

Ollimatti Neuvonen

# Common rail -suuttimien kulumisen vaikutus polttoaineenkulutukseen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikan insinööri

Insinöörityö

16.5.2016

Tekijä(t) Otsikko  Sivumäärä Aika	Ollimatti Neuvonen Common rail -suuttimien kulumisen vaikutus polttoaineenkulutukseen 61 sivua + 3 liitettä 16.5.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikan insinööri
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotetekniikka
Ohjaaja(t)	Tekninen johtaja Michael Anderson, Helsingin Bussiliikenne Oy Projekti-insinööri Harri Miinin
<p>Insinööriyössä tutkittiin common rail -suuttimien kulumisen vaikutusta polttoaineenkulutukseen Helsingin Bussiliikenteen Volvon 8700LE -tyyppimerkkisissä linja-autoissa. Yrityksessä oli aikaisemmin havaittu, etteivät moottorin suuttimet kestä autoissa niiden koko elinikä. Työn tavoitteena oli selvittää, onko mahdollista vähentää polttoaineenkulutusta uusimalla suuttimet ennen niiden rikkoutumista sekä milloin uusiminen tulisi tehdä. Lisäksi etsittiin syitä suuttimien kulumiseen. Siksi tässä työssä käsitellään tarkasti common rail -polttoainejärjestelmän toimintaa.</p> <p>Tutkimuskohteiksi valittiin kolmekymmentäyksi linja-autoa, joista suuttimien kulumisen vaikutusta polttoaineenkulutukseen oli määrä selvittää. Työ aloitettiin uusimalla kahteen paljon ajettuun autoon kaikki ruiskutussuuttimet ja tutkimusta jatkettiin seuraamalla vaihdon vaikutusta polttoaineenkulutukseen. Näiden kahden auton kuluneita suuttimia tutkittiin Atoy Dieselhuollossa sekä Metropolia AMK:n materiaalitekniikan laboratoriossa sekä mitattiin polttoaineenkulutusta autoihin asennetulla tiedonkeruujärjestelmällä. Myös tutkimukseen osallistuneiden muiden autojen suuttimien uusimisen vaikutusta polttoaineenkulutukseen selvitettiin tiedonkeruujärjestelmään tallentuneiden aineistojen avulla.</p> <p>Työn tuloksena saatiin selville, että suuttimien kuluminen nosti polttoaineenkulutusta noin 2 l / 100 km. Autojen koko elinkaarenaikaista polttoaineenkulutusta olisi tulosten perusteella mahdollista laskea noin yksi prosentti. Tarkkaa kilometrimäärää sille, milloin suutin tai suuttimet autoihin olisi yleisesti syytä vaihtaa, tutkimuksen mukaan ei ole mahdollista määrittää, vaan ajankohdat ovat autokohtaisia. Kuitenkin selväksi tuli se, että autojen moottorit tarvitsevat keskimäärin kahdet vaihtosuuttimet elinaikanaan sekä että vaihdoille voidaan määrittää suuntaa antavat vaihtoajankohdat.</p> <p>Suuttimien kulumisen syyt saatiin selville tarkasti. Lisäksi havaittiin ensiasennussuuttimien ja myöhemmin vaihdettujen suuttimien kestoikien välillä suuria eroja. Työn tuloksena yritys sai yhden keinon lisää vähentää polttoaineenkulutusta sekä kehitysideoita suuttimien kestoian parantamiseksi linja-autoissaan. Tämä puolestaan helpottaa yrityksen pyrkimystä vähentää ympäristöpäästöjä.</p>	
Avainsanat	Common rail -suutin, polttoaineenkulutus, dieselmoottori, linja-auto

Author(s) Title Number of Pages Date	Ollimatti Neuvonen Effects of the Wear of Common Rail Injectors on Fuel Consumption 61 pages + 3 appendices 16 May 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive Engineering
Specialisation option	Automotive Design Engineering
Instructor(s)	Michael Anderson, Technical Director, Helsingin Bussiliikenne Oy Harri Miinin, Project Engineer
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to study how the wear of common rail injectors affect fuel consumption in Volvo 8700LE buses. This thesis was commissioned by Helsingin Bussiliikenne Oy. The company has noticed that one set of injectors does not last the whole life cycle of the buses. The main objective was to find out if it is possible to save fuel by renewing injectors before they break down and when they should be replaced. In addition, the reasons that cause the breakdown of the injectors were studied. Therefore, the operation of the common rail fuel system was studied closely.</p> <p>31 buses were chosen as target for this thesis. Firstly, all the injectors of the engine were replaced in two high mileage buses. Secondly, the study was continued by following the fuel consumption of these two buses. The worn injectors of these two buses were analyzed in Atoy Dieselhuolto and in the laboratory of Materials Technology of Helsinki Metropolia University of Applied Sciences. The fuel consumption of the buses was measured by using the vehicles' own surveillance system. Also the data stored in the surveillance system of the other 29 buses participating in the study were examined in order to find out how the replacement of the injectors affect fuel consumption.</p> <p>The test results indicate that a worn injector increased fuel consumption with about 2 l / 100 km. Also based on the results it was found out that it would be possible to reduce the fuel consumption of the buses during their whole lifecycle with about one percent. It is not possible to define the exact mileage when the injectors should be replaced, but the wear of the injectors has to be checked in each bus separately. However, it became clear that buses need two sets of injectors during their life cycle, and it is possible to define indicative change dates for replacing the injectors.</p> <p>The reasons that lead to the wear and breakdown of the injectors were found out in this study. In addition, big differences between the lifetimes of first installation injectors and exchanged injectors were found. As a result of the study, the company received one more way to reduce fuel consumption and development ideas for how to improve the lifetime of injectors in their buses. This, in turn, facilitates the company's effort to reduce environmental emissions.</p>	
Keywords	Common rail injector, fuel consumption, diesel engine, bus

# Sisällys

1	Johdanto	1
2	Helsingin Bussiliikenne Oy	2
3	Tutkimuksen toteutustapa	3
3.1	Tutkimusasetelma	3
3.2	Tutkimukseen osallistuvien autojen valinta	4
3.3	Mittausten toteuttaminen	4
3.4	Mittauslaitteisto	5
4	Tutkimuksen kohdeauto	6
4.1	Alusta B7RLE	7
4.2	Kori 8700LE	7
4.3	Moottori D7E290	7
4.3.1	Yleistä	7
4.3.2	Moottorin rakenne	8
4.3.3	Tekniset arvot	9
4.3.4	Euro-päästöluokitus	9
5	Common rail -polttoainejärjestelmän toiminta	10
5.1	Dieselmoottorin yleinen toimintaperiaate	11
5.2	Seoksen muodostus	11
5.2.1	Seoksen ilmamääräkerroin	11
5.2.2	Polttoaineen ruiskutuksen parametrit	12
5.2.3	Ruiskutustapahtuman kulku kohdeauton common rail -järjestelmässä	14
5.2.4	Ruiskutustoiminnot	15
6	Ruiskutusjärjestelmän komponentit	17
6.1	Matalapainepiirin komponentit	18
6.1.1	Suodattimet ja vedenerotin	18
6.1.2	Siirtopumppu	18
6.1.3	Määränsäätöventtiili	18
6.2	Korkeapainepiirin komponentit	19
6.2.1	Jakoputki	19
6.2.2	Korkeapainepumppu Bosch PF45	19

6.3	Suuttimet	20
6.3.1	Rakenne	21
6.3.2	Suutinkärki	21
6.3.3	Suuttimen toiminta	23
7	Suuttimien kulumisen tutkiminen	25
7.1	Suuttimien mittaukset	25
7.1.1	Auton 1 suuttimien mittaustulokset	26
7.1.2	Auton 2 suuttimien mittaustulokset	27
7.2	Suuttimien kunnostus	29
7.3	Auton 1 suuttimien kunto	31
7.3.1	Runko	31
7.3.2	Venttiili	31
7.3.3	Suutinkärki	32
7.4	Auton 2 suuttimien kunto	34
7.4.1	Runko	34
7.4.2	Venttiili	35
7.4.3	Suutinkärki	35
7.4.4	Kuula	37
7.5	Yhteenveto suuttimien kunnosta	37
7.5.1	Suuttimien kulumisen vaikutus moottorin toimintaan	37
7.5.2	Kulumiseen johtavat tekijät	39
7.6	Suuttimien kestoikä	41
7.7	Pohdintaa suuttimien kestoian parantamiseksi	43
8	Kulutusmittaukset	44
8.1	Kulutusmittausten tulokset	45
8.1.1	Auto 1	45
8.1.2	Auto 2	46
8.1.3	Auto 5	47
8.1.4	Auto 6	47
8.1.5	Auto 7	48
8.1.6	Auto 8	49
8.1.7	auto 9	50
8.1.8	Auto 12	50
8.1.9	Auto 13	51
8.1.10	Auto 17	52
8.1.11	Auto 20	52

8.1.12	Auto 21	53
8.1.13	Auto 23	54
8.1.14	Auto 26	55
8.1.15	Auto 28	55
8.1.16	Auto 29	56
8.2	Yhteenveto kulutusmittauksista	57
8.2.1	Suuttimien vaihtoajankohdat	57
8.2.2	Suuttimien vaihdosta saavutettavat hyödyt	58
8.2.3	Virhetarkastelu	59
9	Yhteenveto ja pohdinta	59
	Lähteet	61
	Liitteet	
	Liite 1. Suuttimien koepenkkipöytämittausten raportti	
	Liite 2. Lisäkuvia kuluneista suuttimista	
	Liite 3. Lisäkuvia kulutusmittauksista	

## 1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä selvitetään dieselmoottorien common rail -suuttimien kulumisen vaikutusta linja-auton polttoaineenkulutukseen. Ruiskutussuuttimet ovat erittäin olennainen osa nykyaikaisen dieselmoottorin toimintaa. Suuttimet eivät kuitenkaan kestä koko linja-auton elinikää, vaan ne kuluvat ja lopulta rikkoutuvat. Kulumisen on oletettu nostavan auton polttoaineenkulutusta. Tämän työn tärkein tavoite onkin selvittää, onko mahdollista vähentää polttoaineenkulutusta vaihtamalla suuttimet ennakoitusti ennen niiden rikkoutumista. Lisäksi on tarkoitus saada selville, mikä aiheuttaa suuttimen rikkoutumisen. Työn on tilannut Helsingin Bussiliikenne Oy. Tutkimukseen kuuluvat mittaukset tehdään käyttämällä Helsingin Bussiliikenteen kalustoa, Atoy Dieselhuollon mittalaitteistoa ja osaamista sekä Metropolia ammattikorkeakoulun materiaalitekniikan laboratoriota.

Tutkimuksen kohdeautona on Volvo 8700LE varustettuna Volvon D7E290-moottorilla. Auto on kaupunkiliikenteeseen tarkoitettu Volvon malli. Moottorin polttoaineenruiskutusjärjestelmä on tyypiltään suoraruiskutteinen common rail eli yhteispaineruiskutus. Helsingin Bussiliikenteen autojen käyttöikä on noin miljoona kilometriä. Yrityksessä on huomattu, että moottorin ensiasennussuuttimet eivät kestä koko auton elinikää vaan ne on uusittava vähintään kerran. Suuttimien uusiminen halutaan jatkossa ajoittaa autoissa niin, että nekin ovat elinikänsä päässä auton mennessä poistoon. Tutkimuksessa kahden valikoituun kohdeautoon uusitaan kaikki ruiskutussuuttimet ja seurataan vaihdon vaikutusta polttoaineenkulutukseen. Vanhoille suuttimille tehdään mittauksia ja kuluneita osia tutkitaan tarkemmin, jotta saataisiin selville, miksi ne ovat kuluneet. Tutkimuksessa mukana olevien muiden autojen suuttimien uusimisien vaikutusta polttoaineenkulutukseen selvitetään yrityksen tiedonkeruujärjestelmistä saatujen aineistojen avulla.

Jokainen kuljetusyritys kamppailee tällä hetkellä kohoavien polttoainekustannusten kanssa. Yritykset koettavat tehdä kaikkensa vähentääkseen polttoaineenkulutusta, koska polttoainekustannukset ovat niille palkkojen jälkeen toiseksi suurin kuluerä. Kulutuksen vähentämisellä saaduilla taloudellisilla säästöillä pystytään parantamaan yrityksen kilpailukykyä jatkuvasti tiukentuvilla markkinoilla. Fossiilisten polttoaineiden käyttö kuormittaa maapalloa monella tapaa, esimerkiksi huonontaa ilmanlaatua. Helsingin Bussiliikenne haluaa olla mukana pienentämässä ympäristöpäästöjä. Siksi sille on erityisen tärkeää sen toimiessa kaupunkiliikenteessä, etteivät yrityksen autojen tekniset puutteet tuota turhaan ylimääräisiä päästöjä.

## 2 Helsingin Bussiliikenne Oy

Tämän työn tilaajana toimi Helsingin Bussiliikenne Oy. Yhtiö on Koiviston auto -konsernin omistama ja lukeutuu pääkaupunkiseudun suurimpiin joukkoliikenteen tuottajiin. Yhtiön juuret juontavat vuoteen 1955, jolloin Suomen Turistiauto Oy (STA) aloitti paikallisliikenteen Helsingissä. Myöhemmin STA siirtyi Helsinki-Maaseutu Liikenne Oy:n (HML) omistukseen, mutta sen jouduttua taloudellisiin vaikeuksiin Helsingin kaupunki osti yhtiön osakekannan. Vuoden 2015 lopulla Helsingin kaupunki möi yhtiön Koiviston Auto -konserniin kuuluvalle Viikin Linjalle. [1]

Helsingin Bussiliikenne Oy (myöhemmin yritys) haluaa olla edelläkävijä kaupunkiliikenteen ympäristöpäästöjen pienentämisessä. Kuljettajille pidettävissä koulutuksissa käsitellään taloudellista ajotapaa ja kuljettajien ajoa seurataan viikoittain ajotavan seuranta-järjestelmällä. Kalustohankinnoilla on pyritty vaikuttamaan päästöjen vähentämiseen. Yrityksen käytössä olevista busseista 60 % alittaa EEV-päästötason. Vuonna 2012 on otettu käyttöön Helsingin seudun ensimmäiset hybridibussit. [2]

Helsingin Bussiliikenteellä on käytössään kolme varikkoa:

- Ruskeasuon varikko: pääkonttori ja korjaamo, busseja noin 200 kpl
- Vartiokylän varikko: busseja noin 160 kpl
- Suomenojan varikko: busseja noin 15 kpl.

Yhtiöllä on työntekijöitä noin 1 100 henkilöä ja linja-autoja yhteensä noin 380. [2]

### 3 Tutkimuksen toteutustapa

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää common rail -suuttimien kulumista ja sen vaikutusta linja-auton polttoaineenkulutukseen. Työssä haluttiin saada selville, onko mahdollista vähentää autojen polttoaineenkulutusta uusimalla suuttimet ennakoitusti ennen niiden rikkoutumista. Yritys on huomannut, etteivät auton ensiasennussuuttimet kestä koko auton elinikää, vaan ne on uusittava ainakin kerran. Tutkimuksen tuloksena haluttiin saada selville,

- milloin suuttimet autoihin kannattaisi uusida
- paljonko suuttimien kulumisen vaikuttaa polttoaineenkulutukseen vai vaikuttaako ollenkaan
- mikä aiheuttaa suuttimien rikkoutumisen.

Suuttimissa tapahtuvaa kulumista tutkittiin myös konkreettisesti erilaisten mittausten avulla. Autojen elinikä yrityksessä on noin miljoona kilometriä. Tätä käytettiin pohjana mietittäessä suuttimien uusimisia. Autojen mennessä poistoon olisi suuttimienkin tarkoitus olla poistokunnossa. Suuttimien mittaukset ja tutkimukset tehtiin kuopiolaisessa Atoy Dieselhuollossa sekä Metropolia AMK:n materiaalitekniikan laboratoriossa.

#### 3.1 Tutkimusasetelma

Tutkimus toteutettiin uusimalla kahteen paljon ajettuun kohdeautoon kaikki ruiskutus-suuttimet ja mittaamalla autojen polttoaineenkulutusta ennen ja jälkeen uusimisen. Autot ajoivat tutkimuksen ajan normaalisti ajojärjestelijöiden niille määräämiä linjoja. Lisäksi tutkittiin aiemmin muihin autoihin tehtyjen suuttimien vaihtojen vaikutusta polttoaineenkulutukseen. Polttoaineenkulutuksen mittaukseen käytettiin autoihin asennettua tiedonkeruujärjestelmää. Suuttimien vaihdot saatiin selville yrityksen tietojärjestelmästä. Suuttimien vaihtojen ajankohdat sekä kulutustiedot taulukoitiin Excel-taulukkolaskentaohjelmalla. Polttoaineen kulutuksen arvona käytettiin keskikulutusta (l / 100 km).

### 3.2 Tutkimukseen osallistuvien autojen valinta

Tutkimuksen kohdeautoksi valittiin Volvo 8700LE -malli, koska autossa on käytössä Bosch'n valmistamat suuttimet. Näitä suuttimia oli mahdollista mitata ja tutkia tarkasti Atoy Dieselhuollossa. Autoilla, jotka tutkimukseen valittiin, tuli olla ajettuna noin 500 000 km, koska HELB:n korjaamon kokemusten perusteella viimeistään näin paljon ajetuista autoista oli alkanut usein rikkoutua suuttimia. Rikkoutumisen oletettiin johtuvan aina pitkälle edenneestä kulumisesta. Valintakriteerit täyttäneitä autoja löytyi yhteensä 31 kpl. Ne numeroitiin numeroin 1–31 tutkimusta varten. Kaikki autot ovat teknisiltä ominaisuuksiltaan identtisiä ja otettu käyttöön vuosina 2008 ja 2009. Autot numeroilla 1 ja 2 valittiin autoiksi, joihin uusittiin kaikki suuttimet. Autojen joihin suuttimet uusittiin, täytyi olla myös täysin toimintakuntoisia, minkä vuoksi niiden toiminta tarkistettiin vielä ennen tutkimuksen aloittamista. Autoja numeroilla 3–31 tutkittiin ainoastaan tiedonkeruujärjestelmiin tallentuneiden tietojen perusteella. Tilaajayrityksen pyynnöstä autojen oikeita rekisteritunnuksia ei julkaista.

### 3.3 Mittausten toteuttaminen

Autojen 1 ja 2 kulutusta mitattiin yhteensä 16 viikon ajan. Testijakson puolivälissä autoihin uusittiin kaikki suuttimet. Vanhat suuttimet toimitettiin vaihdon jälkeen Kuopioon Atoy Dieselhuoltoon testattavaksi ja kunnostettavaksi. Atoylta saatiin takaisin raportit suuttimien kunnosta sekä vanhoista suuttimista puretut kuluneet osat. Kuluneita osia tutkittiin tarkemmin Metropolia AMK:n elektronimikroskoopilla otettujen kuvien perusteella.

Tiedonkeruujärjestelmästä kerätyissä kulutustiedoissa käytettiin tarkasteluvälinä yhden viikon polttoaineenkulutuksen keskiarvoa. Keskiarvoon on otettu mukaan koko viikon jokaisen vuorokauden aikana tapahtuneet ajot tutkittavalla linjalla. Polttoaineenkulutusta tutkittiin aina yhdellä ajettavalla linjalla kerrallaan, koska kulutus eri linjojen välillä vaihtelee jopa yli 10 l / 100 km. Linjan tarkastelujakson pituus muodostui sen mukaan, kuinka pitkään linjalta oli saatavissa tietoa, siten että pystyttiin taulukoimaan kulutusta mahdollisimman pitkään ennen ja jälkeen suuttimien vaihdon. Yrityksen kokemusten mukaan auton ajosuorite linjalla tulisi olla vähintään 100 km viikossa, jotta kulutustietoihin voisi luottaa. 100 km:n ajosuoritetta viikossa tutkittavalla linjalla pidettiin vaatimuksena kulu-

tuslukemien hyväksymiselle tutkimukseen. Autojen kuormaan, ajettavaan linjaan tai kuljettajaan ei tutkimuksessa pystytty vaikuttamaan. Liitteen 3 kuvasta 43 käy ilmi, minkälaisena datana autojen kulutustieto saadaan tiedonkeruujärjestelmästä.

#### Autoilla ajettavat linjat

Polttoaineenkulutus tietyllä linjalla ei ole julkista tietoa, joten linjoja kuvataan kirjaimin A, B, C jne. Saman kirjaimen omaavat linjat ovat samoja eli vertailukelpoisia keskenään. Ajettavat linjat ovat pääkaupunkiseudulla ajettavia HSL:n alaisia linjoja. Linjat poikkeavat toisistaan erittäin paljon, mikä tuottaa haastetta tutkittaessa vain yhden asian eli suuttimien kulumisen vaikutusta polttoaineenkulutukseen. Yhdellä linjalla esimerkiksi pysäkkien väli voi olla reilusti alle yksi kilometri ja toisella linjalla useampia kilometrejä. Linjat rasittavat moottoria täysin eri tavoin, joten on tärkeää tutkia vain yhtä linjaa kerrallaan.

Yrityksen autojen ajamat linjat vaihtelevat useasti, minkä vuoksi osassa autoja ei haluttu ajankohdalta pystynyt tutkimaan suuttimien vaihdon vaikutusta kulutukseen ollenkaan. Pääsääntöisesti auto on kiinnitetty tietylle alueelle, missä sillä ajetaan, mutta alueen linjat poikkeavat silti toisistaan. Syksyisin on yleistä, että autojen ajamat linjat vaihdetaan kokonaan erilaisiin, joten usean vuoden kulutuksen muuttumisen tutkiminen jälkikäteen on mahdotonta. Osa autoista toimii pelkästään ruuhka- tai vara-autona, mikä lisää entisestään tutkimisen vaikeutta. [3]

#### 3.4 Mittauslaitteisto

Autojen kulutusten mittaukseen käytettiin Helsingin Bussiliikenteen omaa ajotavan seurantajärjestelmää. Järjestelmä on nimeltään EcoSmart ja sen on valmistanut TechnoSmart Oy. Järjestelmällä tallennetaan tietoja auton sekä kuljettajan toiminnasta. Auton ja kuljettajan toiminnasta kerätyjä tietoja voidaan tarkastella jälkikäteen tuntien tarkkuudella. Jokainen kuljettaja saa viikoittain raportin omasta ajamisestaan. Tärkeimpiä seurattavia asioita ovat

- polttoaineenkulutus
- kiihtyvyyssanturin lukemat
- auton käyttäminen tyhjäkäynnillä.

Ajojärjestelyyn yrityksellä on käytössään WinBus-järjestelmä. Järjestelmä tietää tarkasti, millä linjalla auto on ja kuka sitä silloin ajaa. Autoissa on myös GPS-paikannus. [3]

#### Järjestelmän toiminta

Autojen dataväylään on kytketty laite, joka tallentaa valittuja tietoja muistiinsa. Autoihin on asennettu lisäksi kiihtyvyyssanturit mittaamaan jarrutuksia ja ajon tasaisuutta. Auton ollessa ajossa tiedot tallentuvat väliaikaisesti laitteen omaan muistiin, josta ne siirtyvät langattomasti yrityksen tietojärjestelmiin auton tullessa varikolle. Varikolla auton tiedot yhdistetään ajojärjestäjien käyttämään WinBus-järjestelmän tietoihin. Yhdistämällä ajojärjestelystä saadut tiedot ja auton laskema polttoaineenkulutus saadaan tarkka polttoaineenkulutus eri linjoille ja kuljettajille. Tiedoista voidaan jälkikäteen tutkia eri linjojen polttoaineenkulutusta eri ajankohtina valitsemalla haluttu linja, auto ja ajankohta. [3]

## 4 Tutkimuksen kohdeauto

Tässä luvussa esitellään tutkimukseen valittu automalli. Auton runko ja kori ovat Volvon valmistamia. Moottori on puolestaan valmistettu yhteistyössä Deutz'n kanssa. Yrityksellä on käytössään yhteensä 45 kpl näitä autoja, joiden tarkka mallimerkintä on Volvo 8700LE (Low Entry) [1]. Tutkimukseen osallistuneet autot ovat teknisiltä ominaisuuksiltaan identtisiä. Autot on käyttöön otettu vuosina 2008 ja 2009. Kuvassa 1 on yksi tutkimukseen osallistuneista autoista.



Kuva 1. Volvo 8700LE -linja-auto [1]

#### 4.1 Alusta B7RLE

Alusta on Volvon valmistama. Se on varustettuna kahdella akselilla sekä taakse sijoitettulla 7-litraisella moottorilla. Alusta on tarkoitettu kaupunki- ja lähiliikenteeseen. Alustan kokonaispituus on 12,86 m ja akseliväli 6,8 m. Molemmissa akseleissa on sähköohjatut EBS-levyjarrut, ilmajousitus sekä kallistuksenvaimentimet. Kuusivaihteisen automaattivaihteiston autoon on valmistanut saksalainen vaihteistovalmistaja ZF. Taka-akselin välityssuhteeksi kaupunkiliikennettä ajatellen on valittu 5,63. Rengaskoko autossa on 295/80R22.5. [4]

#### 4.2 Kori 8700LE

Volvo 8700LE (Low Entry) on matalalattiainen erityisesti kaupunki- ja lähiliikenteeseen tarkoitettu korimalli. Korin on valmistanut Volvo. Korin suunnittelussa on otettu huomioon lähiliikenteen vaatimukset, esimerkiksi helppo autoon nouseminen ja poistuminen. Ilmajousituksen mahdollistama niaustoiminto laskee nousukorkeutta vielä 70 mm, mikä helpottaa erityisesti liikuntarajoitteisten kulkemista. Korin ovijärjestelmä on 2 + 2 + 1, eli edessä ja keskellä on pariovet ja takana yksittäinen ovi. Autossa on istumapaikkoja 43 ja seisomapaikkoja 41. Auton omamassa on 12 350 kg. [5]

#### 4.3 Moottori D7E290

##### 4.3.1 Yleistä

Kohdeautojen moottorina on Volvon ja Deutz:n yhteistyönä valmistama D7E290 mallimerkintää kantava voimanlähde. Moottori on suora 6-sylinterinen suorasuihkudiesel yhdellä turboahtimella sekä ahtoilman jäähdyttimellä. Dieselmoottorin ruiskutuslaitteiston tyypiksi on valittu nykyaikainen suoraruiskutteinen common rail eli yhteispaineruiskutus. Korkean ahtopaineen ja polttoaineen ruiskutusaineen sekä tarkan moottorinohjauksen ansiosta moottorista on saatu hyvällä hyötysuhteella toimiva kokonaisuus, mikä alittaa EEV –päästönormin (ks. luku 4.3.4). Moottori on suunniteltu erityisesti Volvon raskaan kaluston kevyempien ajoneuvojen kuten paikallisliikenteen linja-autojen voimanlähteeksi. [6]

#### 4.3.2 Moottorin rakenne

Neliventtiilitekniikalla varustettu sylinterikansi on valmistettu valuraudasta. Ruiskutus-suuttimet on sijoitettu neljän venttiilin keskelle, jolloin palotilasta on voitu tehdä täysin symmetrinen. Suuttimet tiivistyvät palotilaan kuparisen holkin ja aluslevyn välityksellä. Suuttimia pidetään paikallaan kehyksillä. Nokka-akselia pyöritetään hammaspyörällä suoraan kampiakselilta ilman välihammaspyörää. Nokka-akselilla käytetään venttiileitä sekä kahta polttoainejärjestelmään kuuluvaa korkeapainepumppua. Nokka-akseli on sijoitettu sylinteriryhmään, eli se on malliltaan alapuolinen nokka-akseli ja jakopää moottorin takaosaan.

