventia. Saatavissa: https://www.proventia.com/download/38/noxbuster_non-road/pdf. Hakupäivä 21.4.2017.
2. Proventia. Saatavissa: <https://www.proventia.com/>. Hakupäivä 21.4.2017.
3. DieselNet. Saatavissa: <https://www.dieselnets.com/>. Hakupäivä 9.12.2016.
4. IS/ISO 8178-4. 2007. Reciprocating internal combustion engines – exhaust emission measurement. Part 4: Steady-state test cycles for different engine applications. New Delhi: Bureau of Indian standards. Saatavissa: <https://law.resource.org/pub/in/bis/S13/is.iso.8178.4.2007.pdf>. Hakupäivä 19.12.2016.
5. Amberla, Arno 2017. Varapresidentti, teknologia, Proventia Emission Control Oy. Opinnäytetyöstä käydyt keskustelut ja saadut kommentit 2. katselmoinnin yhteydessä 11.4.2017.
6. Johnson Matthey. Saatavissa: <http://www.jmdpf.com/>. Hakupäivä 21.12.2016.
7. Safety Data Sheet. Product name Air1®. Conforms to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH), Annex II - United Kingdom (UK). Yara. Saatavissa: <http://www.adblueonline.co.uk/downloads/msds/air1.pdf>. Hakupäivä 22.12.2016.
8. Brück, Rolf 2012. High Efficient SCR for SCR only Applications for NRMM. Saatavissa: http://www.emitec.com/fileadmin/user_upload/Bibliothek/Vortraege/120911_SAE_HD_Goeteborg_2.pdf. Hakupäivä 12.12.2016.
9. Girard, James W. – Cavataio, Giovanni – Lambert, Christine K. 2007. The Influence of Ammonia Slip Catalysts on Ammonia, N₂O and NO_x Emissions for Diesel Engines. Teoksessa Diesel Exhaust Emission Control, 2007 SP-2080. Warrendale: SAE International. S. 427 - 431.

10. Gil, Elena, Sala 2013. Evaluation of Ammonia Slip Catalysts. Diplomityö. Göteborg: Chalmers University of Technology, Department of Chemical and Biological Engineering.
11. Girard, James W. – Montreuil, Clifford – Kim, Jeong – Cavataio, Giovanni – Lambert, Christine 2008. Technical Advantages of Vanadium SCR Systems for Diesel NO_x Control in Emerging Markets. Teknisen dokumentin esikatselu. Saatavissa: <http://papers.sae.org/2008-01-1029/>. Hakupäivä 9.4.2017.
12. Amberla, Arno 2015. Proventia Emission Control. NO_x-reduction at low exhaust gas temperatures. Saatu käyttöön Proventia Emission Control Oy:n teknologian varapresidentti Arno Amberlalta vuonna 2016.
13. Continental. 2016. Application Specifications. Urea Dosing System Gen III Installation Specifications & Operating instructions. Saatu käyttöön Proventia Emission Control Oy:ltä vuonna 2016.
14. Emitec. 2015. CAN Communication GEN_G3L2_E_E. Saatu käyttöön Proventia Emission Control Oy:ltä vuonna 2017.
15. Emitec. 2013. Watercooled-Injector-Desing-Specification. Saatu käyttöön Proventia Emission Control Oy:ltä vuonna 2017.
16. Guersing, Bernard 2017. Re: GEN3 urea dosing system. Sähköpostiviestiketju. Vastaanottaja: Lauri Moilanen. 1.3.2017 - 6.3.2017.