Märillä sylinteriputkilla varustettu sylinteriryhmä on valmistettu valamalla seostetusta valuraudasta. Voiteluainejärjestelmän kanavat on koneistettu suoraan sylinteriryhmään. Jokaisella sylinterillä on oma männänjäähdytyskanava, joka ohjaa öljyä männänjäähdytys-suuttimille. Männät on valmistettu kevytmetalliseoksesta, ja niissä on upotettu palotila. Kiertokanget on tehty takomalla. Kampiakseli on taottu ja karkaistu. Öljynpaineen moottoriin tekee yksi vakiokierrostilavuuksinen hammaspyöräpumppu, jota pyöritetään kampiakselilla. Turboahdin on kiinnitetty valuteräksestä valmistettuun kolmiosaaiseen pakosarjaan. Ahtoilmanjäähdytin on ilma-ilmatyypinen, ja se on sijoitettu jäähdytysneste-jäähdyttimen eteen.

Moottorin polttoainejärjestelmä on tyypiltään common rail -yhteispaineruiskutus. Järjestelmän pääkomponentit ovat kuusi kappaletta suuttimia, kaksi korkeapainepumppua, jakoputki, siirtopumppu sekä esi- ja pääsuodatin. Korkeapainepuolen komponentit moottoriin on valmistanut Bosch. Jakoputken painetta sekä ruiskutuksen aloitusta ja lopetusta ohjataan elektronisesti moottorinohjausyksiköllä.

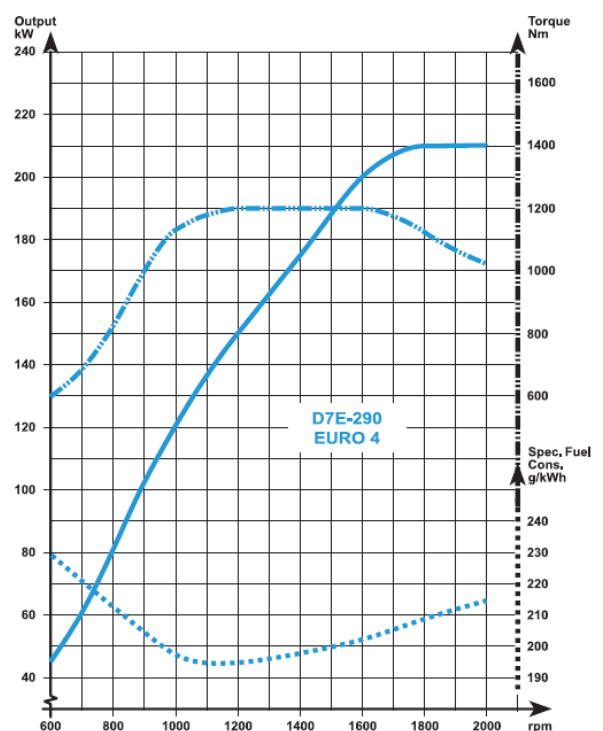
Tiukkojen päästövaatimusten vuoksi moottorissa käytetään katalyyttistä pakokaasujen puhdistusta eli SCR-tekniikkaa. SCR-tekniikka perustuu pakokaasujen jälkikäsitteilyyn AdBlue-liuoksen avulla. Järjestelmään kuuluu AdBlue-säiliö, pumppu, annosteluyksikkö sekä SCR-katalysaattori. Järjestelmässä AdBlue-liuosta ruiskutetaan pakokaasuihin ennen niiden virtaamista katalysaattorin lävitse. Lisäaine muuttaa haitalliset typpioksidit (NOx) typpikaasuiksi ja vesihöyryksi. Moottorinohjausyksikkö laskee ruiskutettavan liuoksen määrän moottorin kuormituksen ja käyntinopeuden mukaan. [7]

### 4.3.3 Tekniset arvot

D7E290-moottori tuottaa suuren vääntömomentin pieniltä kierroksilta alkaen. Jo kierrosluvulla 1150 rpm käytössä on moottorin maksimivääntömomentti 1200 Nm. Suuri vääntömomentti on jakautunut alueelle 1150–1650 rpm. Moottori toimii parhaalla hyötysuhteella jo 1150 rpm:llä. Moottorin teho ja vääntökäyrät näkyvät kuvassa 2. Tekniset arvot näkyvät taulukossa 1.

Taulukko 1. Moottorin D7E290 tekniset arvot [6]

Malli	D7E290
Päästöluokka	EEV
Huipputeho	213 kW (290 HP)
kierrosluvulla	2100 r/min
Max. Vääntömomentti	1200 Nm
Kierrosluvulla	1050 - 1650 r/min
Sylinterien lukumäärä	6
Sylinterin halkaisija	108 mm
Iskunpituus	130 mm
Iskutilavuus	7,1 l
Puristussuhde	18:1
Öljytilavuus	28 l
Öljynsuodattimien lkm	1 kpl
Paino	645 kg
AdBlue säiliön tilavuus	40 l



Kuva 2. Moottorin teho -ja vääntökäyrät [6]

### 4.3.4 Euro-päästöluokitus

Euroopan alueella käyttöön otettavien raskaiden dieselajoneuvojen tulee täyttää Euro-päästöluokitus. Luokitukset ilmoitetaan numeroin ja tällä hetkellä Euro 6 on uusin päästöluokka. Päästörajoja kiristetään noin viiden vuoden välein. Euro-päästöluokituksen tarkoitus on vähentää päästöjä, joita raskas liikenne vuosittain aiheuttaa. Jokaisen uuden moottoriajoneuvon tulee täyttää sille vaadittu päästömääräys [8.] Tässä tutkimuksessa käsitellään vain yli 3500 kg:n omamassan ylittävien ajoneuvojen päästöstandardeja. Eri Euro-luokitusten tarkat päästörajat ja ajankohdat käyttöönotosta näkyvät taulukossa 2.

Taulukko 2. Euro-luokitusten päästörajat ja testauksessa käytetyt testisyklit [8]

Luokka	Päivä	Testisykli	CO	HC	NOx	PM	PN	Savutus
			g/kWh				1/kWh	1/m
Euro I	1992, ≤ 85 kW	ECE R-49	4,5	1,1	8,0	0,612		
	1992, > 85 kW		4,5	1,1	8,0	0,36		
Euro II	1996.10		4,0	1,1	7,0	0,25		
	1998.10		4	1,1	7,0	0,15		
Euro III	1999.10 EEV only	ESC & ELR	1,5	0,25	2,0	0,02		0.15
	2000.10		2,1	0,66	5,0	0,10		0.8
Euro IV	2005.10		1,5	0,46	3,5	0,02		0.5
Euro V	2008.10		1,5	0,46	2,0	0,02		0.5
Euro VI	2013.01	WHSC	1,5	0,13	0,4	0,01	$8 * 10^{11}$	

Kohdeauton päästöluokka on edellä mainituista numeroiduista luokista poikkeava EEV-luokka. EEV eli enhanced Environmental friendly vehicle on jo vuonna 1999 päästöläkiin lisätty ei-pakollinen päästönormi. Luokassa on kiinnitetty huomiota erityisesti pienhiukkasten määriin, jotka ovat merkittävä tekijä ajateltaessa lähiliikenteen kaluston vaatimuksia. EEV-luokka luotiin, jotta valmistajat voisivat vapaaehtoisesti kehittää moottoreista ympäristöystävällisempiä ja pärjätä kilpailussa muita valmistajia vastaan paremmin. Normin täyttäviä autoja kutsutaankin nimellä "clean vehicle" eli puhdas ajoneuvo. Luokka helpotti myös EU:n kaupunkien vähäpäästöisten vyöhykkeiden määrittelyä siellä sallitun ajoneuvokaluston osalta. Vuosituhannen alussa EEV-autoja ei juurikaan näkynyt, koska normin vaatimukset olivat paljon tiukemmat verrattuna Euro 3 -luokkaan. Eri-tyisesti polttoaine- ja pakokaasunpuhdistusjärjestelmien kehitys johti siihen, että Euro 4 -vaatimusten tullessa vuonna 2005 myös EEV-autoja alkoi tulla markkinoille. [9]

## 5 Common rail -polttoainejärjestelmän toiminta

Tässä luvussa perehdytään tällä hetkellä yleisimmän dieselmootoreissa käytettävän ruiskutusjärjestelmän eli yhteispaineruiskutuksen toimintaan. Järjestelmän toiminta perustuu korkeapainepumppuun, paineistettuun jakoputkeen, erilaisiin antureihin ja elektronisesti ohjattuihin ruiskutusventtiileihin eli common rail -suuttimiin. Suuttimet ruiskuttavat polttoaineen suoraan palotilaan jokainen vuorollaan tarkasti oikealla hetkellä. Tutkimuksen kohdeautosta löytyvien komponenttien toiminta ja rakenne käydään yksityiskohtaisesti lävitse.

## 5.1 Dieselmoottorin yleinen toimintaperiaate

Dieselmoottori on kaikkein laajimmin käytetty polttomoottori. Moottorityyppiä on käytössä aina pienistä paikallismoottoreista maailman suurimpiin rahtilaivoihin saakka. Iso tekijä moottorimallin suosiossa on sen suuri hyötysuhde ja siitä seuraava taloudellisuus. Ahtamisen ja tarkan elektronisen polttoaineenruiskutuksen myötä moottoreiden teho sekä hyötysuhde ovat kasvaneet valtavasti viimeisen vuosikymmenen aikana. Aikaisemmin dieselmoottorit ovat olleet tunnettuja kovasta käyntiäänestään ja karkeasta koneenrakennustekniikastaan. Nykyajan dieselmoottorit ovat kuitenkin erittäin tasaisen ja hiljaisen käynnin omaavia hienomekaanisia laitteita.

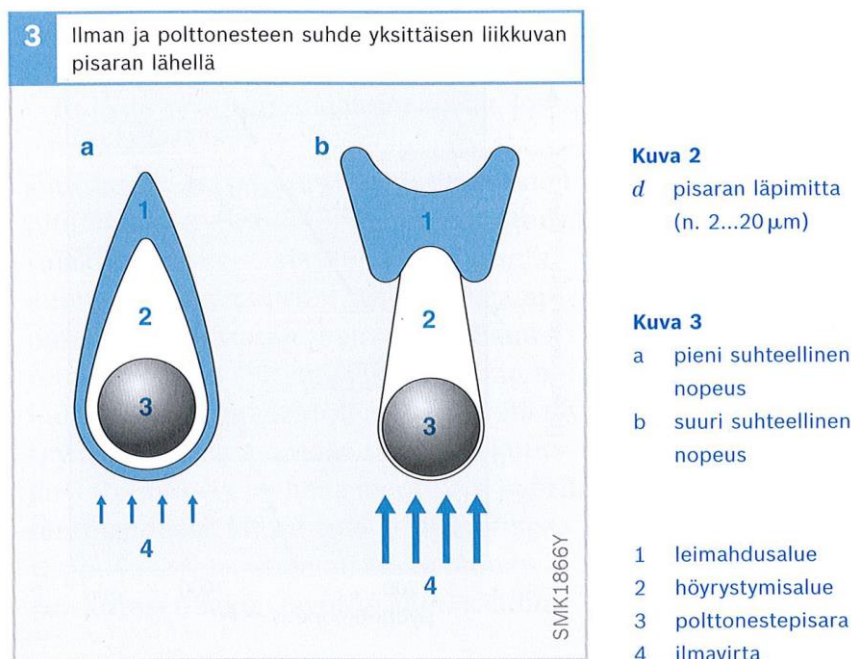
Dieselmoottori on mäntämoottori, joka toimii ns. sisäisellä seoksen muodostuksella ja itsesyttymisellä. Polttoaine ruiskutetaan sylinteriin puristusvaiheen lopulla eli hieman ennen yläkuoloa. Puristustahdilla puristetaan kokoon pelkkää ilmaa, jolloin se kuumenee voimakkaasti ja mahdollistaa polttoaineen itsesyttymisen. Dieselmoottorissa ei käytetä ulkopuolisia sytytyslaitteita. Ilman annetaan virrata moottoriin yleensä ilman rajoitetta. Tehon ja pyörintänopeuden säätäminen tapahtuu ruiskutusmäärää muuttamalla. Hyvän seoksenmuodostuksen tapahtumiseksi polttoaine on ruiskutettava sylinteriin korkealla paineella. Paine on ruiskutusmenetelmän mukaan noin 350–2500 bar. [10, s. 4–7.]

## 5.2 Seoksen muodostus

### 5.2.1 Seoksen ilmamääräkerroin

Polttoaine ruiskutetaan kokoon puristetun ilman sekaan, jolloin seos syttyy. Palotilassa on syttymishetkellä heterogeeninen ilman ja polttoaineen seos, minkä vuoksi dieselmoottori ei ole sidottu toimimaan vain yhdellä tietyllä ilmakertoimella  $\lambda$ . Ilmamääräkerroin vaihtelee koko ääriarvoalueella pelkästä puhtaasta ilmasta ( $\lambda = \infty$ ) aina pelkkään polttoaineeseen suihkun keskellä ( $\lambda = 0$ ). Edellä esitetyn tapaan moottorin tuottamaa vääntöä säädellään muuttamalla ruiskutettua polttoainemäärää. Palamisessa syntyvä noki johtuu liian rikkaista seosalueista. Siksi dieselmoottorin on toimittava aina ilmaylimäärällä. Sylinterin kokonaisilmakerroin täydellä kuormalla ahdetussa dieselmoottorissa on noin 1,15–2,0, joutokäynnillä ja ilman kuormaa arvo on yli 10. [10, s. 48–49.]

Polttoaineen palaminen tapahtuu suhteellisen kapealla ilmamääräkerroinalueella kuten homogeenisella seoksella toimivissa ottomoottoreissakin. Palamiskelpoisen seoksen  $\lambda$ -kerroin asettuu 0,3:n ja 1,5:n välille. Palamiskelpoisia paikallisia alueita syntyy yksittäisen polttoainepisaran reuna-alueilla. Polttoaineen tehokkaalla sumutuksella, suurella ilmaylimäärällä ja täytöksen hallituilla liikkeillä saadaan syntymään paljon syttymiskelpoisia alueita. Polttoainepisaran suurella nopeuserolla ilmaan nähden polttoainesuihku saadaan hajoamaan tehokkaasti. Yksittäisen erittäin nopeasti liikkuvan pisaran reuna-alueille syntyy enemmän syttymiskelpoisia alueita kuin hitaasti liikkuvan pisaran. Kuvassa 3 havainnollistetaan, kuinka pisaran liikenoisuus vaikuttaa alueiden syntymiseen. Suuremmalla nopeudella liikkuvassa pisarassa leimahdusalue ei peitä pisaran ydintä eikä näin ollen hidasta polttoaineen höyrystymistä. Polttoaineen korkea paine muutetaan ruiskutuksessa virtausenergiaksi. Siksi polttoaine pyritään ruiskuttamaan aina mahdollisimman korkealla paineella palotilaan. [10, s. 48–49.]



Kuva 3. Polttoainepisaran nopeuden vaikutus syttymiskelpoisen alueen syttymiseen [10, s. 49]

### 5.2.2 Polttoaineen ruiskutuksen parametrit

Ruiskutuksen alkuhetki eli ruiskutusennakko on tärkeä parametri moottorin optimaaliseen toimintaan. Hetki, jolloin polttoaine ruiskutetaan palotilaan, vaikuttaa suuresti seoksen syttymisen käynnistymiseen, polttoaineen kulutukseen, palamismeluun ja päästöihin.

Ruiskutusennakko ilmoittaa hetken, jolloin suutin avautuu ja polttoaineen ruiskutus palotilaan alkaa, kampiakselin kulmana ennen yläkuolo kohtaa. Männän hetkellinen sijainti yläkuolo kohtaan nähden vaikuttaa palotilan ilman liikkeeseen, lämpötilaan ja tiheyteen. Siksi ruiskutuksen alkuhetken ohjearvo vaihtelee moottorin pyörintänopeuden, kuormituksen ja lämpötilan mukaan. Common rail -järjestelmässä ruiskutusennakon parametrit on tallennettu moottorinohjainlaitteeseen. Moottorin kuormitustilanteen mukaan ruiskutusennakon säätö tapahtuu ohjainlaitteen käskyjen mukaisesti. Erityyppisissä moottoreissa käytetään hieman erisuuruisia ruiskutusennakoita, mutta pääsääntöisesti ennakon suuruus ilman kuormaa on 4°–12° EYKK ja täyskuormalla 3°–15° EYKK. [10, s. 51.]

Toinen tärkeä ruiskutusparametri on ruiskutuksen kesto, jonka aikana suutin on auki ja polttoainetta ruiskutetaan palotilaan. Ruiskutuksen kesto ilmoitetaan joko kampi- tai nokka-akselin asteina tai aikana. Erilaisissa moottoreissa ruiskutuksen kesto vaihtelee. Ohessa on esimerkkiarvoja ruiskutuksen kestosta nimellisteholla:

- suoraruiskutteinen henkilöauton moottori n. 32...38 °KA
- suoraruiskutteisen hyötyajoneuvon moottori 25...36 °KA.

Ruiskutuksen kesto sovitetaan käyttöhetken ja ruiskutuksen aloituksen mukaan siten, että päästöt ja polttoaineenkulutus pysyisivät alhaisina. [10, s. 52.]

Kolmas ruiskutusparametri on ruiskutusmäärä eli moottorin yhden sylinterin työkiertoa kohti tarvitsema polttonestemäärä. Tarvitun polttonestemäärän ( $Q_H$ ) tilavuuden yksikössä mm<sup>3</sup>/isku voidaan laskea kaavalla 1.

$$Q_H = \frac{P * b_e * 1000}{30 * n * z * p}$$

Kaava 1. Moottorin yhden sylinterin työkiertoa kohti tarvitsema polttonestemäärä [10, s.52]

P moottorin teho (kW)

$b_e$  polttonesteen ominaiskulutus g/kWh

n moottorin pyörintänopeus min<sup>-1</sup>

z sylintereiden lukumäärä

p polttoaineen tiheys (g/cm<sup>3</sup>)

Moottorin antama teho on suoraan verrannollinen ruiskutusmäärään, jos oletetaan hyötysuhteen ( $\eta \sim 1 / b_e$ ) pysyvän vakiona [10, s. 52.]

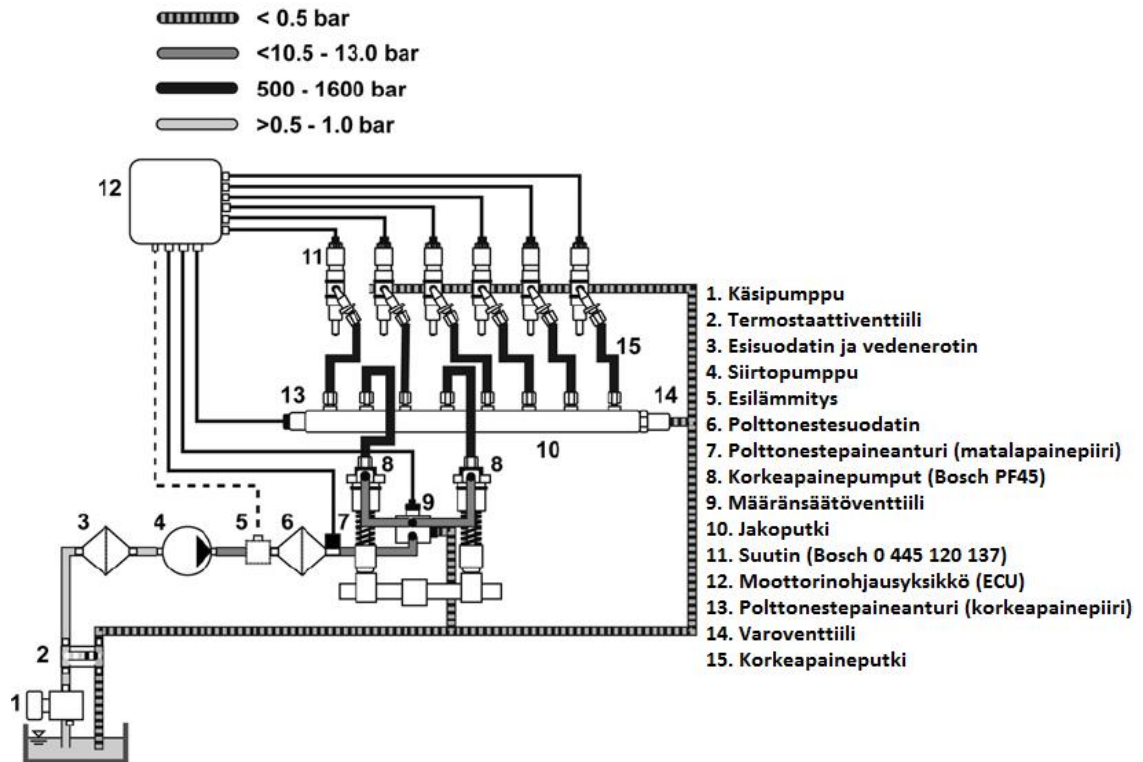
Ruiskutuslaitteiston on kyettävä toteuttamaan halutut ruiskutusparametrit kaikilla pyörimisnopeuksilla ja kuormilla imuilman lämpötilasta ja paineesta huolimatta. Jokaisessa tilanteessa tarvitaan siksi oikea polttonestemäärä oikealla hetkellä ja paineella oikeassa paikassa palotilassa.

### 5.2.3 Ruiskutustapahtuman kulku kohdeauton common rail -järjestelmässä

Hammaspyöräkäyttöinen siirtopumppu pumppaa polttoaineen esisuodattimen ja termostaattiventtiilin kautta korkeapainepumpuille. PWM-ohjattu magneettiventtiilillä varustettu määräsäätöventtiili säättää korkeapainepumpuille tulevaa polttoaineen määrää. Moottorin nokka-akseli käyttää kahta korkeapainepumppua ja yksi nokka-akselin kierros tuottaa kolme pumppausta. Jakoputken paineanturi valvoo polttoaineen painetta. Tämän signaalin avulla moottorinohjainlaite säättää määräsäätöventtiilin avulla halutun paineen jakoputkeen.

Jakoputki toimii polttonesteen kerääjänä. Jakoputken polttonestemäärä tasoittaa korkeapainepumppujen ja ruiskutustapahtumien aiheuttamia heilahteluja. Jakoputkesta polttoneste virtaa korkeapaineputkien kautta suuttimille. Kohdeauton järjestelmässä paine jakoputkessa vaihtelee välillä 400–1600 bar.

Ruiskutus aloitetaan moottorinohjainlaitteen muodostaessa sähköpulsseja, jotka aktivoivat suuttimien magneettiventtiileitä. Tässä järjestelmässä ruiskutetun polttoaineen määrä vakiona pysyvällä paineella on suoraan verrannollinen suuttimen ohjauksen kestoon. [7, s. 23.] Kuvassa 4 on kaaviokuva, josta käy ilmi järjestelmän komponentit sekä polttonesteen paineen suuruus järjestelmän eri osissa.

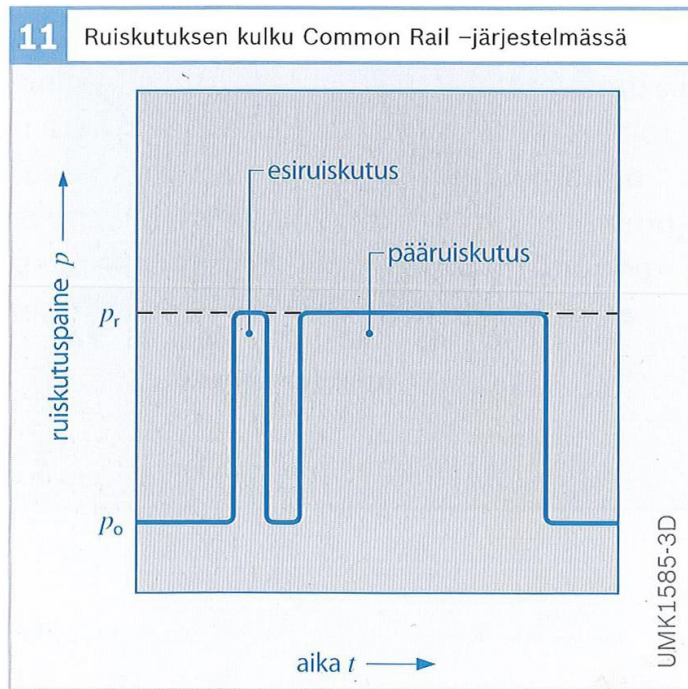


Kuva 4. Polttoainejärjestelmän kaaviokuva [7, s. 22]

#### 5.2.4 Ruiskutustoiminnot

Kuva 5 havainnollistaa ruiskutuksen kulkua common rail -järjestelmässä ajan suhteessa ruiskutuspaineeseen. Ruiskutusmäärä ja paine eivät siis riipu pumpun tai moottorin pyörintänopeudesta kuten vanhemmissa järjestelmissä, vaan polttoaine ruiskutetaan melkein vakiona pysyvällä paineella. Tästä seuraa lähes suorakaiteen muotoinen ruiskutuskäyrä. Järjestelmällä on mahdollista toteuttaa useita erillisiä ruiskutuksia haluttuna ajankohtana päästöjen vähentämisen, tehon ja käyttömukavuuden lisäämiseksi.

Ohjattaessa suuttimia moottorinohjainlaitteella voidaan ruiskutuksen alku, kesto sekä ruiskutuspaino sovittaa vapaasti moottorin eri käyttötilanteisiin. Joissakin järjestelmissä on mahdollista IMA-koodauksen avulla tasata yksittäisissä suuttimissa esiintyviä syöttömääräeroja, jolloin järjestelmän toiminta on entistäkin tarkempaa. Tutkimuksen kohdeauton järjestelmässä ei ole tätä mahdollisuutta, vaan jokaista suutinta ohjataan samalla tavalla. [10, s. 53–54.]



Kuva 5. Ruiskutuksen kulku common rail -järjestelmässä [10, s. 54]

Suorakaiteen muotoisen ruiskutuksen etenemisen ansiosta ruiskutusaika pysyy lyhyenä ja suihkun nopeus lähes vakiona. Näin käytettävissä oleva ilma voidaan hyödyntää tehokkaasti täyskuormalla. Kuitenkin suuri polttoainemäärä heti ruiskutuksen alussa syttymisviiveen aikana johtaa rajuun sylinteripaineen nousuun vaikuttaen negatiivisesti palamismelun. Palamismelun sekä päästöjen hallinnan kannalta joudutaan käyttämään käyttötilanteeseen sopivia ruiskutustoimintoja.

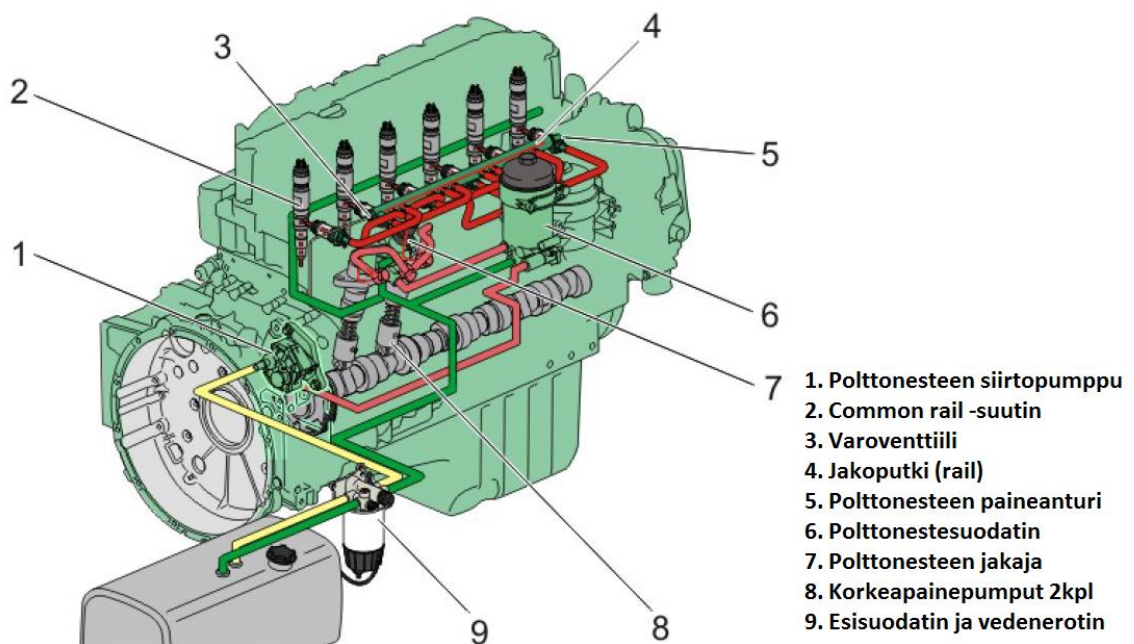
Palamismelua hallitaan lyhyellä esiruiskutuksella. Esiruiskutuksen ideana on polttaa pieni määrä polttoainetta (noin 1 mg) puristustahdin aikana, jotta sylinterin lämpötila ja paine saadaan nostettua korkeammaksi pääruiskutushetkeen mennessä. Tämän ansiosta pääruiskutuksen syttymisviive lyhenee vähentäen palamismelua, koska esisekoituneen poltonesteen määrä on pienempi syttymishetkellä.

Esi- ja pääruiskutuksen lisäksi voidaan käyttää myös jälkiruiskutusta. Välittömästi pääruiskutuksen jälkeen ruiskutetulla polttoaineella pyritään vaikuttamaan nokipäästöihin. Toiminnon avulla nokipartikkeleita voidaan jälkipolttaa ja vähentää niiden määrää 20–70 %. Myöhäisessä jälkiruiskutuksessa poltoneste ei pala, vaan höyrystyy pakokaasujen jäännöslämmön vaikutuksesta. Ruiskutus tapahtuu poistotahdin aikana jopa 200 °KA YKK:n jälkeen. Kyseisellä toiminnolla pyritään pääsääntöisesti tuomaan hiiliveytyjä hapetusкаталысаattoriin, jossa näiden hapettuminen saa pakokaasujen lämpötilan

nousemaan. Lämpötilan nousua tarvitaan hiukkassuodattimen tai varaavan NO<sub>x</sub>-katalyysaattorin regeneroinnissa. [10, s. 54–58.]

## 6 Ruiskutusjärjestelmän komponentit

Tässä luvussa käydään lävitse kohdeauton polttoaineenruiskutusjärjestelmän komponentit. Työssä tutkittavien suittimien toiminta sekä teoria selvitetään yksityiskohtaisesti. Suittimet sekä korkeapainepumput ovat Bosch´n valmistamia. Kuvassa 6 näkyy, kuinka komponentit ovat sijoiteltuna moottoriin. Polttoaine virtaa keltaista linjaa pitkin siirtopumpulle ja siitä vaaleanpunaista linjaa pitkin polttonestesuodattimelle. Polttonestesuodattimelta polttoaine kulkeutuu korkeapainepumpuille ja jatkaa siitä eteenpäin korkeassa paineessa jakoputkelle. Jakoputkelta polttoaine ohjautuu korkeapaineputkien ja sivusyöttöputkien välityksellä suittimelle, josta polttoaine ruiskutetaan sylinteriin. Paluuvoodon polttoaine virtaa vihreää linjaa pitkin joko suodattimelle tai takaisin tankkiin. Ennen siirtopumppua kulkevassa keltaisessa linjassa paine on välillä 0,5–1,0 bar. Siirtopumpun jälkeen paine korkeapainepumpuille asti vaaleanpunaisessa linjassa on 10,5–13,0 bar. Korkeapainepumppujen jälkeen paine punaisessa linjassa eli jakoputkessa ja korkeapaineputkissa on käyttötilanteen mukaan välillä 400–1600 bar. Vihreässä ohivuotolinjassa paine on alle 0.5 bar. Polttoainejärjestelmä on jaettu korkeapaine- ja matalapainepiiriin. [7, s.21–23.]



Kuva 6. D7E290-moottorin ruiskutusjärjestelmän komponentit [7, s. 21]

## 6.1 Matalapainepiirin komponentit

Matalapainejärjeselmän tehtävä on varastoida polttoneste sekä siirtää suodatettu polttoneste korkeapainepumpuille. Matalapainejärjestelmään kuuluvat käsipumppuyksikkö, termostaattiventtiili, esisuodatin vedenerottimella, siirtopumppu, polttonestesuodatin sekä määräsäätöventtiili. Suodattimen ja vedenerottimen virheetön toiminta on erittäin tärkeää, koska lika ja vesi polttoaineessa voivat vaurioittaa järjestelmä vakavasti. [7, s. 25.]

### 6.1.1 Suodattimet ja vedenerotin

Esisuodatin sisältää käsipumpun, termostaattiventtiilin sekä vedenerottimen. Käsipumppu on polttonestejärjestelmän ilmanpoistoa varten. Samassa komponentissa olevaa termostaattiventtiiliä käytetään polttonesteen lämpiämisen nopeuttamiseksi kylmäkäynnistyksissä. Vedenerotin erottaa vesipisarat polttonesteestä ja kerää ne suodattimen alla olevaan säiliöön. Termostaattiventtiili kierrättää lämmintä paluupuolen polttonestettä takaisin järjestelmään eikä säiliöön. Kun polttonesteen lämpötila ylittää 30 °C, kaikki paluupolttoneste ohjataan säiliöön. [7, s. 26–27.]

### 6.1.2 Siirtopumppu

Siirtopumpun tehtävänä on polttonesteen toimittaminen korkeapainepumpuille. Moottorissa käytetään erillistä jakopyöräkäyttöistä hammaspyöräpumppua. Pumpun tuotomäärä riippuu moottorin käyntinopeudesta. Sen kapasiteetti on maks. 400 l/h 7 baarin paineella. Sisäänrakennettu ylivirtausventtiili ylläpitää polttonestejärjestelmän painetta. Pumppu tuottaa noin 10,5–13,0 bar paineen. [7, s. 29.]

### 6.1.3 Määräsäätöventtiili

Jakoputken painetta säädellään määräsäätöventtiilillä. Venttiili sijaitsee korkeapainepumppujen keskellä. Venttiiliä ohjataan PWM-signaalilla. Täytössäätöinen paineen ohjaus antaa korkeapainepumpuille ainoastaan sen määrän polttonestettä, jonka moottori oikeasti tarvitsee. Tällainen säätötapa vähentää korkeapainepumppujen tarvitsemaa energiaa sekä polttonesteen kulutusta. Myös paluupiiriin virtaavan polttonesteen lämpötila on pienempi kuin painepuolelta säädeltävässä järjestelmässä. Määräsäätöventtiili

jakaa polttonesteen moottorinohjainlaitteen käskyjen mukaan joko korkeapainepumpuille tai takaisin säiliöön paluukanavaan. Polttonesteen paineen sen tullessa määräsäätöventtiilille on oltava välillä 5–7 bar. [7, s. 30–31.]

## 6.2 Korkeapainepiirin komponentit

Korkeapainepiirin tehtävä on paineistaa polttoaine haluttuun paineeseen sekä ruiskuttaa polttoaine palotilaan. Korkeapainepiiriin kuuluvat korkeapainepumput, jakoputki antureineen, jakoputken ja suuttimen yhdistävät korkeapaineputket sekä ruiskutussuuttimet. Suuttimet käsitellään erillisessä luvussa 6.3, koska ne ovat tämän työn olennaisin komponentti.

### 6.2.1 Jakoputki

Jakoputken sisätilavuus on 35 cm<sup>3</sup> ja sisähalkaisija 10 mm. Sen tehtävänä on varastoida paineistettu polttoneste ja jakaa se suuttimille. Jakoputkessa on paineanturi sekä varoventtiili. Varoventtiin tehtävä on suojata polttonestejärjestelmää ylipaineelta. Se aukeaa noin 1850–1950 bar:ssa. Jakoputki vaimentaa painevaihteluita, joita syntyy korkeapainepumppujen sykkivästä tuotosta johtuen sekä lyhytaikaisista suurista polttoaineen ostoista suuttimille ruiskutushetkellä. Polttoaineen paineen tulee olla mahdollisimman tasainen suuttimilla, jotta halutut ruiskutusparametrit toteutuvat. [7, s. 35–36.]

### 6.2.2 Korkeapainepumppu Bosch PF45

Järjestelmässä on kaksi nokka-akselikäyttöistä korkeapainepumppua Bosch:n mallimerkinnältään PF45. Nokka-akselilla on kolme nokkaa, joten yksi nokka-akseli kierros tuottaa kolme pumppausta per pumppu, eli kaksi pumppua tuottaa yhteensä kuusi pumppausta per kierros. Nokat ovat 60° siirtyneinä toisiinsa nähden, jotta polttonesteen virtaus olisi tasainen. Korkeapainepumppujen tehtävänä on paineistaa polttoaine. Polttoaineen paineen on oltava vähintään 1,7 bar sen tullessa korkeapainepumpuille. [7, s. 32–33.]



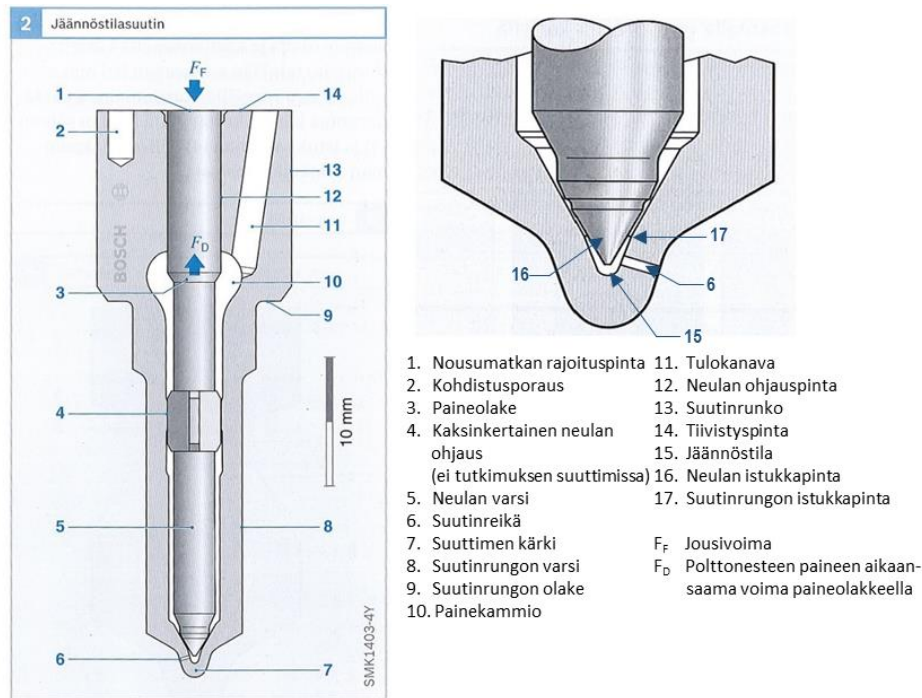
### 6.3.1 Rakenne

Common rail -suutin koostuu rungosta, polttoaineen palotilaan ruiskuttavasta suutinkärjestä sekä ohjausosasta, joka on ympyröity kuvassa 7. Suutin on mahdollista purkaa osiksi niin, että jäljelle jää vain runko. Kuvan 7 mukaan suuttimen alaosassa oleva suutinkärki kiinnittyy runkoon sulkumutterilla. Suuttimen yläosasta löytyy solenoidi, joka kiinnittyy runkoon myös mutterilla. Solenoidin alapuolella on suuttimen ohjaukseen olennaisesti liittyvät osat: venttiili, venttiilikara, kuula, ankkuritappi sekä ankkurilevy. Suuttimen toimintaa on mahdollista säätää erilaisten säätöpalojen tai -levyjen avulla, joita on yhteensä viidessä eri kohtaa. Runkoon on porattu kanavat polttoaineen tulo- ja paluukanaville. Korkeapaineisen polttoaineen (yli 400 bar) tulokanava on kuvassa 7 merkitty punaisella ja matalapaineisen polttoaineen (alle 0,5 bar) paluukanava keltaisella. Korkeapaineisen polttonesteen ei haluta pääsevän paluupuolelle muuta kuin paluukanavan kuristusta pitkin, joten venttiilin ja rungon välissä on alueet toisistaan erottava teflonttiiviste. Polttonesteen paluuvuodon tehtävä on voidella ja jäähdyttää suutinta. Paluuvuoto liittyy myös olennaisesti suuttimen avautumisen ohjaukseen. [11]

### 6.3.2 Suutinkärki

Suutinkärki ruiskuttaa polttonesteen dieselmoottorin palotilaan. Suutinkärjellä on erittäin olennainen osa ruiskutustapahtuman etenemisessä, polttonesteen sumuuntumisessa ja jakautumisessa palotilaan sekä polttonestepiirin tiivistämisessä palotilaan päin. Kohdeauton moottori on suoraruiskutteinen, joten suutinkärki on malliltaan reikäsuutin. Suutinkärki on suunniteltava tarkasti ottaen huomioon kohdemoottorista seuraavat asiat:

- palotilan geometria
- suihkun muoto ja suunta
- suihkun tunkeutumisvoima ja jakautuminen palotilassa
- ruiskutuksen kesto ja ruiskutusmäärä kampiakselin kulma-asentoon nähden
- materiaalien lämpötilansieto-ominaisuudet vaihtuvia käyttötilanteita varten.



Kuva 8. Suutinkärki mikrojäännöstilalla [10, s. 115]

Korkeapaineinen polttoaine tulee suutinkärkeen kuvan 8 kohdan 11 tulokanavaa pitkin. Polttoaineen paineen ansiosta paineolakkeeseen (3) sekä suutinneulan istukkapintaan (16) tiivistekohdan yläpuolelle kohdistuu suutinneulaa (5) nostava voima  $F_D$ . Kun suuttimen ohjausosa sallii suuttimen avautua, nostaa voima  $F_D$  suutinneulan ylös. Suutinneulan noustua polttoneste pääsee virtaamaan palotilaan. Suuttimen ohjausosan sulkiessa suuttimen, suutinneulan istukkapinta painuu suutinkärjen istukkapintaa vasten eikä polttoneste enää virtaa suutinrei'istä moottorin palotilaan.

Suutinreiät (kuva 8 kohta 6) sijaitsevat kuvun muotoisessa suutinkärjessä. Reikien lukumäärä ja läpimitta suunnitellaan tarvittavan ruiskutusmäärän, palotilan muodon ja palotilassa tapahtuvan ilmanpyörteilyn mukaan. Suutinreiän läpimitta sisemmässä päässä on yleensä hieman suurempi kuin ulommassa. Tutkimuksen kohdesuuttimien kärjissä on seitsemän reikää ja yhden reiän läpimitta on 0,180 mm [12]. Reikien sisäreunat on pyöristetty hydroeroosiokäsittelyllä virtausominaisuuksien parantamiseksi sekä reunojen kulumisen ennakoinniseksi, minkä polttonesteen hiovat ainesosat aiheuttaisivat.

Suutinkärjen tilaa, josta polttoainetta virtaa suutinreikiin kutsutaan jäännöstilaksi (kuva 8 kohta 15). Jäännöstila voi olla joko kartion tai sylinterin muotoinen ja sen mitoitus vaihtelee. Jäännöstilalla on erittäin suuri merkitys moottorin hiilivety päästöihin, koska suutinneulan istukkapinnan alapuolelle jäänyt polttoaine höyrystyy palotapahtuman jälkeen.

Siksi onkin tärkeää, että jäännöstilavuus on mahdollisimman pieni. Istukkapinnan ja kärjen kuvun geometrialla on myös suuri merkitys suuttimen avautumis- ja sulkeutumisoimaisuuksiin, jotka puolestaan vaikuttavat noki- ja  $\text{NO}_x$ -päästöihin sekä esiruiskutusmäärään. Kohdesuuttimissa käytetään kartiomaista mikrojäännöstilaa (kuva 8 oikealla), jossa suutinreiät sijaitsevat eri puolilla jäännöstilaa. Tilan tilavuus on myös pyritty minimoimaan. Koska suutinkärjen geometrialla on niin suuri vaikutus päästöihin, onkin tärkeää, että suutinkärki on suunniteltu tarkasti jokaiseen moottoriin erikseen. Huollossa on käytettävä ehdottomasti vain alkuperäisiä suuttimien varaosia, jotteivat pakokaasupäästöt kasvaisi ja moottorin teho laskisi. [10, s. 114–117.]

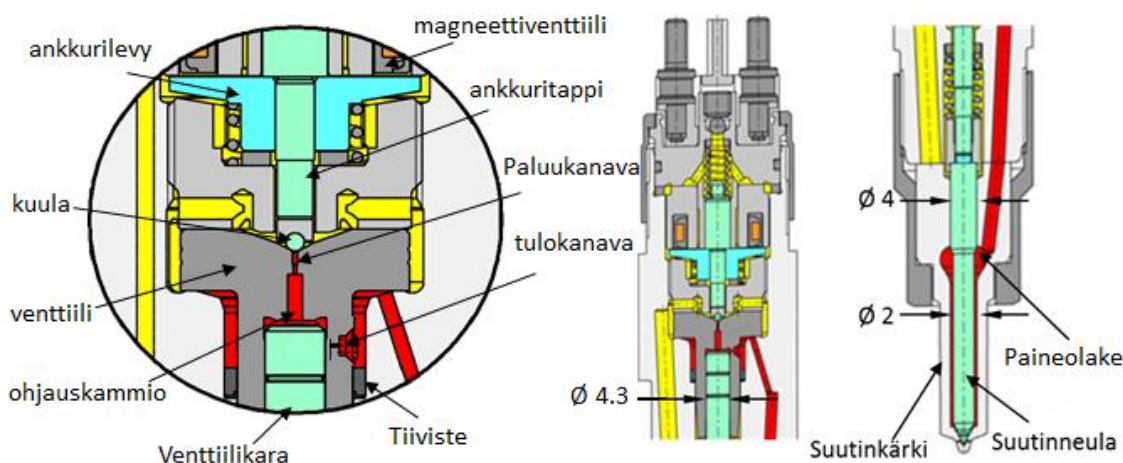
### 6.3.3 Suuttimen toiminta

Common rail -järjestelmässä suutinneulan paineolakkeeseen kohdistuu jatkuvasti jakoputkessa vallitseva paine (400–1600 bar). Ruiskutus alkaa heti, kun suutinneula nousee. Suutinneulan nousemista säädellään muuttamalla ohjauskammion ja suutinneulan paineolakkeen välistä paine-eroa. Suuttimen sähköhydraulinen ohjaus, joka on ympyröitynä kuvassa 9, sisältää suuttimen toiminnan perustana olevan hydraulisesti tasapainotetun venttiilin. Venttiilin toimintaa ohjataan 2-asentoisella magneettiventtiilillä ankkurilevyn, ankkuritapin ja kuulan välityksellä. Jakoputkessa vallitseva paine ja magneettiventtiilin saaman ohjauksen aika määrittävät ruiskutusmäärän.

Suuttimen ollessa täysin kiinni on jännite magneettiventtiilillä nolla. Tällöin ankkuritappi painaa paluukanavan tiivistävän kuulan tiiviisti venttiilin paluukanavaa vasten. Ohjauskammiossa vallitsee sama paine kuin jakoputkessa ja suutinkärjessä. Venttiilikaraa alaspäin painavan alueen pinta-ala on kuvassa 9 oikealla esitetyn mukaisesti suurempi kuin suutinneulaa ylöspäin nostavan paineolakkeen ja istukkapinnan pinta-ala. Koska alaspäin painavan alueen pinta-ala on suurempi, on myös voimakas suurempi ja suutinneula pysyy tiukasti kiinni. Suutinneulan ollessa kiinni ei palotilaan saa päästä pisaraakaan polttonestettä. Suutinneula pysyy kiinni myös sitä alaspäin painavan suutinjousen ansiosta. Jousen tehtävä on pitää suutinkärki kiinni, kun moottori ei ole käynnissä, koska tällöin polttoaineen paine ei ole sulkemassa suutinkärkeä. Suutinkärjen mekaaninen avautumispaine on noin 150 bar [12]. Mekaaninen avautumispaine tarkoittaa sitä, että polttoaineen paineen tulee olla vähintään kyseisen arvon verran, jotta suutinjousen jousivoima voitetaan ja suutinneula voi nousta.

Kun magneettiventtiili saa virran ECU:n ohjauksen mukaan, aukeaa ohjaukammion paluukanava. Paluukanava aukeaa, koska magneettiventtiili vetää ankkurilevyn välityksellä ankkuritapin ylös ja paluukanavan sulkeva kuula nousee avaten reitin polttonesteelle pois ohjaukammioista. Paluukanavan auetessa ohjaukammion paine laskee, mutta suutinneulan paineolakkeella ja istukkapinnalla vaikuttaa yhä korkea paine, joten suutinneulaa nostava voima kasvaa suuremmaksi kuin venttiilikaraa alaspäin painava voima. Koska suutinneulaa nostava voima on suurempi kuin sulkeva voima, suutinneula nousee ja ruiskutus alkaa. Ohjaukammiossa oleva polttoneste poistuu suuttimesta paluuvuotona voidellen ja jäähdyttäen suutinta. Paine ohjaukammiossa pysyy matalana, vaikka kammio onkin koko ajan yhteydessä korkeapainesyöttöön, koska tulokanavan kuristus on pienempi kuin paluukanavan kuristus. Näiden kahden kanavan kuristusten kokoeron avulla saavutetaan hydraulinen tasapaino, joka on kyseisen suuttimen toiminnan perusta.

ECU:n lopettaessa suuttimen ohjauksen, on virta magneettiventtiilillä jälleen nolla. Ankkurilevy painaa ankkuritapin välityksellä paluukanavan sulkevan kuulan tiiviisti venttiiliä vasten ja paluukanava sulkeutuu. Paine ohjaukammiossa kasvaa samaksi kuin suutinneulan paineolakkeella, joten aiemmin mainitun mukaan venttiilikaraa alaspäin painava voima on suurempi kuin suutinneulaa nostava voima. Alaspäin kohdistuva suurempi voima painaa suutinneulan tiiviisti kiinni suutinkärkeen ja ruiskutus loppuu. Jakoputken paine ja ECU:lta tulleen ohjauksen keston pituus määräävät ruiskutusmäärän. [7, s. 40–42.]



Kuva 9. Suuttimen toiminta [11]

Suuttimesta virtaa polttonestettä paluuvuotona vähän paluukanavan ollessa suljettuna. Suuttimessa on neljä mahdollista kohtaa, mistä paluuvuotoa tapahtuu:

- Venttiilikaran ja venttiin välillä (kuva 9) on pieni vällys, mistä korkeapaineista polttoainetta virtaa hieman paluupuolelle. Kuluneessa suuttimessa vällys kasvaa ja paluuvuodon määräkin kasvaa.
- Kuula ei tiivistä paluukanavaa välttämättä täysin, ja siitä pääsee hieman polttonestettä virtaamaan paluupuolelle. Erityisesti kuluneessa suuttimessa ilmenee paljon paluuvuotoa tätä kautta, koska ura, jota vasten kuula painuu, kuluu epätasaiseksi. Uudessa suuttimessa ei tapahdu paluuvuotoa tätä kautta.
- Rungon ja venttiin välissä olevan teflontiivisteiden rikkoutuessa paluuvuoto kasvaa suureksi. Uudessa suuttimessa tiivisteiden ohitse ei tapahdu paluuvuotoa.
- Suutinneulan ja suutinkärjen välissä on pieni vällys, mistä korkeapaineista polttoainetta virtaa hieman paluupuolelle.

Paluuvuodon määrää voidaan käyttää keinona mitattaessa suuttimien kuluneisuutta. Paluuvuodon maksimi määrälle on jokaisella suutintyyppillä ohjearvot. Ohjearvojen ylittyessä suutin on liian kulunut toimiakseen tarkoituksenmukaisesti. [12]

## 7 Suuttimien kulumisen tutkiminen

Suuttimien tutkiminen aloitettiin vaihtamalla uudet suuttimet autoihin 1 ja 2 HELB:n omalla korjaamolla Ruskeasuon varikolla. Autoihin vaihdetut suuttimet olivat Atoy:n aikaisemmin korjaamia vaihtosuuttimia. Vaihdon yhteydessä uusittiin myös korkeapaineputket, sivusyöttöputket sekä kupariset pohjatiivisteet kuten Volvon ohjeessakin määrätään. Vanhat suuttimet toimitettiin Atoy:lle mitattavaksi ja kunnostettavaksi, mitä olin itse seuraamassa paikan päällä. Atoy:lla suoritettujen mittausten jälkeen vanhojen suuttimien osia tutkittiin Metropolia AMK:n materiaalitekniikan laboratoriossa.

### 7.1 Suuttimien mittaukset

Suuttimille tehtiin suutinvalmistajan testausohjelman mukainen koeajo Bosch'n koepenkillä. Koepenkillä mitataan suuttimien ruiskutusmäärää eri kuormituspisteissä sekä paluuvuodon määrää. Koepenkki oli malliltaan Bosch EPS 708, jolla voidaan mitata yhtäaikaisesti joko neljää raskaan kaluston suutinta tai kuutta kevyen kaluston suutinta. Laitteessa ei testauksessa käytetä dieseliä vaan koenestettä. Koenestettä käytetään, koska se ei ole terveydelle haitallista eikä tulenarkaa.

Koepenissä ensimmäiseksi mitataan, että suutinkärki ei vuoda. Kärki ei saa päästää polttoainetta ulos yhtään pisaraa silloin, kun suuttimen ei haluta ruiskuttavan. Kärjen vuototestin kanssa samalla mitataan paluuvuodon määrä. Vaikka paluukanava onkin suljettu, polttoainetta virtaa hieman pois suuttimesta jäähdyttäen ja voidellen suutinta. Testillä tarkistetaan, ettei virtaus kuitenkaan ole liian suuri. Suuri paluuvuoto aiheuttaisi ongelmia korkeapainepumpuille tuottaa suuttimille tarpeeksi polttoainetta.

Kärjen vuototestin jälkeen testataan ruiskutusmääriä moottorin toiminnan kannalta oleellisimmissa kuormituspisteissä. Testattavia pisteitä ovat tyhjäkäynnin, esiruiskutuksen, täyden kuorman sekä päästöihin kriittisesti vaikuttavat ruiskutusmäärät. Täyden kuorman ruiskutusmäärän yhteydessä mitataan myös paluuvuodon määrä. Testauksen päätteeksi laitteesta saa raportin, josta näkee mittauksen tulokset, ohjearvot, sallitut poikkeamat ohjearvoista sekä mittauksissa käytetyt parametrit kuten ruiskutuspaineen ja ruiskutusajan. Liitteessä 1 on esillä täydellinen raportti auton 2 sylintereiden 1–3 suuttimien koepenkkitestauksesta. [12]

#### 7.1.1 Auton 1 suuttimien mittaustulokset

Auton 1 mittarilukema vaihdettaessa suuttimet oli 513 016 km. Suuttimet vaihdettiin 29.10.2015. Moottorin käyttötunneiksi testeri ilmoitti 24 085 h. Keskinopeus autolla oli ollut 21,3 km/h. Autoon ei ollut vaihdettu suuttimia aikaisemmin.