DPF:N PAINEHÄVIÖKÄYRÄ PASSIIVISESTA REGENEROINNISTA LIITE 1





CONTINENTAL GEN3 -JÄRJESTELMÄLLE MÄÄRITELLYT VIKATILANNEREAKTIOT

LIITE 4

ECU_FAULT_ACTION_TABLE_Q_SET_MAPROM_S1 <Fixed map(Text)>		[enum] x: ECU_FAULT_ACTION_TABLE_Q_SET_MAPROM_S1/x []	y: ECU_FAULT_ACTION_TABLE_Q_SET_MAPROM_S1/y []
y \ x	Not masked	Masked	
DIAG_LineHeater_CurrentTooLow	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_LineHeater_CurrentTooHigh	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_CatIn_Temp_OutOfRangeLow	FAULT_ACTION_PURGE	FAULT_ACTION_PURGE	
DIAG_CatIn_Temp_OutOfRangeHigh	FAULT_ACTION_PURGE	FAULT_ACTION_PURGE	
DIAG_CatIn_Temp_Low	FAULT_ACTION_PURGE	FAULT_ACTION_PURGE	
DIAG_CatIn_Temp_High	FAULT_ACTION_PURGE	FAULT_ACTION_PURGE	
DIAG_CatOut_Temp_OutOfRangeLow	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_CatOut_Temp_OutOfRangeHigh	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_CatOut_Temp_Low	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_CatOut_Temp_High	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_Maf_OutOfRangeLow	FAULT_ACTION_PURGE	FAULT_ACTION_PURGE	
DIAG_Maf_OutOfRangeHigh	FAULT_ACTION_PURGE	FAULT_ACTION_PURGE	
DIAG_Maf_Low	FAULT_ACTION_PURGE	FAULT_ACTION_PURGE	
DIAG_Maf_High	FAULT_ACTION_PURGE	FAULT_ACTION_PURGE	
DIAG_UreaLevel_Timeout	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_UreaLevel_Data_Error	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_UreaLevelInd_Low	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_UreaLevelError	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_UreaLevelInd_Empty	FAULT_ACTION_PURGE	FAULT_ACTION_PURGE	
DIAG_UreaTemp_Timeout	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_UreaTemp_Data_Error	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_UreaQuality_Timeout	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_UreaQuality_Data_Error	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_UreaQuality_TooHigh	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_UreaQuality_TooLow	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_LineHeater_Shorted_High	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_LineHeater_Shorted_Low	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_LineHeater_OpenLoad	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_NOx_In_Heater_ShortCircuit	FAULT_ACTION_PURGE	FAULT_ACTION_PURGE	
DIAG_NOx_In_Heater_OpenWire	FAULT_ACTION_PURGE	FAULT_ACTION_PURGE	
DIAG_NOx_In_NOx_ShortCircuit	FAULT_ACTION_PURGE	FAULT_ACTION_PURGE	
DIAG_NOx_In_NOx_OpenWire	FAULT_ACTION_PURGE	FAULT_ACTION_PURGE	
DIAG_NOx_In_O2_ShortCircuit	FAULT_ACTION_PURGE	FAULT_ACTION_PURGE	
DIAG_NOx_In_O2_OpenWire	FAULT_ACTION_PURGE	FAULT_ACTION_PURGE	
DIAG_NOx_Out_Heater_ShortCircuit	FAULT_ACTION_PURGE	FAULT_ACTION_PURGE	
DIAG_NOx_Out_Heater_OpenWire	FAULT_ACTION_PURGE	FAULT_ACTION_PURGE	
DIAG_NOx_Out_NOx_ShortCircuit	FAULT_ACTION_PURGE	FAULT_ACTION_PURGE	
DIAG_NOx_Out_NOx_OpenWire	FAULT_ACTION_PURGE	FAULT_ACTION_PURGE	
DIAG_NOx_Out_O2_ShortCircuit	FAULT_ACTION_PURGE	FAULT_ACTION_PURGE	
DIAG_NOx_Out_O2_OpenWire	FAULT_ACTION_PURGE	FAULT_ACTION_PURGE	
DIAG_Specific_Emission_MIL_th	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_Specific_Emission_TL_th	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_AmbientTemp_OutOfRangeLow	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_AmbientTemp_OutOfRangeHigh	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_AmbientTemp_Low	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_AmbientTemp_High	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_TorqueLimiter	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_CircuitBreaker	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_NOxInHeaterPlus	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_NOxInStatPlus	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_NOxInDynPlus	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_NOxOutHeaterPlus	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_NOxOutStatPlus	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_NOxOutDynPlus	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_TankTempStatPlus	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_TankTempDynPlus	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_CatInTempStatPlus	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_CatInTempDynPlus	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_CatOutTempStatPlus	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_CatOutTempDynPlus	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_SystemFree04	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_NoInTimeout	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	
DIAG_NoOutTimeout	FAULT_ACTION_PURGE	FAULT_ACTION_PURGE	
DIAG_SystemFree01	FAULT_ACTION_PROCEED	FAULT_ACTION_PROCEED	