Taulukossa 3 on esitetty auton 1 suuttimien mittaustulokset. Esitetyt arvot ovat yksikössä mm<sup>3</sup>/H eli kuutiomillimetriä per yksi ruiskutus. Leak test -arvot ovat kärjen vuototestin yhteydessä mitatut paluuvuodon arvot. VL on täyden kuorman ruiskutusmäärän testaus ja VL paluuvuoto on paluuvuodon testaus täyden kuorman ruiskutusmäärän yhteydessä. EM tarkoittaa moottorin päästöjen kannalta tärkeän ruiskutusmäärän testausta. LL eli leerlauf on tyhjäkäynnin ruiskutusmäärän testaus. VE eli voreinspritzung on esiruiskutuksen ruiskutusmäärän testaus. Taulukossa näkyvät tehtaan ilmoittama ohjearvo, sallittu poikkeama ylös- ja alaspäin ohjearvosta sekä testauksen tulos. Punaisella merkityt tulokset eivät ole ohjearvojen sisällä eli ovat hylättyjä tuloksia. [12]

Auton 1 -suuttimista kolme ei läpäissyt testiä. Kaikissa suuttimissa oli sama vika, eli paluuvuodon määrä täyden kuorman testipisteessä oli liian suuri. Vaikka paluuvuoto testataan vain tämän yhden ruiskutusmäärän yhteydessä, on paluuvuoto liian suuri muillakin ruiskutusmäärillä. Paluuvuodon maksimiarvo ohjearvojen mukaan oli 70 mm<sup>3</sup>/H. Kaksi

suutinta ylittivät selvästi arvon ja yksi suutin ylitti arvon niukasti. Testi osoitti, että paluuvuodon liiallisesta määrästä huolimatta suuttimet kykenivät kuitenkin tuottamaan riittävän ruiskutusmäärän. Kolme hyväksytyä suutinta olivat testin perusteella täysin toimintakuntoisia. Testin perusteella voidaan sanoa, että suuttimissa voi olla paluuvuotoa selvästi ohjearvoja enemmän, mutta auton toiminnassa ei välttämättä havaita vikaa.

Taulukko 3. Auton 1 suuttimien mittaustulokset

Sylinteri numero	1	2	3	4	5	6
Suuttimen numero	1174	1172	6104	6106	1118	6074
<b>Leak test (paluuvuoto)</b>						
Ohjearvo	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
Sallittu poikkeama	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
Tulos	<b>23,6</b>	<b>22,7</b>	<b>25,3</b>	<b>19,9</b>	<b>22,7</b>	<b>20,0</b>
<b>VL ruiskutusmäärä</b>						
Ohjearvo	144,0	144,0	144,0	144,0	144,0	144,0
Sallittu poikkeama	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2
Tulos	146,9	144,8	143,4	145,7	144,1	147,5
<b>VL paluuvuoto</b>						
Ohjearvo	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5
Sallittu poikkeama	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5
Tulos	47,6	<b>71,7</b>	<b>97,9</b>	67,8	<b>90,5</b>	43,2
<b>EM ruiskutusmäärä</b>						
Ohjearvo	150,2	150,2	150,2	150,2	150,2	150,2
Sallittu poikkeama	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Tulos	152,8	151,6	150,2	152,8	150,2	153,4
<b>LL ruiskutusmäärä</b>						
Ohjearvo	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Sallittu poikkeama	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9
Tulos	6,3	7,0	6,5	6,3	5,3	7,1
<b>VE ruiskutusmäärä</b>						
Ohjearvo	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
Sallittu poikkeama	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
Tulos	1,8	2,4	2,6	2,9	2,1	2,7

#### 7.1.2 Auton 2 suuttimien mittaustulokset

Auton 2 mittarilukema oli 714 525 km, kun suuttimet vaihdettiin 4.11.2015. Autoon oli jo kerran aikaisemmin vaihdettu kaikki suuttimet mittarilukeman ollessa 309 000 km kohdalla. Autossa olleilla suuttimilla oli ajettu siis 405 000 km. Moottorin käyttötunneiksi testi ilmoitti 20 621 h. Keskinopeus autolla oli ollut 34,6 km/h, joka on 13,3 km/h suurempi kuin autolla 1.

Taulukossa 4 on esitetty auton 2 koepenkkitulokset. Mittaustoimenpide oli tismalleen samanlainen kuin auton 1 mittauksessa. Auton 2 suuttimista kolme ei läpäissyt testiä. Kaikissa kolmessa suuttimessa oli liian suuri paluuvuoto. Yhdessä suuttimessa oli lisäksi hieman liian suuri ruiskutusmäärä täydellä kuormalla sekä EM-ruiskutusmäärällä. Suuttimen numero 2446 paluuvuoto 160,5 mm<sup>3</sup>/H on todella suuri ja suuttimessa täytyy olla jotain todella pahasti rikki. Saman suuttimen paluuvuoto oli liian suuri jo suutinkärjen vuototestin aikana. Kaksi muuta hylättyä suutinta ylitti sallitun paluuvuodon määrän vain niukasti. Kaikki suuttimet pystyivät tuottamaan vaaditun ruiskutusmäärän. Kolme hyväksyttyä suutinta olivat testin perusteella täysin toimintakuntoisia. Vaikka yhden suuttimen paluuvuoto oli erittäin suuri, oli auto silti ollut normaalisti ajossa eikä yksikään kuljettaja ollut raportoinut auton toiminnassa puutteita.

Taulukko 4. Auton 2 suuttimien mittaustulokset

Sylinteri numero	1	2	3	4	5	6
Suuttimen numero	6998	2446	7095	7113	2491	7034
<b>Leak test (paluuvuoto)</b>						
Ohjearvo	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
Sallittu poikkeama	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
Tulos	15,4	68,3	23,8	23,6	28,6	22,5
<b>VL ruiskutusmäärä</b>						
Ohjearvo	144,0	144,0	144,0	144,0	144,0	144,0
Sallittu poikkeama	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2
Tulos	150,6	153,6	150,2	148,4	147,5	147,1
<b>VL paluuvuoto</b>						
Ohjearvo	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5
Sallittu poikkeama	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5
Tulos	31,9	160,5	43,2	75,6	73,0	65,9
<b>EM ruiskutusmäärä</b>						
Ohjearvo	150,2	150,2	150,2	150,2	150,2	150,2
Sallittu poikkeama	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Tulos	155,2	158,4	153,6	155,6	154,0	152,9
<b>LL ruiskutusmäärä</b>						
Ohjearvo	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Sallittu poikkeama	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9
Tulos	8,1	9,6	7,7	8,8	8,3	8,8
<b>VE ruiskutusmäärä</b>						
Ohjearvo	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
Sallittu poikkeama	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
Tulos	2,3	3,0	2,0	3,0	2,5	3,2

## 7.2 Suuttimien kunnostus

Suuttimet kunnostettiin samalla HELB:n korjaamolle vaihtosuuttimiksi, koska Atoy Dieselhuollolla on käytössään Bosch'n vaatima laitteisto, tilat ja osaaminen suuttimien korjauksiin. Kunnostuksen yhteydessä on ehdottoman tärkeä toimia valmistajan ohjeiden mukaisesti ja pitää erityisesti huolta, ettei suuttimen sisälle pääse epäpuhtauksia. Suuttimien korjauksessa käytetyn tilan tulee olla puhdas, ja tilan on täytettävä valmistajan antamat määräykset. Suuttimille tehtiin kolmannen vaiheen kunnostus, eli korjattu suutin vastaa tehtaan vaihtosuutinta. Myös suuttimiin asennettavat osat ovat samoja kuin tehtaan käyttämät. Kolmannen vaiheen kunnostuksessa mittalaitteilla päästään jopa 1 µm:n mittatarkkuuteen, joten suuttimien korjaus vaatii paljon teknistä tietämystä ja varusteita. Tämän kaiken edellä mainitun Bosch on tiivistänyt hyvin mainoksessaan:

Common rail -injektoreiden kunnostus kuuluu vain ja ainoastaan koulutetuille erikoiskorjaamoille, joilla on edellä mainittu tekninen varustus. Pääsääntöisesti tämä on Bosch Diesel Center, jolla on käytössään tarvittavat työkalut sekä EPS 815 -dieselkoepenki varustettuna injektoreiden testausvarusteilla. Korjaamot, joilla nämä edellytykset eivät toteudu tai, joiden henkilökuntaa ei ole koulutettu tähän tehtävään, eivät missään tapauksessa saisi yrittää korjata injektoreita omatoimisesti. Väärin korjatut tai koepenissä testaamattomat injektorit voivat aiheuttaa vakavia vahinkoja moottorille. [13]

Koepenkitestauksen jälkeen suuttimet purettiin osiin. Purkua varten suutin kiinnitetään telineeseen, joka näkyy kuvassa 10 kohdassa 2. Kuvassa näkyvät myös myöhemmin suutinta kasattaessa tarvittavat mittalaitteet sekä työkalut. Kaikki suuttimen osat pestään koenesteessä sekä tarkistetaan osien kunto. Tarvittaessa osat pestään ultraäänipesurilla. Kuvassa 10 kohdassa 1 on vasemmalla näkyvillä astia, mihin suuttimet puretaan, sekä osienpesuallas oikealla.

Suuttimen täydellisessä kunnostuksessa uusittavat osat näkyvät kuvan 10 kohdassa 3. Osat ovat seuraavat: sivusyöttöputki (A), suutinkärki (B), venttiili ja venttiilikara (C), korkea - ja matalapainepuolen toisistaan erottava teflontiiviste (D) ja sen tukirengas (E), suuttimen kuparinen pohjatiiviste (F), paluuvuototilan sylinterikannessa tiivistävä o-rengas (G), paluukanavan tiivistävä erittäin pieni kuula(H) ja magneettiventtiilin kiinnittävän mutterin o-rengas (I). [12]



Kuva 10. Suuttimien kunnostuksen työvaiheet ja -välineet

Osat asennetaan paikalleen suuttimen runkoon käyttäen kasauspenkkiä. Jokaisesta suuttimesta täytyy mitata ankkurin liikematka (AHE-mitta) sekä suutinneulan liikematka, jotta suutin toimisi uusilla osilla oikein. Uusien osien mitat ovat aina hieman eri suuruiset, joten vanhoilla säädöillä suutin ei toimisi suunnitellusti. Suuttimista on mahdollista mitata muitakin liikematkoja, mutta nämä kaksi mainittua liikematkaa on vähintään mitattava suuttimen kunnostuksen yhteydessä. Kuvassa 10 kohdassa 2 näkyvät mittauksessa tarvittavat laitteet. Liikematkojen mittauksiin käytetään paineilmalla vaimennettua elektronista mittakelloa, millä päästään  $\pm 0,001$  mm:n mittatarkkuuteen. [12]

Tutkittavan suuttimen ankkurin liikematkan ohjearvo on 0,047 mm–0,056 mm. Luvun 6.3.3 mukaan ankkurin liikematka on se matka, jonka magneettiventtiili vetää ankkurilevyä ylöspäin ankkuritapin välityksellä. Lukuarvojen suuruudesta voidaan päätellä, kuinka tarkkaa nykyaikaisten suuttimien oikea toiminta on sekä kuinka herkkiä ne ovat epäpuhtauksille. Suutinneulan liikematka oli noin 0,25 mm. Suutinneulan liikematka on se matka, jonka suutinneula nousee ylöspäin suutinkärjen istukkapinnasta. Arvot eivät usein satu ensimmäisellä kerralla oikein, joten suuttimesta löytyy säätölevyjä tai -paloja, joita muuttamalla arvot saadaan kohdilleen. Esimerkiksi suutinneulan nousun liikematkan säätöön käytettäviä säätölevyjä löytyy yhden sadasosamillin välein. Lopuksi osat

kiristetään oikeaan momenttiin tietokoneella ohjelmoitavalla erittäin tarkalla momenttiavaimella. Momenttiavain näkyy kuvassa 10 kohdassa 4, kun magneettiventtiiliä kiinni pitävää mutteria kiristetään. [12.]

Korjauksen päätteeksi suuttimien on läpäistävä lopputarkastus koepenissä. Jos koepenkiäajossa tulee hylätty jollain ruiskutusmäärällä, mittaukset ja säädöt on tehtävä uudelleen. Käytännössä suutinta on mahdotonta kunnostaa onnistuneesti ilman vaadittuja mittalaitteita sekä koepenkiä. Suutin, jonka toimintaa ei korjauksen jälkeen ole tarkastettu koepenissä, voi pahimmillaan aiheuttaa moottorivaurion. Kaikkien Atoy:lla korjattujen suuttimien arvot tallentuvat muistiin, jotta niitä voidaan tarkastella jälkikäteen. [12]

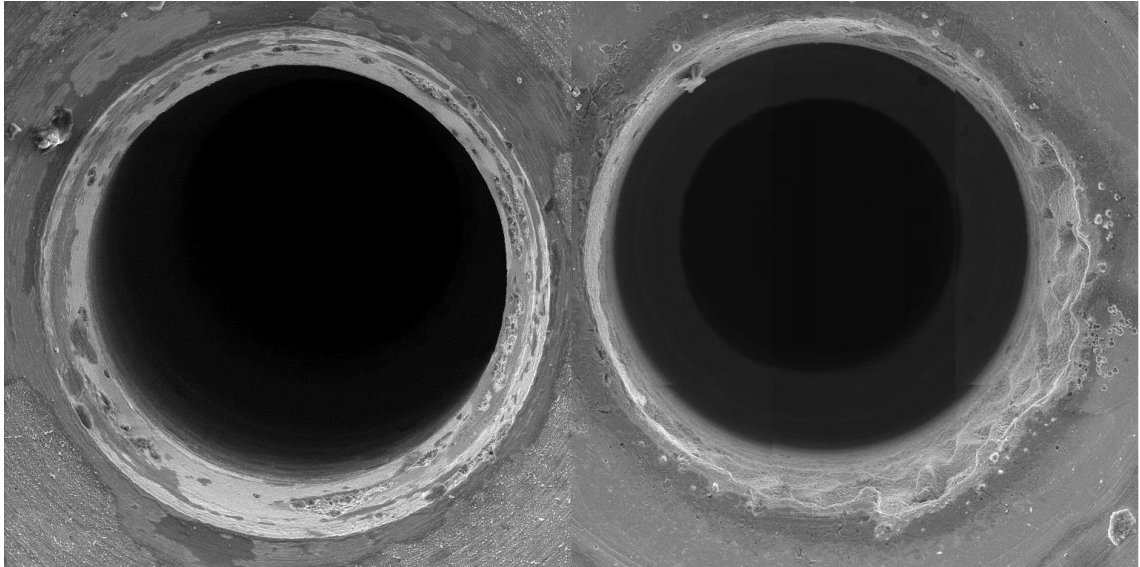
### 7.3 Auton 1 suuttimien kunto

#### 7.3.1 Runko

Suuttimien rungoissa ei havaittu kulumista tai merkkejä ruostumisesta. Polttoaine on ollut autossa vedetöntä, joten suuttimet eivät olleet sisältä ruosteessa. Jos suuttimen rungossa havaitaan ruostetta, ei sitä pääsääntöisesti voida korjata vaihtosuuttimeksi. Värimuutoksia suuttimen rungon materiaalissa ei havaittu. Ne olisivat olleet merkki liian korkeasta käyntilämpötilasta.

#### 7.3.2 Venttiili

Syy kolmen suuttimen korkealle paluuvuodolle löytyi venttiilin kuulaurasta. Kuvassa 11 vasemmalla on uuden venttiilin kuulaura. Kuulauran tulee olla tasainen, jotta kuula tiivistää paluukanavan tiiviisti. Uudella tiivistepinnalla näkyvät rösöt ovat ilmasta tulleita epäpuhtauksia.



Kuva 11. Uuden ja kuluneen venttiilin kuulaura

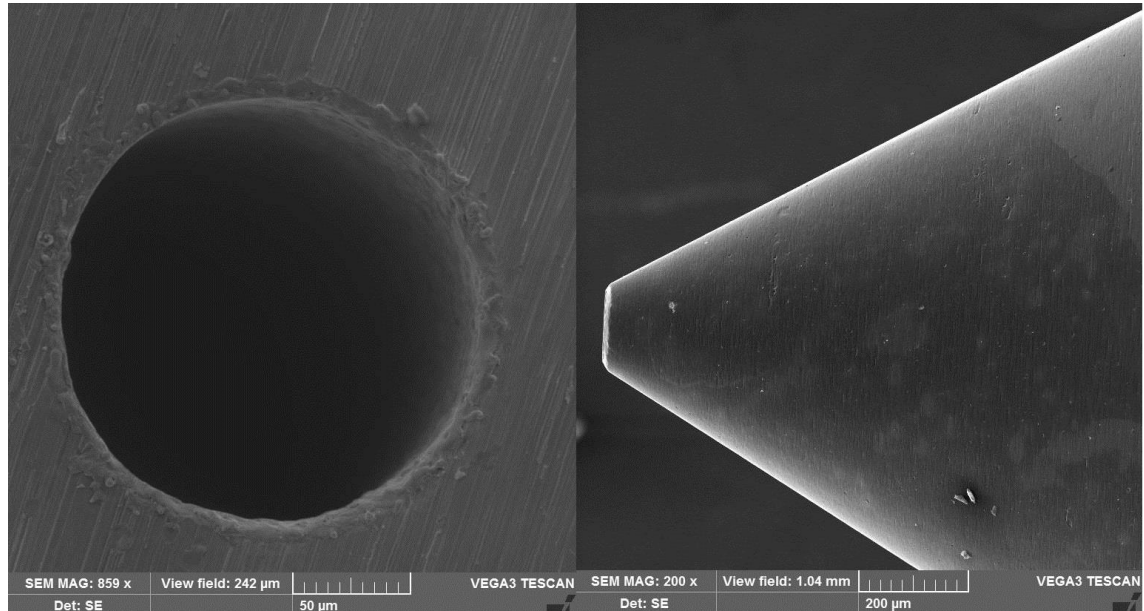
Sylinterissä 3 olleen suuttimen paluuvuoto oli 27,9 mm<sup>3</sup>/H liian suuri. Kuvassa 11 oikealla näkyy, kuinka kuulauran reuna on alkanut murentua ja se on muuttunut epätasaiseksi. Kuulan liikkuesssa edestakaisin ei se aina osu samaan kohtaan, mistä seuraa huono tiivistyminen ja suuri paluuvuoto. Sylintereiden 2 ja 5 suuttimien korkea paluuvuoto, johtui juuri tästä syystä. Sylintereiden 1, 4 ja 6 suuttimien kuulaurat olivat liitteen 2 kuvan 37 mukaisessa kunnossa. Tiivistepinnoilla ei näy juuri ollenkaan epätasaisuuksia. Kuulauran kulumisen muuttaa myös ankkurin liikematkaa (AHE-mitta). Liikematka kasvaa, koska ankkuritappi vedetään ylhäällä aina samaan pisteeseen asti, mutta kuulauran ollessa kulunut painuu kuula syvemmälle venttiilissä ja alaraja on kauempana. Liikematkan kasvu aiheuttaa kasvanutta ruiskutusmäärää.

Venttiilikaran liukupinnat olivat ehjät ja naarmuttomat, joten polttoaine oli ollut hyvälaatuista. Polttoaineesta jää kuitenkin osien pinnalle ajan kuluessa musta kalvo, joka estää venttiilikaraa liikkumasta kunnolla. Jokaisessa suuttimessa oli selvästi nähtävissä tumma kalvo ja käsin liikuttaessa venttiilikaraa, se ei liikkunut sulavasti. Osan puhdistamisen jälkeen liikkumisessa ei ollut ongelmia eikä pinnoilla naarmuja. Kalvon syntyminen on normaalia paljon ajetuissa suuttimissa.

### 7.3.3 Suutinkärki

Suutinkärjestä tutkittiin reikien kulumista sekä suutinneulan istukkapinnan kulumista. Uuden suutinkärjen reikä ja suutinneulan istukkapinta on esitetty kuvassa 12. Uutena kärjen

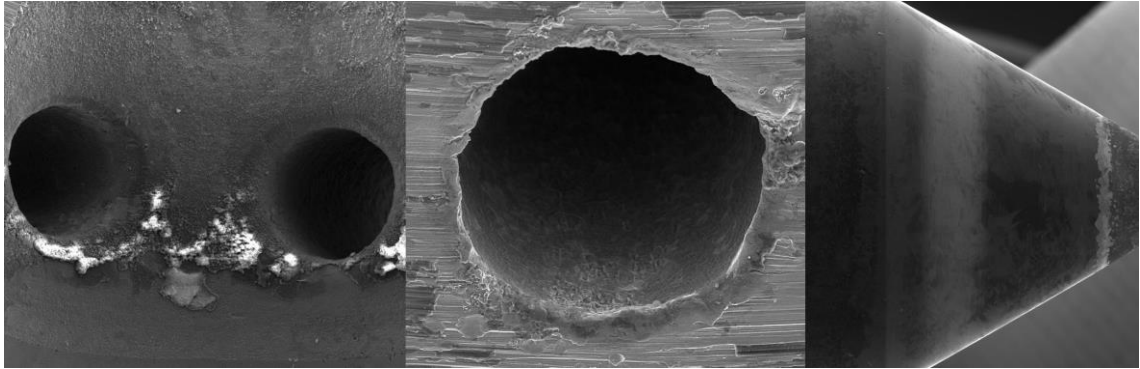
reiät ovat täysin pyöreitä, ulkoreunat teräviä ja reiän halkaisija on 0,180mm [12]. Suutinkärjen istukkapintaa vasten tiivistävä suutinneulan istukkapinta on tasainen koko matkalta.



Kuva 12. Uuden suutinkärjen suutinreikä sekä suutinneulan istukkapinta

Käytetyn suutinkärjen reikien ulostulot olivat hieman muuttaneet muotoaan. Reiät eivät olleet täysin pyöreitä ja reunoilta oli irronnut vähäisesti materiaalia. Kuvassa 13 keskellä näkyy, kuinka reiän ulostuloaukko on muuttanut muotoaan. Mittausten perusteella reiän halkaisija vastasi kuitenkin hyvin tarkasti uuden reiän halkaisijaa.

Yksi käytetty kärki myös halkaistiin ja kuvattiin sisäpuolelta. Kärjen sisäpuolella oli nähtävissä hyvin vähäinen määrä palamisjätettä, jota syntyy kuumien pakokaasujen päästessä suutinkärjen jäännöstilaan. Palamisjätettä näkyy kuvan 13 vasemmassa reunassa vaalean värisenä. Suutinkärjen reikien pinta jäännöstilan puolella oli pitänyt muotonsa erittäin hyvin. Kuvassa näkyy myös reiän sisäpään tehty pyöritys. Kärkien kuluminen tällä ajomäärällä oli todella vähäistä, mikä oli havaittavissa jo koepenkkituloksistakin.



Kuva 13. Suutinkärki sisältä, reiän ulostulo ja suutinneulan istukkapinta

Suutinneulan istukkapintaan oli kulunut pieni ura. Ura oli vielä niin pieni, ettei se aiheuttanut kärjen vuotamista. Ura näkyy kuvan 13 oikeassa reunassa vaaleana renkaana. Tiivistysalue on siis todella kapea. Jos kulumista tapahtuu liikaa neulassa tai neulan vastapuolella eli kärjessä, alkaa kärki vuotaa.

#### 7.4 Auton 2 suuttimien kunto

##### 7.4.1 Runko

Sylintereiden numero 1, 3, 4 ja 6 rungot olivat täysin virheettömät. Sylinterin numero 2 suuttimen rungossa oli selvästi havaittavissa merkkejä sen käymisestä liian kuumana. Rungon väri oli suutinkärjen tiivistepinnassa selvästi muuttunut, liite 2 kuva 39. Suuttimen käyminen kuumana on johtunut liian suuresta paluuvuodosta. Liian suuren paluuvuodon vuoksi lämpötila suuttimessa nousee liian korkeaksi.

Sylinterin numero 5 suuttimen alaosa oli ulkopuolelta ruosteinen o-renkaasta alaspäin. Minkään muun suuttimen alaosa ei ollut ruosteinen, vaikka sama polttoaine kiertää kaikissa suuttimissa. Yksi mahdollinen ruostumisen aiheuttaja on suuttimen pesän jäähdytinnestevaippaa vasten eristävän kupariholkin vuotaminen. Suuttimen pesään on voinut vuotaa jäähdytinnestettä ja aiheuttaa ruostumista. Kupariholkkien on havaittu kuluvan kupariholkin jäähdytinnestettä vasten olevassa pinnassa tapahtuvan kavitoinnin takia [12]. Syytä ruostumiselle ei kuitenkaan osattu sanoa varmaksi. Kaikkien suuttimien rungot olivat kuitenkin sisältä puhtaat, joten polttoaine oli ollut puhdasta ja hyvälaatuista.

### 7.4.2 Venttiili

Sylintereiden 4 ja 5 suuttimien korkean paluuvuodon syy löytyi kuluneesta venttiilin kuulaurasta. Kuulaurien kuluminen oli tismalleen samanlaista kuin autossa 1. Sylinterin 2 paluuvuoto oli liian suuri jo kärjen vuototestissä, jolloin kuula pysyy paikoillaan ja paluukanava suljettuna. Suuri paluuvuoto kärjen vuototestissä johtuu todennäköisimmin siitä, että kuulaura on erittäin kulunut, venttiilin tiiviste on poikki tai venttiilikaran ja venttiilin liukupintojen välillä on liian suuri vällys. Kyseisessä suuttimessa vikana oli erittäin kulunut kuulaura sekä katkennut venttiilin tiiviste, jotka näkyvät kuvassa 14. Kolmen ehjän suuttimen kuulaurat olivat liitteen 2 kuvan 37 mukaisessa kunnossa.



Kuva 14. Erittäin kulunut venttiilin kuulaura ja katkennut venttiilin tiiviste

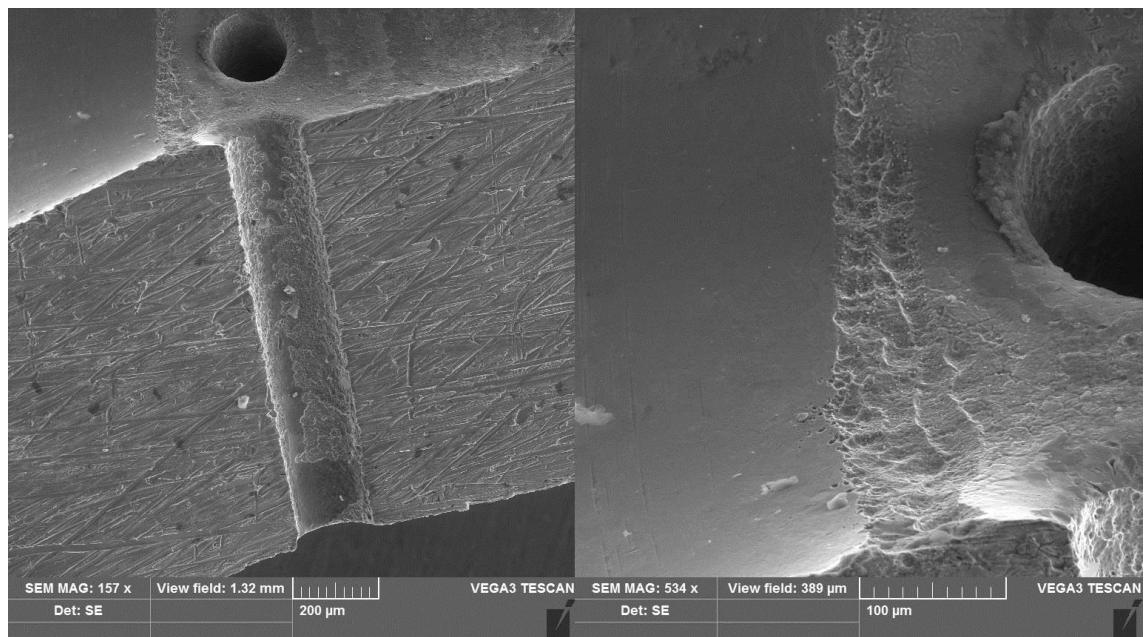
Kuvassa 14 vasemmalla näkyy, kuinka kuulauraan on kulunut erittäin pitkä poikittainen ura. Kuula ei mitenkään pysty sulkemaan paluukanavaa tiiviiksi. Tiivistepinnan reuna on myöskin murentunut pahasti. Kyseisellä suuttimella tuskin olisi kovin montaa tuhatta kilometriä enää voinut ajaa. Paluuvuoto olisi pian saattanut aiheuttaa suuttimen avautumisen ilman ECU:n käskyä. Suutin ruiskuttaisi tällöin jatkuvasti polttoainetta palotilaan, mikä johtaisi suurella todennäköisyydellä vaurioihin moottorissa.

### 7.4.3 Suutinkärki

Sylinterin 2 suutinkärki otettiin tarkempaan tarkasteluun, koska suutin antoi kahdella eri testatulla ruiskutusmäärällä liikaa ainetta. Kärki onnistuttiin halkaisemaan niin, että yhden reiän profiili pystyttiin kuvaamaan. Kuvasta 15 nähdään, että reiän profiili on täysin

suora eikä reiän sisältä ole irronnut materiaalia juuri nimeksikään. Reiän sisäpuolen suuaukko on pyöristetty virtausominaisuuksien parantamiseksi luvussa 6.3.2 mainitun mukaisesti. Tässäkin kärjessä sisällä oli vain hyvin pieni määrä palamisjätettä.

Suutinkärjen istukkapinnasta oli irronnut kuvan 15 mukaan selvästi materiaalia. Istukkapinnan reunan pitäisi olla tasainen eikä kuvan kaltaisesti epätasaiseksi kulunut. Istukkapinnan kuluminen aiheuttaa sen, että neula painuu kärjessä haluttua alemmas. Neulan liikematka kasvaa, koska sitä vedetään ylöspäin aina samaan pisteeseen asti, mutta alapään ollessa kauempana on kokonaisliikematka pidempi. Liikematkan ollessa pidempi kasvaa ruiskutusmääräkin. Erittäin pienikin liikematkan muutos vaikuttaa huomattavasti ruiskutusmäärään. Neulan liikematkan suuruus on kokoluokkaa 0,250 mm, yksi prosentti liikematkasta on vain 0,0025mm. Istukkapinnan ja venttiilin kuulauran kuluminen (luku 7.3.2) on mahdollisesti aiheuttanut testauksessa havaitun liian suuren ruiskutusmäärän. Istukkapinnan kuluttua vielä tätäkin enemmän, aiheuttaa se kärjen vuotamista.



Kuva 15. Halkaistu suutinreikä sekä suutinkärjen kulunut istukkapinta

Venttiilikaroista löytynyttä mustaa kalvoa havaittiin myös suutinneuloissa. Neulat olivat monessa kärjessä niin tiukasti kiinni, että niitä oli vaikea saada irti. Neulat liikkuivat kuitenkin pienen vaaditun matkan helposti, mutta neula ei kuitenkaan tullut omalla painollaan kokonaan pois kärjestä. Uudessa kärjessä neula taas tipahtaa pois kärjestä ihan omalla painollaan. Liitteen 2 kuvassa 38 näkyy, kuinka suutinneulan kiiltävä osa on sel-

västi tumman kalvon peitossa. Suutinneulan kiiltävä alue ei ole kosketuksissa kärjen liu-  
kupintojen kanssa, mutta siitä on helpompi havainnollistaa kalvon muodostuminen kuin  
pinnoitetusta mustasta alueesta.

#### 7.4.4 Kuula

Venttiilin paluukanavan sulkevan teräksisen kuulan ei havaittu kuluvan yhtään. Halkai-  
sijalta noin yhden millimetrin suuruinen kuula pyörii jatkuvasti liikuessaan, mikä ehkäi-  
see tehokkaasti sen kulumista. Liitteen 2 kuvassa 40 näkyy sekä uusi että käytetty kuula.  
Vanhojen kuulien kokoa mitattiin ja verrattiin uuteen. Mitat olivat kahden mikrometrin  
tarkkuudella samat. Molempien autojen tulokset olivat samanlaiset.

### 7.5 Yhteenveto suuttimien kunnosta

Tuloksista havaittiin, että suuttimessa eniten kuluva osa on venttiilin kuulaura. Venttiili  
osoittautui siis suurimmaksi yksittäiseksi osaksi, minkä kulumisen johtaa koko suuttimen  
toimimattomuuteen eli rikkoutumiseen. Kuulauran kulumisen aiheutti liian suurin paluu-  
vuodon suuttimissa. Liian suuren paluuvuodon aiheutti myös yhden suuttimen katkennut  
venttiilin tiiviste, mikä on toiseksi yleisin syy suurelle paluuvuodolle [12]. Suutinkärki, jolla  
on erittäin suuri vaikutus palotapahtuman kulkuun, oli vielä näillä kilometrimäärillä hy-  
vässä kunnossa. Suutinkärjissä havaittiin kuitenkin kulumista, mutta se ei vielä vaikutta-  
nut kärjen toimintaan. Polttoaineesta materiaalien pinnalle tullut kalvo ei varsinaisesti  
johdu suuttimien kulumisesta. Se voidaan lukea mukaan kulumiseen, koska sitä on vai-  
kea poistaa purkamatta suutinta.

#### 7.5.1 Suuttimien kulumisen vaikutus moottorin toimintaan

Paluuvuodon tehtävä suuttimen ohjaukseen osallistumisen lisäksi on voidella sekä jääh-  
dyttää suutinta. Jos paluuvuodon määrä kuitenkin kasvaa liian suureksi, se aiheuttaa  
ongelmia moottorin toiminnassa. Korkeapainepumppujen kyky tuottaa paineistettua polt-  
toainetta kasvaneella tilavuusvirralla on rajallinen. Jakoputken paine laskee, koska polt-  
toaineen virtaus pois suuttimesta eli paluuvuoto on liian suuri.

Ensimmäinen huomattava ongelma paluuvuodon kasvettua liian suureksi on moottorin  
huono käynnistyminen. Korkeapainepumppujen kyky nostaa jakoputken paine riittävän

korkeaksi matalilla pyörintänopeuksilla ja suurella tilavuusvirralla on rajallinen. Jakoputken paineen on noustava tiettyyn arvoon, jotta ECU käskee suuttimia avautumaan. Suuri ohivuoto aiheuttaakin pitkän käynnistysajan, koska jakoputken paine nousee hitaasti. Paluuvuodon määrän ylittäessä pumppujen tuoton ei jakoputken paine nouse riittävän korkealle pitkälläkään starttauksella. Jakoputken paineen jäädessä alle halutun arvon ei moottori käynnisty ollenkaan. [12]

Liian suuri paluuvuoto aiheuttaa myös jakoputken paineen romahtamista äkillisissä suurissa polttoaineen ostoissa suuttimille, mitä jakoputken tehtävä juuri olisi tasata. Esimerkiksi moottorin kuorman äkillisesti kasvettua polttoainetta tarvitaan enemmän, mutta suuren paluuvuodon ansiosta korkeapainepumppujen tuotto ei riitä ja jakoputken paine laskee. Paineen lasku havaitaan tehottomuutena ja moottorin hyytymisenä. Paineen laskun ollessa riittävän suuri havaitaan se moottorinohjausjärjestelmässä vikana. [12]

Moottorin on havaittu savuttavan usein, jos suuttimien paluuvuoto on liian suuri. Kappaleen 6.3.3 mukaisesti ruiskutus loppuu, kun paluukanava suljetaan ja paine ohjauskammiossa nousee. Venttiilin kuulauran ollessa kulunut, ei kuula tiivistä paluukanavaa täysin. Ruiskutusta lopetettaessa ohjauskammion paine nousee hitaammin kuluneella kuulauralla, koska kuula ei tiivistä paluukanavaa kunnolla. Hitaamman ohjauskammion paineen nousun myötä myös ruiskutus loppuu hitaammin, eli ruiskutusaika kasvaa. Kasvaneen ruiskutusajan johdosta osa polttoaineesta ei pala kunnolla, vaan muodostuu savuna havaittavaa nokea. Venttiilin kuulauran kulumisesta johtuvan kasvaneen ruiskutusajan myötä myös polttoaineenkulutus kasvaa. Polttoaineenkulutus kasvaa, koska halutun ruiskutuksen lopettamisen jälkeen palotilaan vielä virtaa hieman polttoainetta edellä mainitun mukaisesti. Paluuvuodon aiheuttama savutus nostaa auton aiheuttamia hiukaspäästöjä merkittävästi. Erityisesti kaupunkiliikenteessä toimivien autojen vuoksi hiukaspäästöihin vaikuttavat tekniset puutteet tulisi korjata aina mahdollisimman nopeasti. [12]

Venttiilin kuulauran kuluminen voi aiheuttaa niin suuren paluuvuodon, että suutinneula nousee ja ruiskutus alkaa. Näin voi tapahtua, koska paineen laskettua riittävästi ohjauskammiossa suutinneula nousee, vaikkei ECU ohjaisikaan suutinta avautumaan. Suuttimen ruiskuttaessa jatkuvasti polttoainetta, on olemassa suuri riski pahaan moottorivaurioon. Polttoaineesta voi muodostua männän päälle nestepatsas, mikä aiheuttaa esimerkiksi kiertokangen vääntymisen. [12]

Auton 2 sylinterin numero 2 suutin oli käynyt todella kuumana. Kuumana käyminen on johtunut aivan liian suuresta paluuvuodon määrästä. Liian suuren paluuvuodon ansiosta lämpötila suuttimessa nousee korkeaksi, koska korkeapaineinen polttoneste virtaa jatkuvasti pois suuttimesta. Korkeassa lämpötilassa tapahtuu lämpölaajenemista, joka muuttaa suuttimen osien liikematkojen pituutta. Liikematkojen toleranssien ollessa erittäin pienet, ei muutoksille ole yhtään varaa. Liian kuumana käydessään suutin ei siis toimi suunnitellusti. Lämpötilan noustessa myös polttoaineen tiheys laskee, mikä vaikuttaa moottorista saatavaan tehoon sitä heikentävästi. [12]

Suutinkärjen- ja neulan istukkapintojen kuluminen aiheuttaa lopulta suutinkärjen vuotamista. Vuotaminen tarkoittaa sitä, että polttoainetta virtaa palotilaan silloinkin, kun näin ei haluta tapahtuvan. Vuotava suutinkärki aiheuttaa kasvanutta polttoaineenkulutusta, savutusta ja erittäin korkeaa lämpötilaa ja painetta palotilaan. Palolämpötilat vuotavalla suuttimella voivat nousta jopa niin korkeaksi, että mäntä tai sylinterikansi vaurioituvat. Suutinkärjen reiät voivat kulua niin, että niistä ei virtaa riittävästi polttoainetta. Tällainen kuluminen aiheuttaa moottorin tehojen laskua, koska ruiskutusmäärä on suoraan verrannollinen moottorista saatuun vääntömomenttiin. Tutkituissa suuttimissa ei kuitenkaan havaittu suutinkärjen vuotamista tai suutinreikien kulumista. Suutinkärkien kuluminen on vähäistä verrattuna venttiilin kulumiseen nykyaikaisissa common rail -suuttimissa. [12]

Tulosten perusteella paluuvuoto saa olla ohjearvojakin suurempi, mutta moottorin toiminnassa ei välttämättä havaita vielä sen suurempaa vikaa. Valmistajan ilmoittamien ohjearvojen ylityttyä on syytä kuitenkin olettaa, että liian suuri paluuvuoto vaikuttaa moottorin toimintaan sitä heikentävästi. Vaikkei autossa ajossa vielä tuntuisikaan vikaa, on polttoaineenkulutus ja päästöt mahdollisesti jo kasvaneet. Kulutuksen ja päästöjen kasvamisen vuoksi ei suuttimien vaihdon ajankohtaa kannattaisi venyttää, jos on aihetta epäillä suuttimien olevan kuluneita.

### 7.5.2 Kulumiseen johtavat tekijät

Suuttimet kuluvat pääosin kahdesta syystä. Suuttimien rakenteeseen ja toimintaan liittyvä mekaaninen liike sekä korkeapaineisen polttoaineen sisältämät epäpuhtaudet kulluttavat suuttimen osia. Polttoaine sisältää aina erittäin pieniä hiovia partikkeleita, mitkä kovalla paineella virratessaan aiheuttavat hionta- eli abrassiivista kulumista. Verrattuna bensiiniin dieselpolttoaine sisältää paljon enemmän epäpuhtauksia [14, s. 84]. Tästä sekä polttoaineen korkeasta paineesta johtuen diesel ruiskutusjärjestelmältä vaaditaan

parempaa suojaa kulumista vastaan. Polttoaineensuodattimelle asetetut vaatimukset nykyaikaisissa ruiskutusjärjestelmissä ovat korkeat. Suodattimien tulee erotella polttoaineesta jopa kolmen mikrometrin kokoisia partikkeleita [14, s. 84]. Polttoaineen puhtauden tärkeyden takia ei koskaan tulisi käyttää muita kuin valmistajan hyväksymiä suodattimia.

Kahdesta mainitusta kulumista aiheuttavasta tekijästä polttoaineen epäpuhtaudet aiheuttavat enemmän kulumista. Suutinkärjen ja suutinneulan välisen ohjauspinnan välitys on kokoluokkaa 2–4  $\mu\text{m}$  [10, s. 113]. Välykset suuttimen osien välillä ovat niin pieniä, että kulumiselle ei ole varaa. Polttoaineen virtausnopeus suutinreiässä voi olla jopa 2000 km/h [10, s.111]. Suuret likapartikkelit liikkeessaan näin suurella nopeudella aiheuttavat suuttimissa kulumista hyvinkin lyhyessä ajassa. Myös suutinneulan liikenopeus on erittäin suuri, mikä johtaa koviin iskuihin suutinkärjen istukkapintaa vasten. Polttoaineen epäpuhtauksiksi lasketaan myös polttoaineen sekaan päässyt vesi. Veden pääsyä polttoaineen sekaan on mahdotonta estää kokonaan. Vedenerottimen tehtävä on erotella vesi polttoaineesta. Vesi aiheuttaa suuttimessa korroosiota, joka johtaa suuttimien kulumiseen ja rikkoutumiseen.

Suuttimesta eniten kuluvan osan eli venttiilin kuulauran kulumiseen on polttoaineen epäpuhtauksilla erittäin suuri merkitys. Noin yhden millimetrin kokoisesta reiästä virtaa polttoainetta kovalla paineella sekä nopeudella. Polttoaineen seassa olevat partikkelit kuluttavat kuulauraa erittäin tehokkaasti. Kuula myös iskeytyy kovalla voimalla sekä nopeudella venttiiliä vasten. Kuula siis painaa polttoaineessa olevia epäpuhtauksia kuulauraa vasten, jolloin tapahtuu kulumista. Kuulaura kuluu myöskin kuulan siihen aiheuttamasta mekaanisesta rasituksesta, mutta kulumisen nopeutuu, jos polttoaineessa on epäpuhtauksia. [15]

Kulumista voidaan ajatella tapahtuvan myös virheellisistä työskentelytavoista suuttimien kanssa sekä tarvikeosista, joita alkuperäinen valmistaja ei hyväksy käytettäväksi. Suuttimien korjauksen kanssa työskentelevillä tulee olla riittävä tietotaito sekä oikeat työkalut. Pelkästään yksittäisen suuttimen osan väärän kiristysmomentin käyttö mahdollistaa sen, ettei suutin toimi oikein, puhumattakaan siitä, jos osien liikematkoja ei mitata asiaankuuluvasti. Pienikin virhe näin tarkkojen toleranssien sisällä toimivassa osassa voi johtaa jopa koko moottorin rikkoutumiseen. Myös pelkästään suuttimia moottoriin vaihtavilla henkilöillä tulee olla tiedossa oikeat työskentelytavat varsinkin vaaditun puhtauden osalta.

## 7.6 Suuttimien kestoikä

Kaikkiin tutkimuksen kohdeautoihin aikaisemmin tehdyt suuttimien vaihdot haettiin Win-Bus-järjestelmästä ja taulukoitiin. Suuttimet oli aina uusittu vasta niiden rikkouduttua. Järjestelmästä kerättiin myös tietoja siitä, minkä takia suuttimet oli vaihdettu. Käytännössä vaihtoon oli aina ollut syynä joko pitkä startti, moottorin MIL-valon syttyminen tai moottorin tehottomuus. Viat osoittavat selvästi aiemmin todetun mukaan kuluneeseen venttiiliin kuuluraan ja liian suureksi kasvaneeseen paluuvuotoon.

Taulukosta 5 ilmenee, montako suutinta ja millä kilometrilukemalla kuhunkin autoon on vaihdettu sekä auton kilometrilukema helmikuun alussa vuonna 2016. Tutkittavia autoja oli yhteensä 31. Keskiarvo ajomäärälle, jolloin tehtaalla ensiasennussuuttimia on jouduttu uusimaan, oli noin 470 000 km. Arvoon on otettu mukaan tapaukset, joissa suuttimia on vaihdettu 1–6 kpl. Suuttimien ensimmäisen vaihdon ajankohta vaihteli melkoisesti: 180 000 km:n ajomäärästä aina 800 000 km:iin saakka. Ääripäät olivat kuitenkin vain yksittäisiä tapauksia. Osaan autoista suuttimia oli jouduttu uusimaan useita kertoja lyhyelläkin aikavälillä. Kilometrien keskiarvo tähän mennessä jo uusittujen suuttimien eli vaihtosuuttimien uusimisessa, oli vain noin 300 000 km. Arvoon laskettiin mukaan tapaukset, joissa kaikkien suuttimien uusimisen jälkeen on vaihdettu yksi tai useampi suutin. Yhteensä 13 autoon on jouduttu tähän mennessä vaihtamaan suuttimia useammin kuin kerran. Suuttimien kestoikässä ensimmäisen ja toisen vaihtokerran välillä on merkittävä ero. Vaihtosuuttimien pitäisi kuitenkin olla täysin vastaavia kuin tehtaalla asennettujen ensiasennusosienkin. Vaihtosuuttimissa käytetyt komponentit ovat myös täsmälleen samoja kuin tehtaankin ensiasennussuuttimissa. Tiedustelin asiaa myös Atoy Dieselhuollosta, jonka mukaan vaihtosuuttimien huonosta kestoikästä ei ole tullut juuri ollenkaan palautetta. Suuttimien vaihdon yhteydessä on mahdollisesti tapahtunut jotakin, mikä on vaikuttanut merkittävästi suuttimien kestoön.

Taulukko 5. Suuttimien vaihdot autokohtaisesti

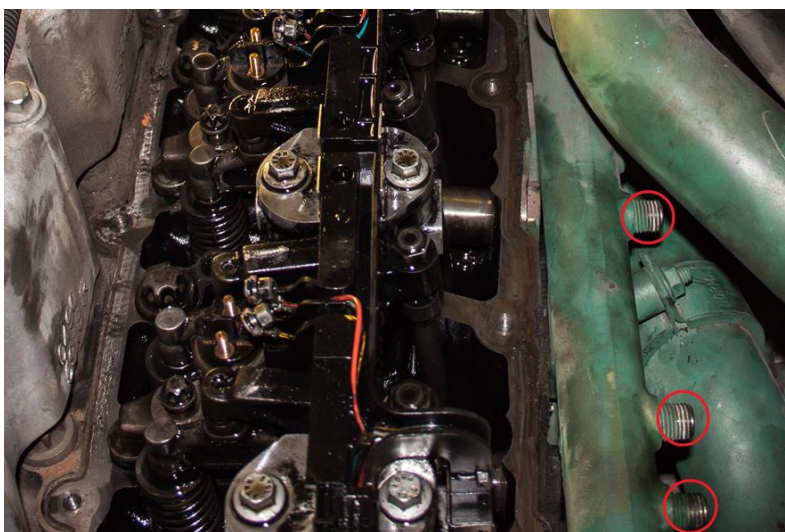
Auto	vaihto 1	vaihto 2	vaihto 3	vaihto 4	KM 2.2016
1	513 016				502178
määrä	6				
2	309 143	690 373	701 734		701996
määrä	6	6	6		
3	738 546	775 278			783708
määrä	1	5			
4	434 215				690893
määrä	6				
5	396 112	849 322			856258
määrä	6	6			
6	490 605				835621
määrä	6				
7	549 109	601 319			780639
määrä	1	1			
8	369 817	723 646			740753
määrä	6	6			
9	358 281				718666
määrä	6				
10	537 566				712096
määrä	6				
11	545 967	547 578			724705
määrä	1	5			
12	272 202	569 971			618540
määrä	6	6			
13	325 827	498 019			639047
määrä	1	6			
14	277 451	472 776			581377
määrä	6	1			
15	493 429				
määrä	1				
16	431 601				693110
määrä	6				
17	305 378	482 924	529 897	571 996	639726
määrä	6	6	1	5	
18	535 428				580227
määrä	6				
19	438 481	571 290			612843
määrä	6	1			
20	330 105	420 631	468 453		552859
määrä	6	1	3		
21	500 868				568804
määrä	6				
22	487 892				563495
määrä	6				
23	499 982				580490
määrä	6				
24	-				562312
määrä	-				
25	670 280				668338
määrä	6				
26	551 302				662463
määrä	6				
27	802 671				1074042
määrä	6				
28	447 970	452 393	709 411	899 659	1032775
määrä	1	1	6	6	
29	826 686				884443
määrä	6				
30	-				523031
määrä	-				
31	180 000				508036
määrä	6				

Taulukossa 5 ilmoitettuihin arvoihin tulee virhettä siitä, että osaan autoista suuttimia on saatettu vaihtaa esimerkiksi Volvon merkkikorjaamolla, mutta muualla autoihin tehdyistä korjauksista ei välttämättä ole tallennettu tietoa WinBus-järjestelmään. WinBus-järjestelmä on otettu käyttöön yrityksen korjaamolla varsin äskettäin, eikä kaikki tiedot autoihin aikaisemmin tehdyistä korjauksista ole täysin varmasti siirtyneet vanhasta järjestelmästä uuteen.

### 7.7 Pohdintaa suuttimien kestoiän parantamiseksi

Suuttimien vaihdon yhteydessä puhtaus on ensiarvoisen tärkeää, koska suljettu polttoainejärjestelmä avataan. Järjestelmän ollessa avonainen, tulisi kaikin tavoin pyrkiä estämään lian pääsy järjestelmään. Kyseinen suutinmalli kestää hieman likaa polttoaineen seassa ilman, että suutin heti lakkaa kokonaan toimimasta. Lika kuitenkin aiheuttaa esimerkiksi venttiilin kuulauraan nopeasti pientä kulumaa, josta se lähtee kuvien 11 ja 14 mukaisesti etenemään. Vaihdon yhteydessä järjestelmään joutunut lika kyllä jää lopulta suodattimeen, mutta on mahdollisesti jo saanut kulumisen alulle.

Vaihdettaessa suuttimet autoihin 1 ja 2 huomasin, ettei korjaamolla ollut käytössä suojatulppia jakopotken korkeapaineputkien lähtöihin. Atoy Dieselhuollosta saatujen ohjeiden mukaan tulisi suojatulppia käyttää aina, kun korkeapaineputket ovat irrotettuina. Vaikka moottorin ympärillä työskentelisi varovaisesti, on silti olemassa todella suuri riski, että avoimiin jakopotken reikiin joutuu likaa ja lika sitä kautta suuttimiin. Kuvassa 16 on punaisella ympyröity selventävästi kohdat, joissa olisi hyvä käyttää suojatulppia.



Kuva 16. Avoimet korkeapaineputkien lähdöt ympyröitynä punaisella

Toinen mahdollinen paikka, josta likaa voi joutua vaihdon yhteydessä suuttimeen on sivusyöttöputken reikä sekä suuttimen pesä sylinterikannessa. Suuttimen ollessa irrotettuna olisi suuttimen pesässä hyvä olla jokin tulppa, jottei sinne pääse likaa. Suutinvalmistajalta on saatavissa tulppa joka eristää pesän suuttimen o-renkaasta alapäin. Sivusyöttöputken reikä sekä suuttimen pesä sylinterikannessa tulisi puhdistaa erityisen hyvin ennen uuden suuttimen ja sivusyöttöputken asentamista. Suuttimen pesän toimiessa polttoaineen paluukanavana tulee sen olla ehdottoman puhdas. Pesän puhdistuksen aikana sylinterikannessa olisi hyvä olla esimerkiksi jokin tappi, joka estää lian pääsyn palotilaan.

Polttoaine voi myös likaantua, jos suuttimen kuparinen pohjatiiviste vuotaa, koska paluukanava on suuttimen alaosassa. Jos pohjatiiviste vuotaa, niin likaiset pakokaasut sotkevat paluupuolen polttoaineen. Kun uutta pohjatiivistettä asennetaan, tulee varmistua siitä, että sylinterikannen puoleinen ura, jota vasten tiiviste tulee, on puhdas ja ehjä. Luvussa 7.4.1 havaitun kupariholkin mahdollisen vuotamisen takia tulee holkin kunto tarkastaa aina suuttimien vaihdon yhteydessä. Tarvittaessa kupariholkit uusitaan.

Polttoainesuodatin tulee uusia aina suuttimien vaihdon yhteydessä. Valmistajan ohjeissa voidaan käskä suuttimien vaihdon yhteydessä uusimaan muitakin osia kuten korkeapaineputket. Näitä ohjeita tulee aina noudattaa. Suuttimien vaihdossa on monia asioita muistettavana. Kun ne tehdään oikein ja huolella, säästetään yksittäisen auton kuluja tuhansia euroja.

## **8 Kulutusmittaukset**

Kulutusmittauksien tulokset on ilmoitettu viivadiagrammein, joissa x-akselilla on aika viikoina ja y-akselilla kulutus yksikössä l / 100 km. Suuttimien vaihdon ajankohta on merkitty diagrammeihin punaisella pystyviivalla. Diagrammeissa ilmoitettu lukema on auton kulutuksen keskiarvo koko viikon aikana tapahtuneista ajoista tutkittavalla linjalla. Vierekkäisten viikkojen arvojen poiketessa toisistaan lähemmäksi kymmentä litraa, ei tietoja käytetty ollenkaan. Autojen 1 ja 2 kulutuksen mittausjakso oli kahdeksan viikkoa ennen ja jälkeen suuttimien vaihdon. Autoihin numeroilla 3–31 tehtyjen suuttimien vaihtojen ajankohdat haettiin WinBus-järjestelmästä sekä tutkittiin vaihtojen vaikutus polttoaineenkulutukseen, mikäli se oli mahdollista.

Luvussa 3.3.1 mainitun mukaisesti tutkittavilla autoilla ajetaan erittäin vaihtelevasti eri linjoilla, joten kaikkien autojen kulutustietojen tutkiminen ei ollut mahdollista valittuina ajankohtina kaikista halutuista autoista. Autot joiden suuttimien vaihdon suhdetta polttoaineenkulutukseen ei pystytty liian erilaisten ajosuoritteiden tai suuttimien vaihdon ajankohtatiedon puuttumisen takia tutkimaan ollenkaan olivat autot: 3, 4, 10, 11, 14, 15, 16, 18, 19, 22, 24, 25, 27, 30 ja 31. Tutkittavia autoja joista tuloksia saatiin oli lopulta 15.

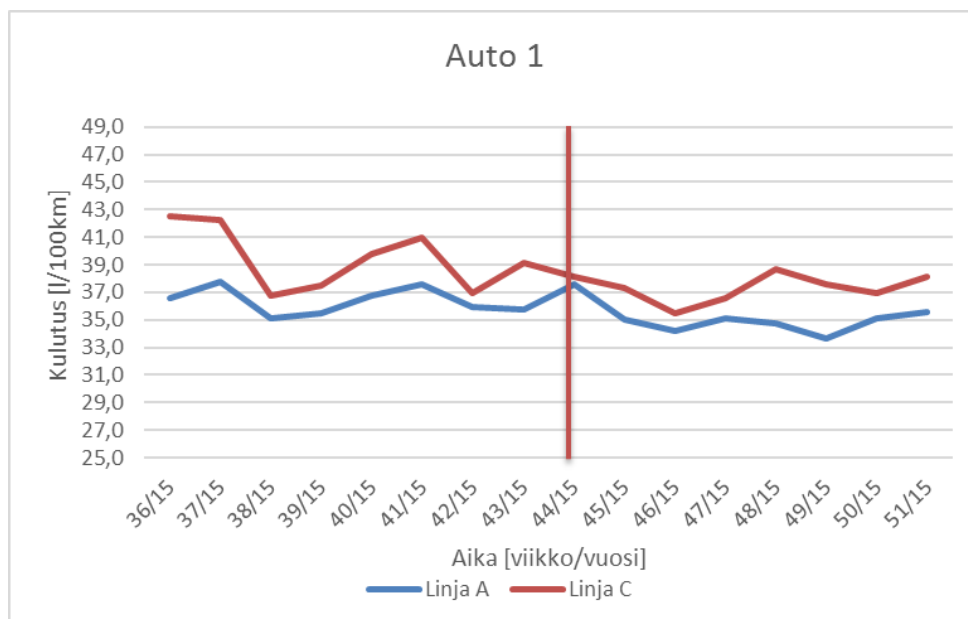
## 8.1 Kulutusmittausten tulokset

### 8.1.1 Auto 1

Autolla 1 ajettiin tutkimusväli (viikot 36–51) linjoilla A ja C. Linjojen ajosuorite viikossa oli 100–300 km. Tutkimusvälin kulutusarvot on ilmoitettu taulukossa 6. Taulukkoon on laskettu keskiarvo polttoaineenkulutukselle ennen ja jälkeen suuttimien vaihdon. Suuttimien vaihtoajankohta on merkitty taulukkoon punaisella. Tulokset on ilmoitettu graafisesti kuvassa 17.

Taulukko 6. Auto 1 tutkimusvälin kulutusarvot

	linja			linja	
aika	A	C	aika	A	C
36/15	36,5	42,5	44/15	37,6	38,1
37/15	37,7	42,2	45/15	35,1	37,3
38/15	35,2	36,8	46/15	34,2	35,5
39/15	35,5	37,5	47/15	35,1	36,5
40/15	36,7	39,7	48/15	34,7	38,7
41/15	37,6	41,0	49/15	33,6	37,6
42/15	35,9	36,9	50/15	35,1	37,0
43/15	35,7	39,1	51/15	35,6	38,2
	keskiarvo ennen			Keskiarvo jälkeen	
	36,4	39,5		34,8	37,2



Kuva 17. Auton 1 polttoaineenkulutuksen muuttuminen suuttimien vaihdon yhteydessä

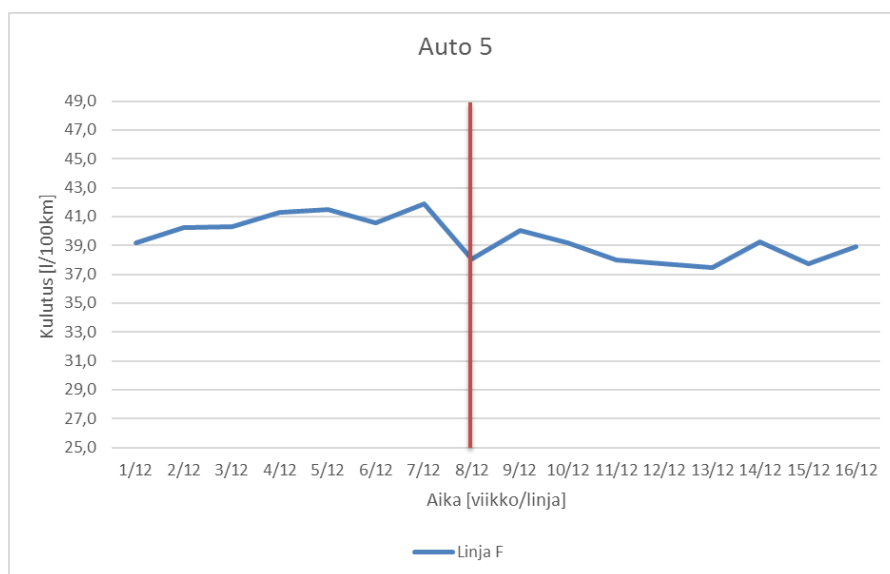
Taulukosta 6 havaitaan, että suuttimien vaihdon jälkeen kulutuksen keskiarvo laski linjalla A noin 1,5 l / 100 km ja linjalla C noin 2 l / 100 km. Linjan A ajosuorite pysyi tasaisempuna tutkimusvälin aikana, mikä näkyy pienempänä kulutuksen vaihteluna viikkojen välillä.

### 8.1.2 Auto 2

HELB:n korjaamolta ilmoitettiin 27.1.2016, että autoon oli jouduttu vaihtamaan kaikki suuttimet uusiksi, vaikka ne vasta 4.11.2015 uusittiin tutkimusta varten. Auton polttoaineen sekaan oli päässyt epäpuhtauksia ja kaikkien suuttimien paluuvuoto oli kasvanut erittäin suureksi. Polttoaineesta otetun näytteen mukaan se oli pelkästään ulkonäkönsä puolesta erittäin likaista. Auton kulutuslukemia ei voitu käyttää tutkimukseen, koska suuttimet rikkoutuivat jo 10 000 km:n ajomäärällä. Tapahtuma vahvisti luvussa 7.5.2 tehdyt päätelmät, että suutin voi huonolaatuisella polttoaineella rikkoutua jo erittäin lyhyessäkin ajassa. Samoin taulukosta 5 havaittu vaihdettujen suuttimien matala kestoikä sai vahvistusta tapahtuneesta. Auton vanhoista suuttimista yhden alaosa oli luvun 7.4.1 mukaisesti ruosteinen. Onkin mahdollista, että kupariholkki on vuotanut jäähdytinnestettä polttoaineen sekaan ja aiheuttanut suuttimien rikkoutumisen. Asiaa ei kuitenkaan tämän työn osalta tutkittu enempää. Rikkoutuneet suuttimet oli keretty lähettää varaosatoimittajalle, joten niitä ei päästy tutkimaan tarkemmin jälkikäteen.

### 8.1.3 Auto 5

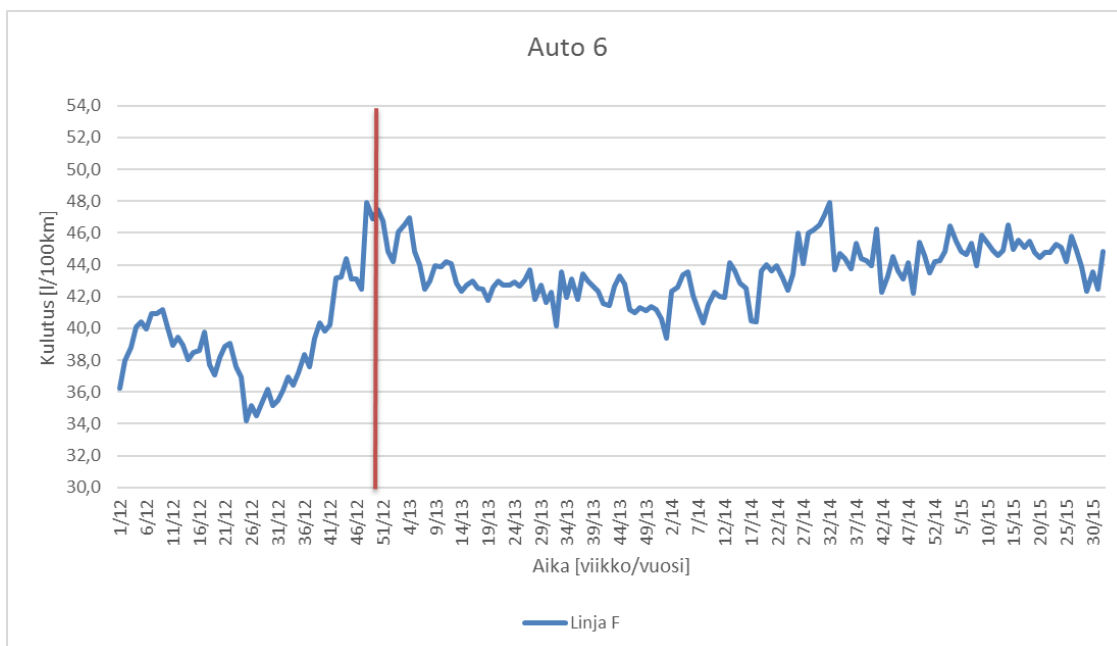
Autoon 5 on vaihdettu kaikki suuttimet kahdesti: ensimmäisen kerran 21.2.2012 ajomäärällä 396 112 km ja toisen kerran 30.11.2015 ajomäärällä 849 322 km. Vaihdetut suuttimet olivat kestäneet 453 210 km eli hieman enemmän kuin tehtaan ensiasennussuuttimet. Kuvassa 18 on esitetty linjan F kulutus graafisesti kahdeksan viikkoa ennen ja jälkeen ensimmäisen suuttimien vaihdon. Kulutus laski suuttimien vaihdon jälkeen noin 2 l / 100 km. Toisen vaihdon vaikutusta ei pystynyt tutkimaan liian erilaisten ajosuoritteiden vuoksi.



Kuva 18. Ensimmäisen suuttimien vaihtokerran vaikutus auton 5 polttoainenkulutukseen linjalla F

### 8.1.4 Auto 6

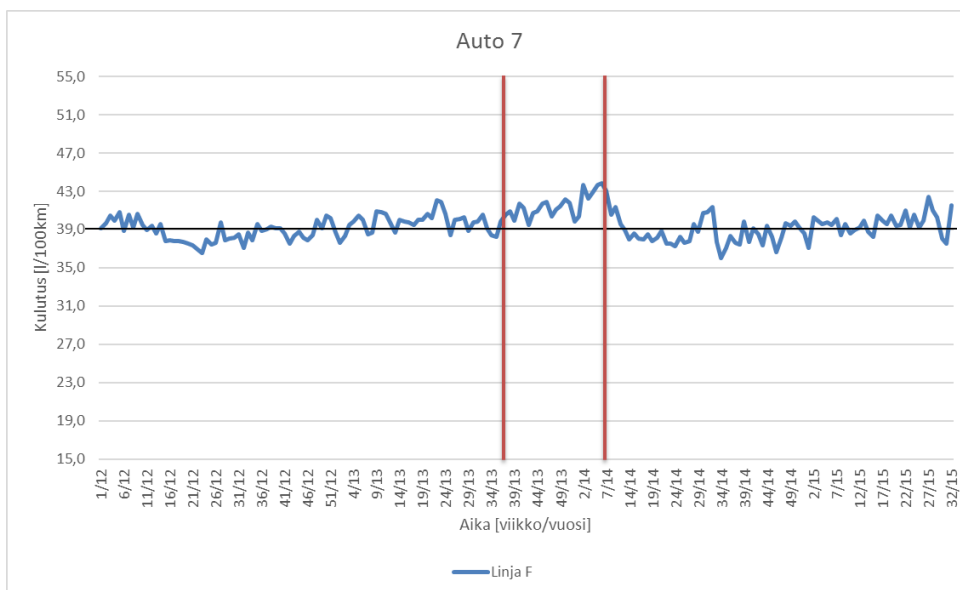
Autoon 6 on vaihdettu yhden kerran kaikki suuttimet 22.11.2012 ajomäärällä 490 605 km. Kuvassa 19 on esitetty linjan F kulutus graafisesti vuosilta 2012–2015. Kuvasta nähdään, että kyseisen auton kulutus linjalla F vaihteli eri viikkoina erittäin paljon. Linjalla F oli myös tapahtunut reittimuutos elokuussa 2012, joka on selvästi havaittavissa kulutuksen jyrkkänä nousuna kyseisenä ajankohtana. Suuttimien vaihdon merkitystä auton 6 kulutukseen oli mahdotonta tulkita tämän tuloksen perusteella.



Kuva 19. Suuttimien vaihdon vaikutus auton 6 polttoaineenkulutukseen linjalla F

### 8.1.5 Auto 7

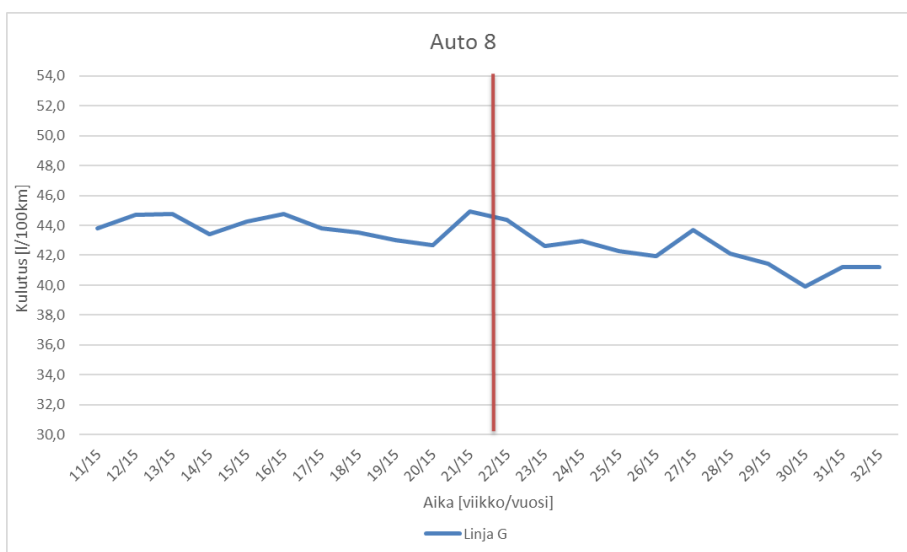
Autoon 7 on vaihdettu vain kaksi suutinta kahtena eri ajankohtana. Ensimmäinen suutin on vaihdettu 2.9.2013 ajomäärällä 549 109 km ja toinen 14.2.2014 ajomäärällä 601 319 km. Suuttimien vaihdon vaikutus kulutukseen linjalla F vuosina 2012–2015 on esitetty graafisesti kuvassa 20. Ensimmäisen suuttimen vaihdolla ei ole havaittavissa muutosta suuntaan tai toiseen. Ennen toisen suuttimen vaihtoa kulutus on selvästi noussut noin 50 000 km:n ajan suuttimen vaihtoon asti. Kulutus laski vaihdon jälkeen huomattavasti. Auton 7 kohdalla voidaan todeta, että yksikin viallinen suutin moottorissa voi nostaa kulutusta.



Kuva 20. Suuttimien vaihdon vaikutus auton 7 polttoaineenkulutukseen linjalla F

### 8.1.6 Auto 8

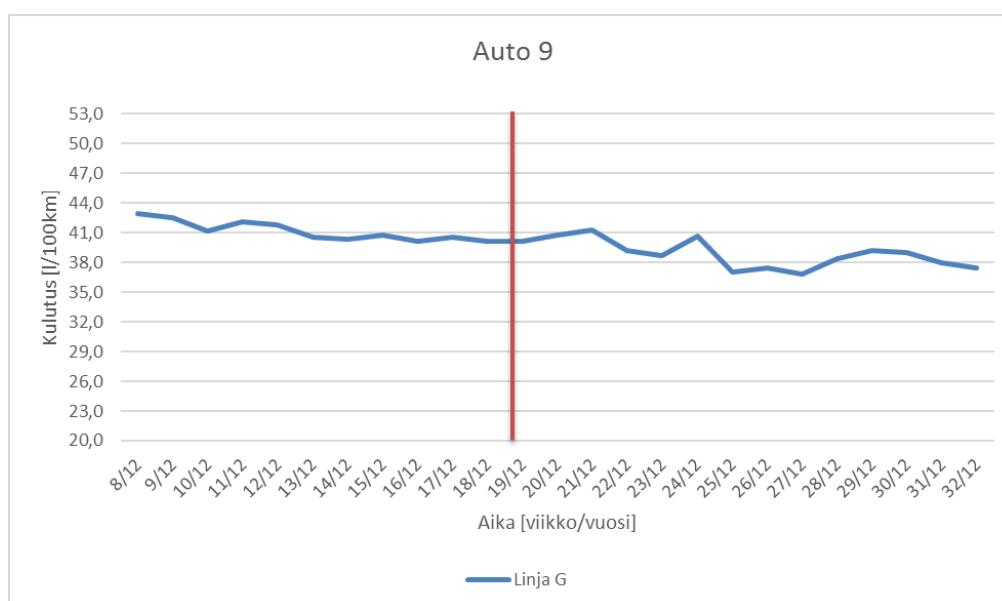
Autoon 8 on vaihdettu kaikki suuttimet kahdesti: ensimmäisen kerran 6.7.2012 ajomäärällä 369 817 km ja toisen kerran 29.8.2015 ajomäärällä 723 646 km. Vaihdetut suuttimet olivat kestäneet 353 829 km eli lähes saman verran kuin tehtaan ensiasennussuuttimetkin. Ensimmäisen vaihdon vaikutusta ei pystynyt tutkimaan liian erilaisten ajosuoritteiden takia. Toisen vaihtokerran vaikutus kulutukseen linjalla G on esitetty graafisesti kuvassa 21. Kulutuksen keskiarvo ennen vaihtoa oli noin 44 l / 100 km, mutta laski vaihdon jälkeen arvoon noin 42 l / 100 km.



Kuva 21. Toisen vaihtokerran vaikutus auton 8 polttoaineenkulutukseen linjalla G

### 8.1.7 auto 9

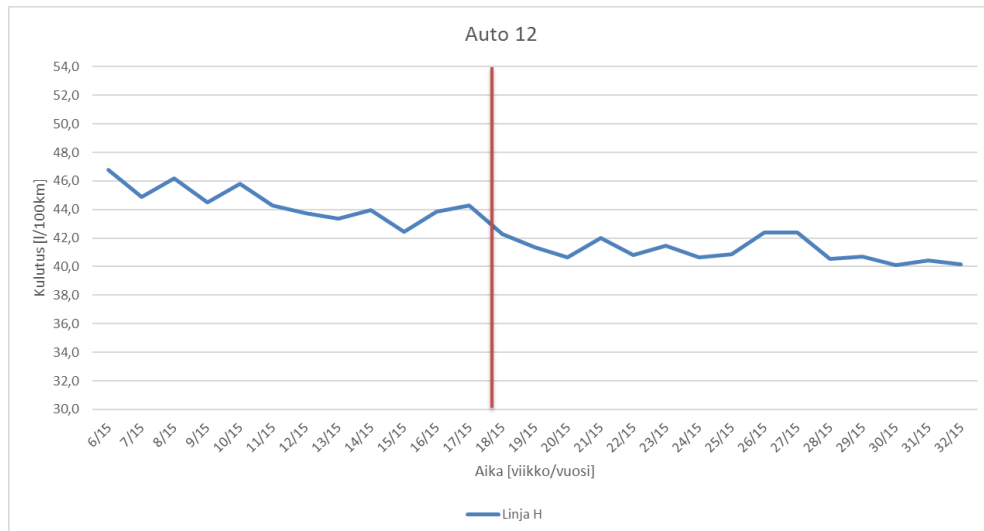
Autoon 9 on vaihdettu yhden kerran kaikki suuttimet 8.5.2012 ajomäärällä 358 281 km. Kuvassa 22 on esitetty graafisesti suuttimien vaihdon vaikutus polttoaineenkulutukseen linjalla G. Kulutus laski tulosten mukaan n. 2 l / 100 km, mutta vasta kaksi viikkoa suuttimien vaihdon jälkeen. Liitteen 3 kuvassa 41 on esitetty Auton 9 kulutus seuraavana vuonna samalla linjalla samaan vuodenaikaan. Liitteestä havaitaan, että linjan kulutus pysyy hyvin tasaisena, eikä viikkojen keskiarvokulutuksen välillä ole juuri ollenkaan eroa. Vertailu osoittaa, että suuttimien vaihdolla oli ainakin pieni kulutusta laskeva merkitys tämän auton kohdalla.



Kuva 22. Suuttimien vaihdon vaikutus Auton 9 polttoaineenkulutukseen linjalla G

### 8.1.8 Auto 12

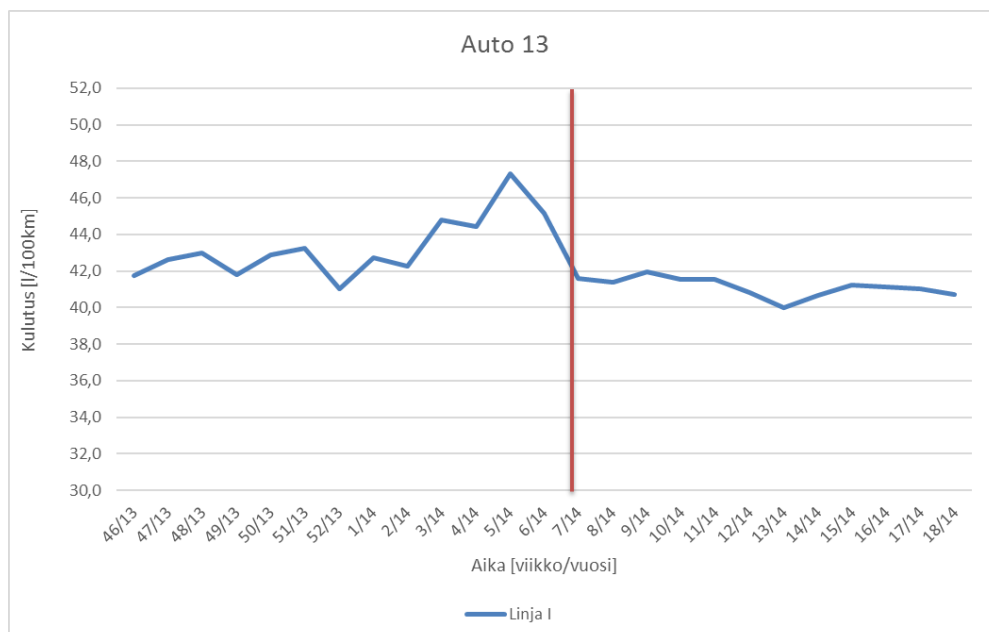
Autoon 12 on vaihdettu kaikki suuttimet kahdesti: ensimmäisen kerran 17.1.2012 ajomäärällä 272 202 km ja toisen kerran 28.4.2015 ajomäärällä 569 971 km. Vaihdetut suuttimet olivat kestäneet 297 769 km eli hieman pidempään kuin tehtaalla ensiasennussuuttimet. Muihin autoihin verrattuna auton 12 suuttimien kestoikä on erittäin matala. Autolla on ajettu runsaasti erittäin lyhyitä eli vain parin kilometrin mittaisia linjoja. Ajo on ollut moottoria kuormittavaa, koska ajaminen on lähinnä vain kiihdytyksiä ja jarrutuksia. Ensimmäisen vaihtokerran vaikutusta ei pystynyt tutkimaan liian erilaisten ajosuoritteiden vuoksi. Toisen vaihtokerran vaikutus kulutukseen linjalla H on esitetty graafisesti kuvassa 23. Suuttimien vaihdon jälkeen polttoaineenkulutus laski noin 2 l / 100 km.



Kuva 23. Toisen vaihtokerran vaikutus Auton 12 polttoaineenkulutukseen linjalla H

### 8.1.9 Auto 13

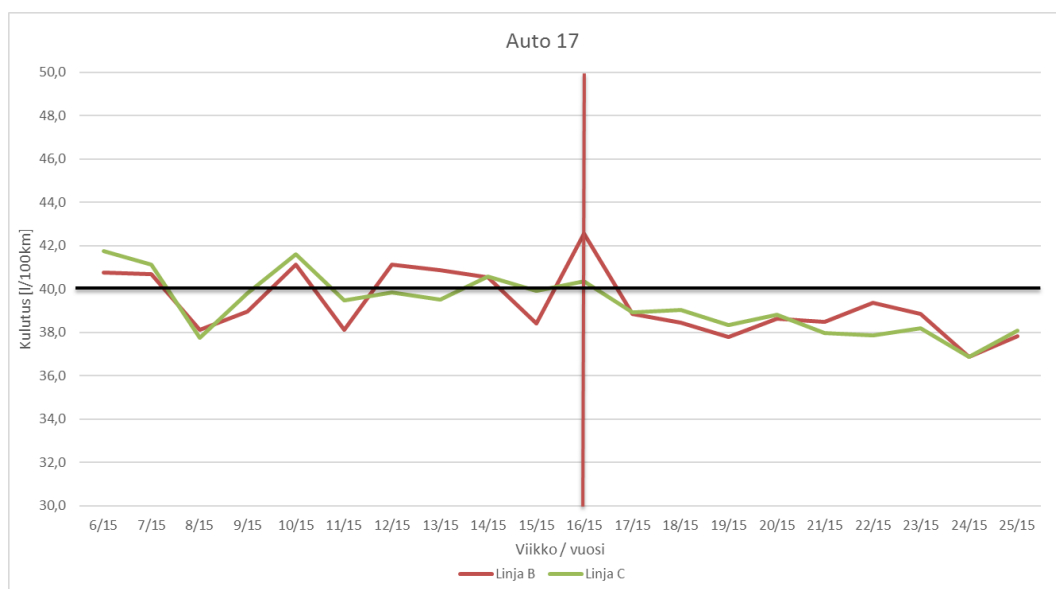
Autoon 13 on vaihdettu yksi suutin 30.1.2012 ajomäärällä 325 827 ja kaikki suuttimet yhden kerran 10.2.2014 ajomäärällä 498 019 km. Yksittäisen suuttimen vaihdon vaikutusta ei pystynyt tutkimaan liian erilaisten ajosuoritteiden takia. Kaikkien suuttimien vaihdon vaikutus linjalla I on esitetty graafisesti kuvassa 24. Kulutus juuri ennen suuttimien vaihtoa oli noussut reilusti, mutta laski vaihdon jälkeen mittaussjakson alun arvoa matalammaksi noin 2 l / 100 km.



Kuva 24. Suuttimien vaihdon vaikutus Auton 13 polttoaineenkulutukseen linjalla I

### 8.1.10 Auto 17

Autoon 17 on vaihdettu suuttimia yhteensä neljä kertaa. Ensimmäisellä kerralla on vaihdettu kaikki suuttimet ajomäärällä 305 378 km, toisella kerralla kaikki suuttimet ajomäärällä 482 924 km, kolmannella kerralla yksi suutin ajomäärällä 529 897 km ja neljännellä kerralla viisi suutinta, kun autolla oli ajettu 571 996 km. Auton polttoainejärjestelmässä on täytynyt olla jotain vikaa, mikä on vaikuttanut suuttimien liian aikaiseen rikkoutumiseen. Ensimmäisellä kerralla vaihdetut suuttimet kestivät vain noin 180 000 km ja toisella kerralla vaihdetut vain noin 90 000 km. Jokaisella kerralla auto on tullut korjattavaksi moottorin tehojen alenemisen vuoksi. Aihetta on käsitelty tämän tutkimuksen kappaleessa 7.5.1. Kuvassa 25 on esitetty graafisesti kolmannen kerran suuttimien vaihdon vaikutus kulutukseen linjoilla B ja C. Suuttimilla oli ajettu vain noin 90 000 km, mutta silti niiden vaihtaminen uusiin laski polttoaineenkulutusta noin 2 l / 100 km.

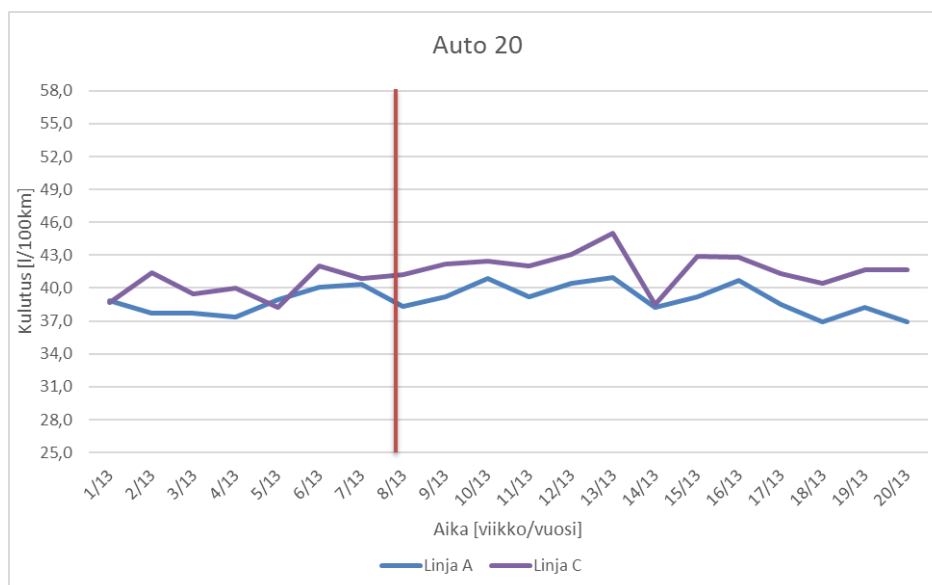


Kuva 25. Kolmannen vaihtokerran vaikutus Auton 17 polttoaineenkulutukseen linjoilla B ja C

### 8.1.11 Auto 20

Autoon 20 on vaihdettu suuttimia yhteensä kolme kertaa: ensimmäisellä kerralla kaikki suuttimet 19.2.2013 ajomäärällä 330 105 km, toisella kerralla yksi suutin 18.2.2014 ajomäärällä 420 631 km ja kolmannella kerralla kolme suutinta 9.9.2014 ajomäärällä 468 453 km. Auto oli tullut korjaamolle joka kerta moottorin tehojen laskemisen vuoksi. Tässäkin autossa vaihdettujen suuttimien kestoikä oli lyhyt. Yksi suutin kesti kaikkien uusimisen jälkeen vain noin 90 000 km ja kolme suutinta vain noin 130 000 km. Kuvassa

26 on esitetty graafisesti ensimmäisen suuttimien vaihtokerran vaikutus kulutukseen linjoilla A ja C.

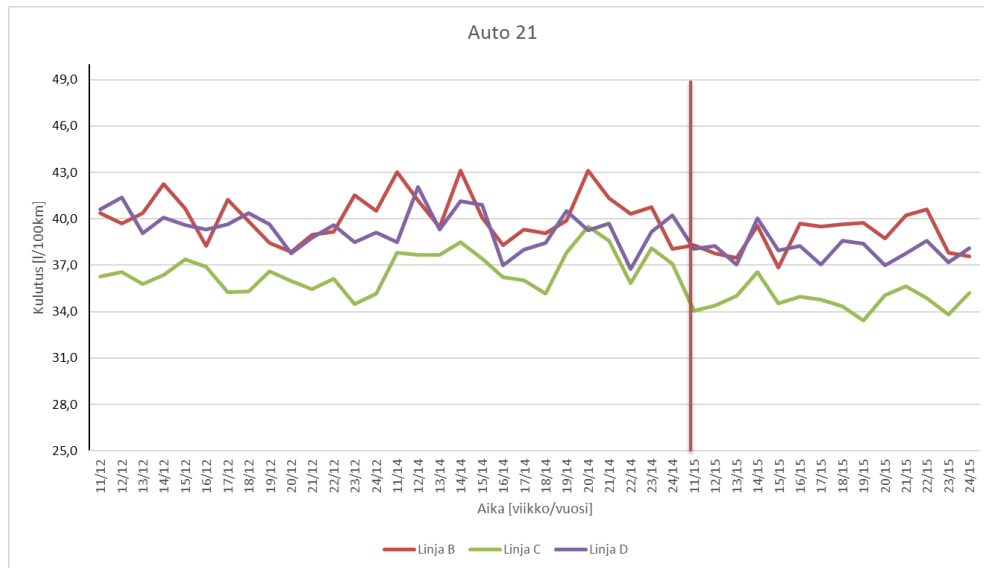


Kuva 26. Ensimmäisen vaihtokerran vaikutus Auton 20 polttoaineenkulutukseen linjoilla A ja C

Auton kulutus olikin yllättäen kasvanut vaihdon jälkeen. Suuttimien lyhyen keston vuoksi auton polttoainejärjestelmässä on täytynyt olla vikaa, mikä mahdollisesti osittain selittää nousseen kulutuksen. Suuttimien vaihto myös ajoittui talveen, joka lisää virhettä kulutuksen muutoksen tutkimiseen. Muiden suuttimien vaihtokertojen vaikutusta ei pystynyt tutkimaan liian erilaisten ajosuoritteiden vuoksi.

### 8.1.12 Auto 21

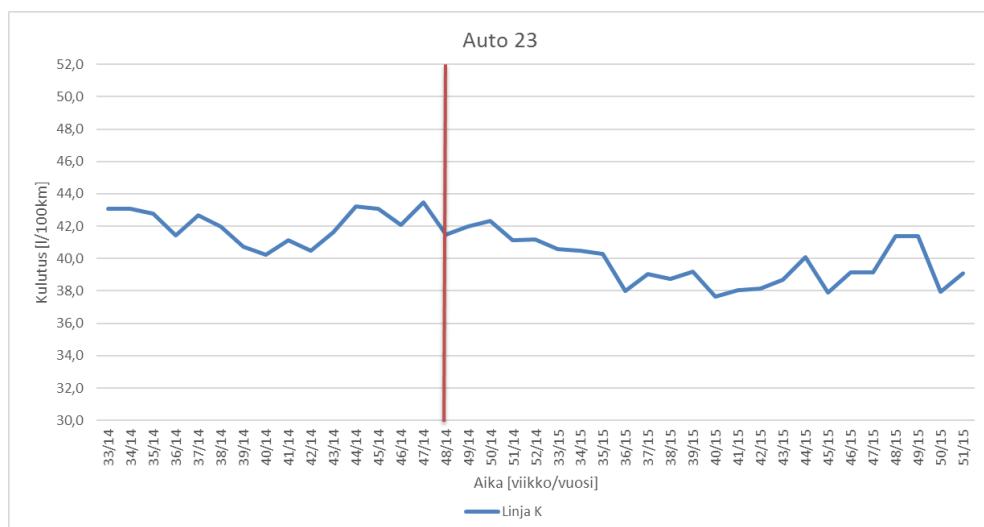
Autoon 21 on vaihdettu yhden kerran kaikki suuttimet 27.2.2015 ajomäärällä 500 868km. Kuvassa 27 on esitetty graafisesti auton 21 kulutus linjoilla B, C ja D viikoilla 11–24 vuosina 2012, 2014 ja 2015. Autolla oli kyseisinä vuosina ajettu saman suuruisia määriä kyseisillä linjoilla, mikä mahdollisti useamman vuoden kulutuksen tutkimisen. Suuttimien vaihtoa edeltävänä vuotena, noin 100 000 km ennen suuttimien vaihtoa kulutus oli noin 2 l / 100 km suurempi kuin suuttimien vaihdon jälkeen. Vuonna 2012 noin 200 000 km ennen suuttimien vaihtoa kulutus oli ollut samaa tasoa kuin vaihdon jälkeen. Tuloksen perusteella suuttimien vaihto olisi ollut kannattavaa 100 000 km ennen niiden rikkoutumista.



Kuva 27. Suuttimien vaihdon vaikutus auton 21 polttoaineenkulutukseen linjoilla B, C ja D

### 8.1.13 Auto 23

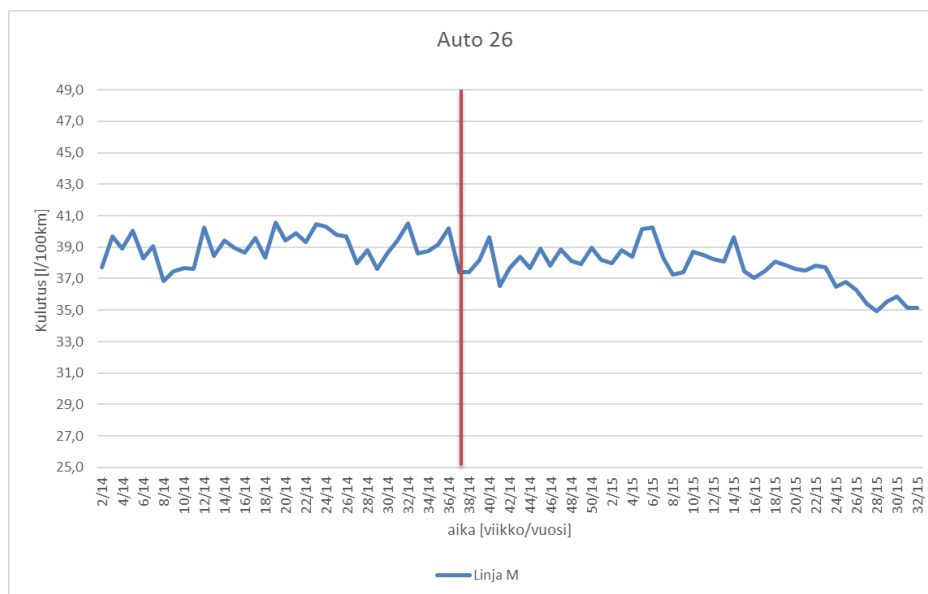
Autoon 23 on vaihdettu yhden kerran kaikki suuttimet 25.11.2014 ajomäärällä 499 982 km. Kuvassa 28 on esitetty graafisesti auton 23 kulutus linjalla K viikoilta 33–51 vuosina 2014 ja 2015. Kulutus laski vaihtoa seuraavana vuonna noin 2 l / 100 km. Liitteen 3 kuvan 42 mukaan autolla 23 ajettiin vuosina 2012 ja 2013 tasaisesti yli 1000 km viikossa linjalla L. Auton kulutus nousi kyseisellä linjalla vähän yli vuosi ennen suuttimien rikkoutumista. Vuodessa autolla oli ajettu noin 100 000 km. Tulosten mukaan kyseisen auton suuttimien kuluminen mahdollisesti alkoi näkyä kohonneena kulutuksena n. 100 000 km ennen niiden rikkoutumista.



Kuva 28. Suuttimien vaihdon vaikutus auton 23 polttoaineenkulutukseen linjalla K

### 8.1.14 Auto 26

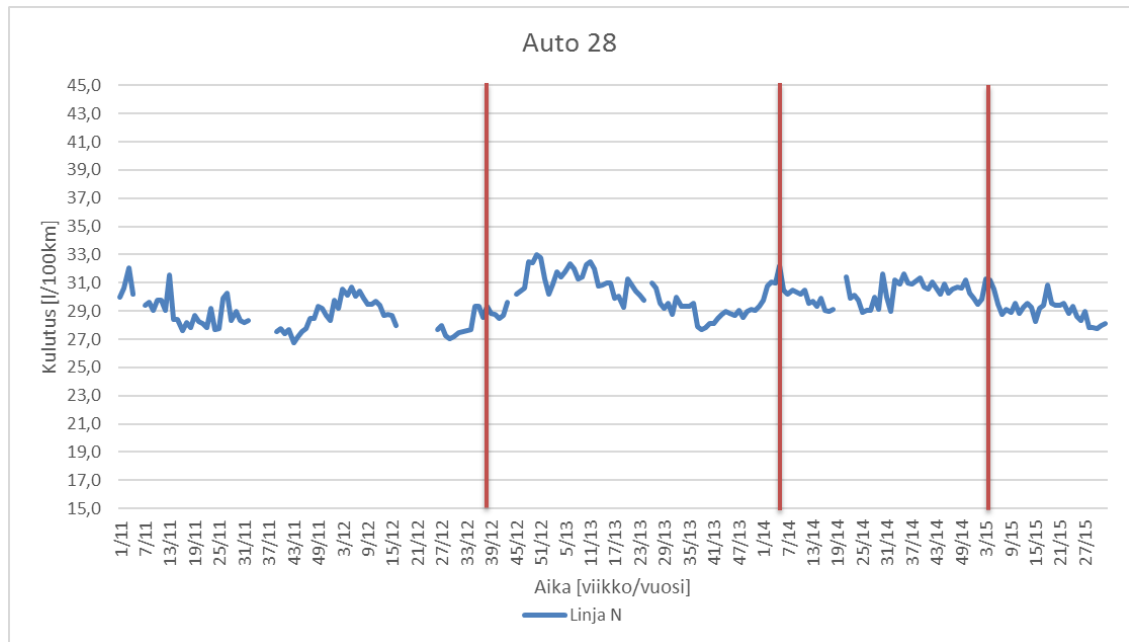
Autoon 26 on vaihdettu yhden kerran kaikki suuttimet 8.9.2014 ajomäärällä 551 302 km. Kuvassa 29 on esitetty graafisesti auton 26 kulutus linjalla K vuoden 2014 viikosta 2 vuoden 2015 viikkoon 32. Kulutus laski tässäkin tapauksessa noin 2 l / 100 km.



Kuva 29. Suuttimien vaihdon vaikutus auton 26 polttoaineenkulutukseen linjalla M

### 8.1.15 Auto 28

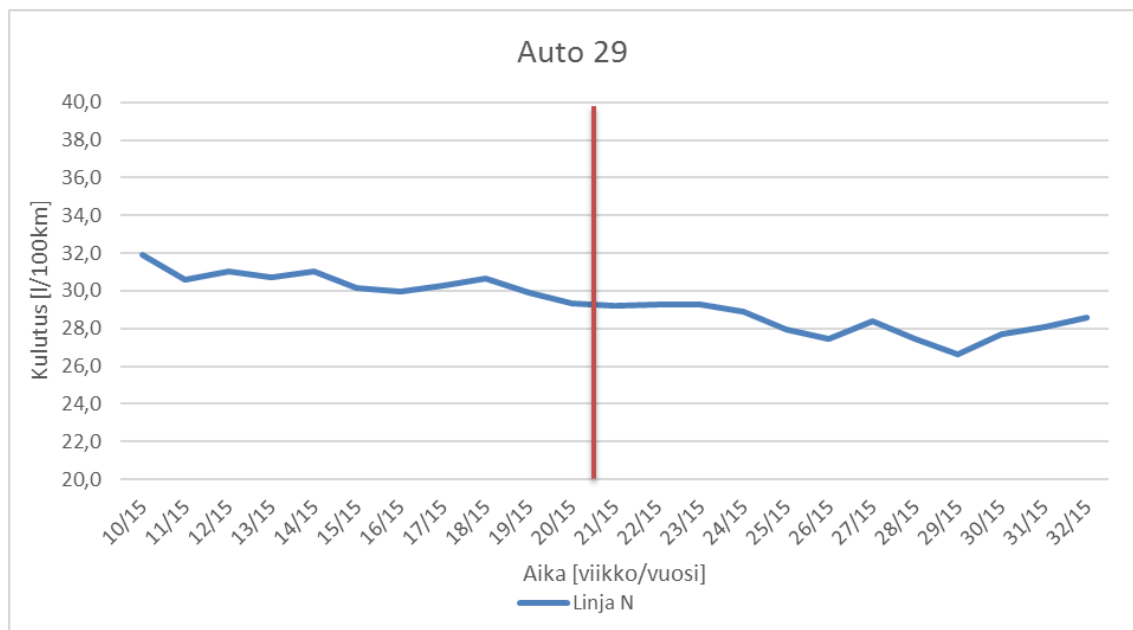
Autoon 28 on vaihdettu suuttimia yhteensä kolme kertaa: ensimmäisellä kerralla kaksi suutinta vuonna 2012 ajomäärällä 452 393 km, toisella kerralla kaikki suuttimet 31.1.2014 ajomäärällä 709 411 km ja kolmannella kerralla kaikki suuttimet 22.11.2015 ajomäärällä 899 659 km. Kuvassa 30 on esitetty graafisesti auton 28 kulutus linjalla N vuodesta 2011 vuoteen 2015. Auto 28 on ajanut kiinteästi linjalla N vuodesta 2011 vuoteen 2015 yli tuhat kilometriä viikossa, mikä mahdollisti näin pitkän tarkasteluvälin. Ensimmäisen kerran uusitut kaikki suuttimet kestivät autossa vain n. 190 000 km. Onkin todennäköistä, että auton polttoainejärjestelmään oli päässyt likaa, mikä johti suuttimien lyhyeen kestoikään. Ensimmäisellä kerralla uusittaessa kaikki suuttimet ei kulutus laskeutunut kuin puoleksi vuodeksi, minkä jälkeen kulutus alkoi nousta uudelleen. Uusittaessa toisen kerran kaikki suuttimet kulutus laski noin 2 l / 100 km.



Kuva 30. suuttimien vaihdon vaikutus auton 28 polttoaineenkulutukseen linjalla N

#### 8.1.16 Auto 29

Autoon 29 on vaihdettu kaikki suuttimet yhden kerran 19.5.2015 ajomäärällä 826 686 km. Kuvassa 31 on esitetty graafisesti auton 29 kulutus linjalla N vuoden 2015 viikoilla 10–32. Kulutus laski tämänkin auton kohdalla noin 2 l / 100 km.



Kuva 31. Suuttimien vaihdon vaikutus auton 29 polttoaineenkulutukseen linjalla N

## 8.2 Yhteenveto kulutusmittauksista

Tuloksista kävi ilmi, että kuluneilla suuttimilla on selvästi vaikutusta polttoaineenkulutukseen sitä nostavasti. Autoja, joista tutkimustuloksia saatiin oli 15. Näistä autoista 13 tapauksessa kulutus oli laskenut suuttimien vaihdon yhteydessä. Polttoaineenkulutuksen lasku oli keskimäärin 2 l / 100 km. Tuloksen voidaan olettaa olevan luotettava, koska tutkituissa tapauksissa 86 %:ssa polttoaineenkulutus laski suuttimien vaihdon jälkeen.

### 8.2.1 Suuttimien vaihtoajankohdat

Tuloksien perusteella ei kuitenkaan voida sanoa varmuudella, millä ajomäärällä suutin on kulunut sen verran, että kuluminen nostaa polttoaineenkulutusta. Yrityksen autoilla ajetaan hyvin erilaisia ajoja, että autojen moottoreihin kohdistuva rasitus vaihtelee suuresti. Ajosuoritteiden suurien vaihteluiden vuoksi autojen kulutuskin vaihteli niin paljon, ettei pitkän ajanjakson kulutuksen muutoksia olisi ollut mahdollista osoittaa johtuvaksi vain suuttimien kulumisesta. Myös suuttimien kestoiän vaihdellessa 200 000 km:n ja 800 000 km:n välillä on mahdotonta sanoa suuttimen kuluneen juuri jonkin tietyn kilometrilukeman kohdalla.

Ajatus tutkimuksessa oli kuitenkin löytää suuttimien vaihdoille jonkinlaiset suositellut ajankohdat. Yritys oli tästä kiinnostunut syystä, että se pystyisi uusimaan suuttimet ennakoidusti. Yritys välttyisi näin tilanteilta, missä lähes poistokunnossa olevaan autoon asennetaan täysin uudet suuttimet vanhojen rikkouduttua. Yhdistämällä taulukosta 4 saadut keskiarvot suuttimien kestoiästä sekä kulutusmittauksista saadut tiedot viittaisivat siihen, että suuttimet kannattaisi uusida ensimmäisen kerran viimeistään noin 400 000–500 000 km:n ja toisen kerran noin 700 000–800 000 km:n tienoilla. Suuttimien kestoiässä oli niin suuria heittoja, että vaihdon ajoittaminen käyttämällä vain yksiä vaihtosuuttimia on tämän tutkimuksen perusteella mahdotonta. Jos vaihtosuuttimien kestoiää ei saada parannettua, voi niiden vaihtaminen ennakoidusti jopa lisätä kustannuksia. Kustannuksia voi tulla lisää, jos täysin toimivat suuttimet uusitaan, mutta vaihdon jälkeen ne rikkoutuvatkin keskiarvoa nopeammin. Suuttimien ennakkoon uusiminen tulisi suorittaa aina yksilöidysti jokaiseen autoon erikseen soveltaen tutkimuksen tuloksia.

## 8.2.2 Suuttimien vaihdosta saavutettavat hyödyt

Tutkimuksessa todettiin, että auto tarvitsee kahdet vaihtosuuttimet elinkaarensa aikana, ellei suuttimien kestoikää onnistuta parantamaan huomattavasti. Autojen 7, 9, 21 ja 23 tulosten perusteella oletettiin, että polttoaineenkulutus nousisi 2 l / 100 km noin 50 000–100 000 km ennen suuttimen varsinaista rikkoutumista. Olettamus tehtiin, jotta pystyttäisiin arvioimaan mahdollisten säästöjen suuruutta, vaikkei kilometrimäärää jolloin suutin nostaa polttoaineenkulutusta ennen rikkoutumistaan pystytytkään määrittämään.

Jos kulunut suutin kuluttaa 2 l / 100 km enemmän 50 000 km:n ajan, kuluu polttoainetta kaavan 2 mukaisesti 1000 l enemmän kuin ehjillä suuttimilla. Vaihdettaessa suuttimet kahdesti autoon, olisi säästö 2000 l auton eliniän aikana. Jos kulunut suutin kuluttaisi 2 l / 100 km enemmän 100 000 km:n ajan, kuluisi polttoainetta kaavalla 2 laskettuna 2000 l enemmän kuin ehjillä suuttimilla. Vaihdettaessa suuttimet kahdesti autoon, olisi säästö 4000 l auton eliniän aikana.

$$\frac{50\,000\text{km}}{100\text{km}} * 2\text{l}/100\text{km} = 1000\text{l}$$

Kaava 2: 50 000 km:n aikana saavutettu polttoainesäästö

Käyttämällä auton keskikulutuksena arvoa 38 l / 100 km, ajomääränä arvoa 1 000 000 km:ä ja säästetyn polttoainemäärän arvona 4000 l:aa, laskisi auton polttoaineenkulutuksen sen eliniän aikana noin yhden prosentin kaavan 3 mukaisesti. Jokaisen auton kohdalla säästöä ei varmasti voida saavuttaa, koska suuttimien kestoikä vaihtelujen vuoksi ei vaihtoajankohtaa voida yhtenäistää, vaan aiemmin mainitun mukaan vaihdot pitäisi tehdä jokaiseen autoon yksilöidysti.

$$1 - \left( \frac{\frac{1\,000\,000\text{ km}}{100\text{ km}} * 38 \frac{\text{l}}{100\text{km}} - 4000\text{ l}}{\frac{1\,000\,000\text{ km}}{100\text{ km}} * 38 \frac{\text{l}}{100\text{km}}} \right) * 100\% \approx 1\%$$

Kaava 3. Prosentuaalinen säästö polttoaineenkulutuksessa auton eliniän aikana

### 8.2.3 Virhetarkastelu

Kulutustiedot on kerätty ajotavanseurantajärjestelmästä, joka taas kerää tiedon auton CAN-väylästä. Järjestelmän mittatarkkuutta on hankala arvioida ilman todentavia mittauksia. Virheen suuruus kuitenkin yksittäisen auton kohdalla on niin pieni, että saatujen tulosten suuntaa-antavuuteen voidaan luottaa.

Jatkuvasti vaihtuneet kuljettajat ja ajetuilla reiteillä tapahtuneet olosuhteiden muutokset aiheuttavat suurimman virheen mittaustuloksiin. Äkillisten kulutusvaihteluiden syiden osoittaminen johtuvaksi vain yhdestä tekijästä on jälkikäteen lähes mahdotonta. Tutkimuksessa kuitenkin tutkittiin niin montaa autoa ja ajettua linjaa, että edellä esitetyt tulokset ovat varsin luotettavia.

## 9 Yhteenveto ja pohdinta

Tutkimuksessa selvitettiin common rail -suuttimien kulumisen vaikutusta polttoaineenkulutukseen Volvon D7E290 -moottorissa, sekä tutkittiin konkreettisesti, kuinka suuttimet kuluvat. Työn tärkein tavoite oli selvittää, nostaako kulunut suutin polttoaineenkulutusta. Tulokseksi haluttiin suurusluokka mahdolliselle polttoaineenkulutuksen nousulle sekä suuntaa antavat kilometrilukemat suuttimien vaihtoajankohdiksi. Työlle asetetut tavoitteet saavutettiin. Tutkimuksesta selvisi, että suuttimien kulumisella on selvästi vaikutusta polttoaineenkulutukseen sitä nostavasti. Kuluneet suuttimet nostivat auton polttoaineenkulutusta noin 2 l / 100 km, eli polttoaineen kulutusta on mahdollista laskea uusimalla suuttimet ennakoidusti. Auton eliniän aikana saavutettavan säästön suurusluokka uusimalla suuttimet ennakoidusti olisi noin yhden prosentin verran optimaalisessa tilanteessa. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella ei suoraan voi päätellä suuttimien kulumisen vaikutusta muiden moottoreiden polttoaineenkulutukseen.

Suuttimien optimaalista vaihtoajankohtaa ei pystytty näillä menetelmillä selvittämään kovinkaan tarkasti johtuen suurista vaihteluista ajettavilla reiteillä, jatkuvasti vaihtuvista kuljettajista sekä eroista suuttimien kestoikässä. Vaihtoajankohdille saatiin kuitenkin suuntaa-antavat kilometrilukemat. Tutkimuksessa selvisi myös, että yhden vaihtosuuttimet eivät riitä auton koko eliniäksi vaan tarvitaan kahdet. Työn tulosten perusteella ei voida

tehdä yhtenäistä johtopäätöstä, miten suuttimet tulisi jokaiseen autoon uusida, vaan suuttimien ennakkoon uusiminen tulisi suorittaa jokaiseen autoon yksilöllisesti pohjautuen tämän työn tuloksiin.

Tutkimukset osoittivat, että tarkastelun kohteina olleista suuttimista kului lähinnä vain venttiilin kuulaura. Suutinkärjet olivat vielä hyväkuntoisia kaikissa tutkituissa suuttimissa. Venttiilin kuulauran kuluminen oli suurin syy tutkittavan suutintyyppin rikkoutumiselle. Miellenkiintoista oli huomata, että saman sarjan suuttimista osassa venttiilin kuulaura saattoi olla hyvinkin kulunut ja osassa täysin ehjä. Toinen huomionarvoinen asia oli usean auton kohdalla tapahtunut vaihdettujen suuttimien huomattavan nopea rikkoutuminen. Yhden suuttimen hinta on noin 500 €, joten vaihdoilla tavoiteltu taloudellinen säästö menetetään, jos suutin ei kestäkään halutunlaisesti [12]. Erityisesti auton 2 kohdalla asia tuli hyvin esille, koska suuttimet rikkoutuivat jo noin 10 000 km:n ajon jälkeen. Keskustelimme asiasta tilaajayrityksen kanssa ja olimme samaa mieltä, että suuttimien kestoikä useassa tapauksessa oli vaihdon jälkeen ollut liian lyhyt. Mietimme myös yhdessä, kuinka suuttimien kestoikää voitaisiin jatkossa parantaa. Kestoiän parantamisessa tärkeimmäksi yksittäiseksi asiaksi esille nousi puhtauden merkitys. Helsingin Bussiliikenteellä on myös tavoitteena vähentää lähiliikenteen aiheuttamia ympäristöpäästöjä. Siksi pitämällä huolta autojen teknisestä kunnosta, vaikutetaan suoraan esimerkiksi kaupunkien ilmanlaatuun parantavasti. Tämän työn tuloksena saatiin yksi uusi keino laskea autojen polttoaineenkulutusta ja päästöjä.





























Suurimmaksi ongelmaksi työssä muodostui autojen vaihteleva ajosuorite. Autojen kulu- tuksesta oli usein erittäin hankala tehdä päätelmiä suuntaan tai toiseen. Jonkin yksittäisen asian muutoksen vaikutusta polttoaineenkulutukseen tarkasti tutkittaessa tulisi käyttää vakioituja olosuhteita. Toinen iso ongelma työtä tehdessä oli tiedon etsiminen, koska julkisesti saatavilla olleet lähteet käsittelivät aihetta hyvin ympäripyöreästi. Virallisia tutkimuksia aiheesta ei tahtonut löytyä, mihin tämän työn tuloksia olisi voinut verrata.

Työtä tehdessä pääsi suorittamaan erilaisia mittauksia ja tutkimuksia sekä perehtymään tarkasti common rail -suuttimien toimintaan. Työn tekemisen aikana oppi ymmärtämään erittäin hyvin nykyaikaisen dieselmoottorin toimintaa. Lopuksi haluan kiittää Helsingin Bussiliikennettä työn tilaamisesta sekä Atoy Dieselhuollon Kari Pussista avusta suuttimien tutkimisessa sekä tiedon hankinnassa.











































































## Lähteet

- 1 Kuukankorpi, Arttu. 2016. Pääkaupunkiseudun liikennöitsijät. Verkkodokumentti <<http://www.kuukankorpi.com/paikallisliikenne/liikennöitsijat.html>>.
- 2 Helsingin Bussiliikenne oy. 2016. Verkkodokumentti. <<http://www.helb.fi>>.
- 3 Hellberg, Göran. 2016. Huoltoinsinööri. Helsingin Bussiliikenne. Helsinki.
- 4 Volvo B7R mallisto. 2009. Esite. Volvo.
- 5 Volvo 8700 mallisto. 2009. Esite. Volvo.
- 6 Volvo D7E 290 moottori. 2009. Esite. Volvo.
- 7 Moottori D7E. 2013. Huoltokäsikirja. Volvo.
- 8 Emission Standards. 2016. Verkkodokumentti. Dieselnet.com. <<http://www.dieselnet.com/standards/eu/hd.php>>.
- 9 The EEV emission standard: a stepping stone to Euro 6? 2010. Verkkodokumentti. Automotiveworld. < <http://www.automotiveworld.com/analysis/commercial-vehicles-analysis/82896-the-eev-emission-standard-a-stepping-stone-to-euro-6/>>.
- 10 Robert Bosch GmbH. 2010. Dieselmootorin ohjausjärjestelmät. Suomentaja Björn Boström. Helsinki. Autoalan koulutuskeskus.
- 11 CRI-N suuttimen rakenne ja toiminta. 2015. Bosch ESI[tronic].
- 12 Pussinen, Kari. 2016. Diesel-järjestelmäasiantuntija. Atoy Dieselhuolto. Kuopio.
- 13 Robert Bosch GmbH. 2009. Korjaus vaihdon sijasta. Verkkodokumentti. <[http://www.boshdieselcenter.fi/mam/boaa/fi/korjaus\\_vaihdon\\_sijasta.pdf](http://www.boshdieselcenter.fi/mam/boaa/fi/korjaus_vaihdon_sijasta.pdf)>.
- 14 Diesel-Engine Management. 2005. 4th Edition. Robert Bosch GmbH.
- 15 A Bosch Guide to potential causes of common rail injector failures. 2014. Verkkodokumentti. Robert Bosch GmbH <<http://www.choosetherightinjector.com/documents/11100/0/0/b894ed00-fc13-42b6-a158-cee5f0644ed2>>.





























## Suuttimien koepenkkitmittausten raportti

 <b>BOSCH</b>		<b>EPS945 CD-TestData</b>	V 4.35.0.3 2015/B 1.4.0.8	16.11.2015 08:48:26 Yleinen testaus		
Asiakas	Auto 925 HELB Kulutusutkimus		Testauspaikka Atoy Power /Dieselhuolto			
Asiakasnumero			Hakalahdentie 13 70460 Kuopio			
Työmääräysnumero			0500 577 374			
Puhelin						
Fax						
Huomautus	Sylinterit 1, 2, 3	Testaaja				
Tyyppi-osanumero		Tyyppi-kaava		Muutospäiväys	Kompensointi	
<b>0445120137</b> --		<b>CRIN 2</b>		11.06.2015		
Valmist.	Komponentit	Tyyppi	Säätöasema	Lämpötila		
<b>Bosch</b>	<b>CR1</b>	<b>1 MV</b>		<b>40</b>	°C	
Valitus						
Diagnoosi						
Huomautus						
	Injektori A	Injektori B	Injektori C	Injektori D	Injektori E	Injektori F
Sarjanumero	6998	2446	7095			
Valmistuspäivä						
Korj.tunnus						
Korj.tulos						
Tiivistesti						
# 3	Leak test			 Tiivistesti		
	Leak test					
n /min	 °C	 MPa	p kPa	p kPa	 s	
→← 1000	→← 40.0	→← 160.0	 10.0	 20	 30	
 50	↓↑ 20.0	↓↑ 1.0	↓↑ 5.0	↓↑ 10	 150	
= 1001	= 39.2	= 160.0	= 10.0	= 20.0	= 187	
Ylin rivi ilmoittaa ohjearvon ja	 mm <sup>3</sup> /H	 mm <sup>3</sup> /H	 mm <sup>3</sup> /H	Alin rivi ilmoittaa kärjen vuototestin		
keskimmäinen rivi sallitun	→← 30.0	→← 30.0	→← 30.0	yhteydessä mitatun paluuvuodon arvon		
poikkeaman ylös- ja alaspäin	↓↑ 30.0	↓↑ 30.0	↓↑ 30.0			
	/A= 15.4	/B= <b>68.3</b>	/C= 23.8			
# 4	Warm Up			 Määrienmittaus		
	Warmup Testbench					
n /min	 °C	 MPa	t  μs	p kPa	p kPa	 s
→← 1000	→← 40.0	→← 100.0	→← 1600	 10.0	 20	 ----
EPS708	Sivu 1					






























Kuva 32. Auton 2 sylintereiden 1–3 suuttimien koepenkkitmittauksen raportin sivu 1

 <b>BOSCH</b>		<b>EPS945 CD-TestData</b>		V 4.35.0.3 2015/B 1.4.0.8		16.11.2015 08:48:26 Yleinen testaus	
Tyyppi-osanumero <b>0445120137</b>		Tyyppi-kaava <b>CRIN 2</b>		Muutospäiväys 11.06.2015		Kompensointi 	
Valmist.	Komponentit	Tyyppi	Säätöasema	Lämpötila		°C	
<b>Bosch</b>	<b>CRI</b>	<b>1 MV</b>		<b>40</b>			
Sarjanumero	Injektori A 6998	Injektori B 2446	Injektori C 7095	Injektori D	Injektori E	Injektori F	
Valmistuspäivä							
 250 = 1000	 20.0 = 39.9	 1.0 = 99.5	 min 400	 5.0 = 10.4	 10 = 19.9	 5 = 5	
# 5	Warm Up			 Määrienmittaus		 °C = 40	
 Warmup Testbench							
n /min →← 1000  250 = 1000	 °C →← 40.0  1.0 = 39.9	 MPa →← 100.0  1.0 = 100.0	t  μs →← 1600  min 400	p kPa  10.0  5.0 = 9.8	p kPa  20  10 = 19.9	s ⌚ ----  ---- = 0	
# 6	Warm Up			 Määrienmittaus			
 Warmup Testbench							
n /min →← 1000  250 = 998	 °C →← 40.0  1.0 = 39.9	 MPa →← 140.0  1.0 = 140.3	t  μs →← 1600  min 400	p kPa  10.0  5.0 = 10.0	p kPa  20  10 = 20.0	s ⌚ ----  5 = 5	
# 7	Warm Up			 Määrienmittaus			
 Warmup Injector							
n /min →← 1000  250 = 999	 °C →← 40.0  1.0 = 40.1	 MPa →← 160.0  1.0 = 160.0	t  μs →← 1600  min 400	p kPa  10.0  5.0 = 10.0	p kPa  20  10 = 20.0	s ⌚ ----  230 = 230	
# 8	VL			 Määrienmittaus			
 Conditioning for VL point							
n /min →← 1000  250 = 1000	 °C →← 40.0  1.0 = 40.5	 MPa →← 160.0  1.0 = 160.0	t  μs →← 1600  min 400	p kPa  10.0  5.0 = 10.0	p kPa  20  10 = 20.0	s ⌚ ----  80 = 80	
# 9	VL			 Määrienmittaus			
 Measure point VL							
n /min →← 1000	 °C →← 40.0	 MPa →← 160.0	t  μs →← 1600	p kPa  10.0	p kPa  20	s ⌚ ----	




Kuva 33. Auton 2 sylintereiden 1–3 suuttimien koepenkkitmittauksen raportin sivu 2

 <b>BOSCH</b>		<b>EPS945</b> CD-TestData		V 4.35.0.3 2015/B 1.4.0.8		16.11.2015 08:48:26 Yleinen testaus	
Tyyppi-osanumero <b>0445120137</b> --		Tyyppi-kaava <b>CRIN 2</b>		Muutospäiväys 11.06.2015		Kompensointi 	
Valmist.	Komponentit	Tyyppi	Säätöasema	Lämpötila			
<b>Bosch</b>	<b>CRI</b>	<b>1 MV</b>		<b>40</b>		<b>°C</b>	
Sarjanumero	Injektori A 6998	Injektori B 2446	Injektori C 7095	Injektori D	Injektori E	Injektori F	
Valmistuspäivä							
 250 = 999	 1.0 = 40.5	 1.0 = 160.0	 $\frac{\mu}{\text{min}}$ 400	 5.0 = 10.0	 10 = 20.7	 --- = 89	
		$\bar{Q}$ / mm <sup>3</sup> /H → ← 144.0 ↓↑ 8.2 /A= 150.6	$\bar{Q}$ / mm <sup>3</sup> /H → ← 144.0 ↓↑ 8.2 /B= <b>153.6</b>	$\bar{Q}$ / mm <sup>3</sup> /H → ← 144.0 ↓↑ 8.2 /C= 150.2	Alin rivi ilmoittaa VL ruiskutusmäärän arvon		
		$\bar{Q}_{\text{v}}$ / mm <sup>3</sup> /H → ← 37.5 ↓↑ 32.5 /A= 31.9	$\bar{Q}_{\text{v}}$ / mm <sup>3</sup> /H → ← 37.5 ↓↑ 32.5 /B= <b>160.5</b>	$\bar{Q}_{\text{v}}$ / mm <sup>3</sup> /H → ← 37.5 ↓↑ 32.5 /C= 43.2	Alin rivi ilmoittaa VL ruiskutusmäärän yhteydessä mitatun paluuvuodon arvon		
# 10	EM Conditioning for EM point		 Määrienmittaus				
n /min → ← 1000  250 = 999	 °C → ← 40.0 ↓↑ 1.0 = 40.5	 MPa → ← 120.0 ↓↑ 1.0 = 120.0	 μs → ← 2000 $\frac{\mu}{\text{min}}$ ---	 p kPa → ← 10.0 ↓↑ 5.0 = 10.1	 p kPa → ← 20 ↓↑ 10 = 20.7	 s → ← ---  50 = 50	
# 11	EM Measure point EM		 Määrienmittaus				
n /min → ← 1000  250 = 999	 °C → ← 40.0 ↓↑ 1.0 = 40.4	 MPa → ← 120.0 ↓↑ 1.0 = 120.0	 μs → ← 2000 $\frac{\mu}{\text{min}}$ ---	 p kPa → ← 10.0 ↓↑ 5.0 = 9.9	 p kPa → ← 20 ↓↑ 10 = 20.6	 s → ← ---  50 = 47	
		$\bar{Q}$ / mm <sup>3</sup> /H → ← 150.2 ↓↑ 7.6 /A= 155.2	$\bar{Q}$ / mm <sup>3</sup> /H → ← 150.2 ↓↑ 7.6 /B= <b>158.4</b>	$\bar{Q}$ / mm <sup>3</sup> /H → ← 150.2 ↓↑ 7.6 /C= 153.6	Alin rivi ilmoittaa EM ruiskutusmäärän arvon		

Kuva 34. Auton 2 sylintereiden 1–3 suuttimien koepenkkitmittauksen raportin sivu 3

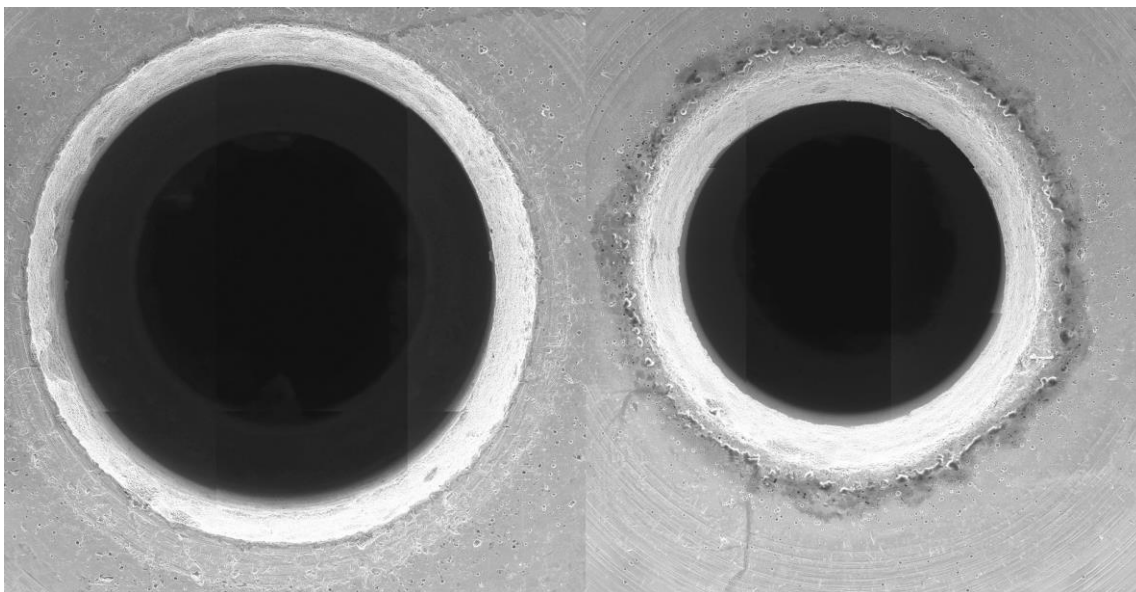
 <b>BOSCH</b>		<b>EPS945</b> CD-TestData		V 4.35.0.3 2015/B 1.4.0.8		16.11.2015 08:48:26 Yleinen testaus	
Tyyppi-osanumero <b>0445120137</b>		Tyyppi-kaava <b>CRIN 2</b>		Muutospäiväys 11.06.2015		Kompensointi 	
Valmist. <b>Bosch</b>		Komponentit <b>CRI</b>		Tyyppi <b>1 MV</b>		Säätöasema 	
				Lämpötila <b>40 °C</b>			
Sarjanumero		Injektori A 6998	Injektori B 2446	Injektori C 7095	Injektori D	Injektori E	Injektori F
Valmistuspäivä							
# 12 LL						 Määrienmittaus	
 Conditioning for LL point							
n /min	 °C	p $\rightarrow$ MPa	t  $\mu$ s	p kPa	p kPa	s	
$\rightarrow$ 1000	$\rightarrow$ 40.0	$\rightarrow$ 70.00	$\rightarrow$ 400	$\rightarrow$ 10.0	$\rightarrow$ 20	---	
 250	$\downarrow$ 1.0	$\downarrow$ 1.0	$\frac{n}{\min}$ ---	$\downarrow$ 5.0	$\downarrow$ 10	 70	
= 998	= 40.4	= 70.0		= 10.1	= 20.5	= 70	
# 13 LL						 Määrienmittaus	
 Measure point LL							
n /min	 °C	p $\rightarrow$ MPa	t  $\mu$ s	p kPa	p kPa	s	
$\rightarrow$ 1000	$\rightarrow$ 40.0	$\rightarrow$ 70.00	$\rightarrow$ 400	$\rightarrow$ 10.0	$\rightarrow$ 20	---	
 250	$\downarrow$ 1.0	$\downarrow$ 1.0	$\frac{n}{\min}$ ---	$\downarrow$ 5.0	$\downarrow$ 10	 ---	
= 999	= 40.4	= 70.4		= 9.9	= 20.1	= 48	
		$\bar{Q}$ mm <sup>3</sup> /H	$\bar{Q}$ mm <sup>3</sup> /H	$\bar{Q}$ mm <sup>3</sup> /H			
		$\rightarrow$ 7.5	$\rightarrow$ 7.5	$\rightarrow$ 7.5			
		$\downarrow$ 4.9	$\downarrow$ 4.9	$\downarrow$ 4.9			
		$\sqrt{A}$ 8.1	$\sqrt{B}$ 9.6	$\sqrt{C}$ 7.7			
		<b>Alin rivi ilmoittaa tyhjäkäynnin ruiskutusmäärän arvon</b>					
# 14 VE						 Määrienmittaus	
 Conditioning for VE point							
n /min	 °C	p $\rightarrow$ MPa	t  $\mu$ s	p kPa	p kPa	s	
$\rightarrow$ 1000	$\rightarrow$ 40.0	$\rightarrow$ 40.00	$\rightarrow$ 400	$\rightarrow$ 10.0	$\rightarrow$ 20	 ---	
 250	$\downarrow$ 1.0	$\downarrow$ 1.0	$\frac{n}{\min}$ ---	$\downarrow$ 5.0	$\downarrow$ 10	 60	
= 1001	= 40.4	= 40.0		= 10.0	= 20.7	= 60	
# 15 VE						 Määrienmittaus	
 Measure point VE							
n /min	 °C	p $\rightarrow$ MPa	t  $\mu$ s	p kPa	p kPa	s	
$\rightarrow$ 1000	$\rightarrow$ 40.0	$\rightarrow$ 40.00	$\rightarrow$ 400	$\rightarrow$ 10.0	$\rightarrow$ 20	 ---	
 250	$\downarrow$ 1.0	$\downarrow$ 1.0	$\frac{n}{\min}$ ---	$\downarrow$ 5.0	$\downarrow$ 10	 ---	
= 1000	= 40.4	= 39.9		= 10.0	= 20.0	= 40	

Kuva 35. Auton 2 sylintereiden 1–3 suuttimien koepenkkimittauksen raportin sivu 4

 <b>BOSCH</b>		<b>EPS945</b> <b>CD-TestData</b>	V 4.35.0.3 2015/B 1.4.0.8	16.11.2015 08:48:26 Yleinen testaus		
Tyyppi-osanumero <b>0445120137</b>	--	Tyyppi-kaava <b>CRIN 2</b>	Muutospäiväys 11.06.2015	Kompensointi 		
Valmist. <b>Bosch</b>	Komponentit <b>CRI</b>	Tyyppi <b>1 MV</b>	Säätöasema 	Lämpötila <b>40</b> °C		
Sarjanumero	Injektori A 6998	Injektori B 2446	Injektori C 7095	Injektori D	Injektori E	Injektori F
Valmistuspäivä						

$\bar{Q}$	mm <sup>3</sup> /H	$\bar{Q}$	mm <sup>3</sup> /H	$\bar{Q}$	mm <sup>3</sup> /H	
→←	3.3	→←	3.3	→←	3.3	
↓↑	2.8	↓↑	2.8	↓↑	2.8	
↙A=	2.3	↘B=	3.0	↙C=	2.0	<b>Alin rivi ilmoittaa esiruiskutuksen ruiskutusmäärän arvon</b>

### Lisäkuvia kuluneista suuttimista



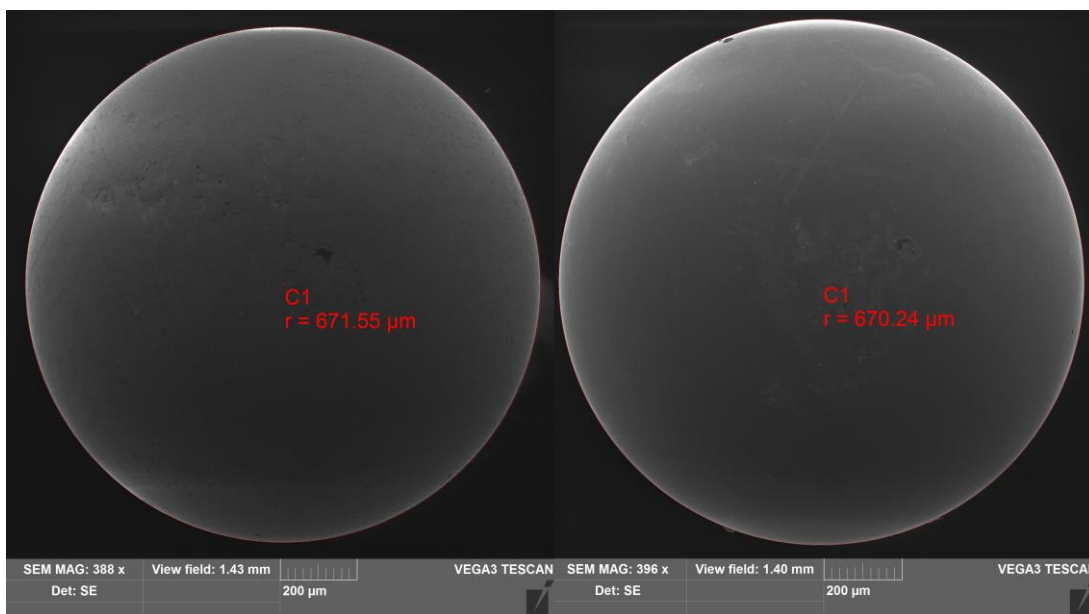
Kuva 37. Käytettyjen suuttimien venttiilien ehjät kuulaurat



Kuva 38. Suutinneulan pinnalle polttoaineesta syntynyt kalvo

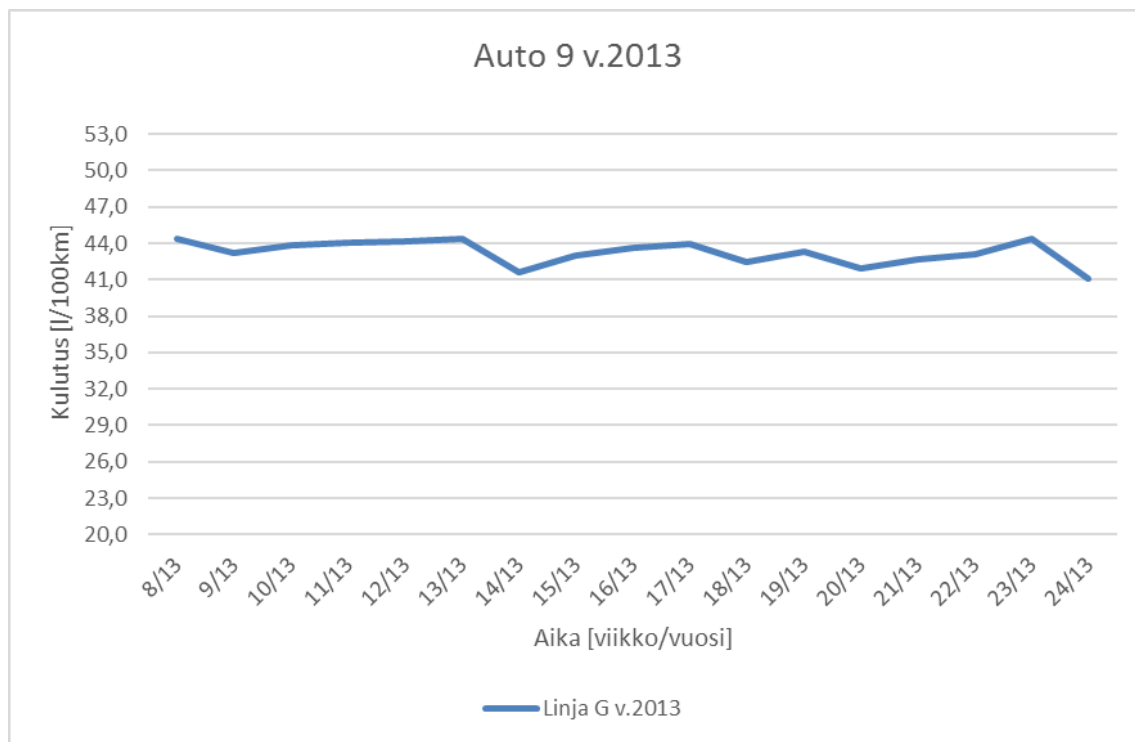


Kuva 39. Lämpötilan vaikutukset suuttimen rungossa sekä suutinkärjessä



Kuva 40. Vasemmalla käytetty ja oikealla uusi kuula

## Lisäkuvia kulutusmittauksista



Kuva 41. Auto 9 polttoainenkulutus linjalla G viikoilta 8 – 24 vuonna 2013



Kuva 42. Auton 23 polttoainenkulutus linjalla L vuonna 2012 ja 2013

Tunti	All								
Linjan tunnus	Isoyear	Viikko	Linja	Tiedot					
Ajoneuvon tunnus	2013	1	4362	Tuntematon				1 l/100 km	1 Ajettu km
Ajoneuvon tunnus	1056								
	l/100 km	Ajettu km	l/100 km	Ajettu km	l/100 km	Ajettu km			
957	41,0	973	35,0	447	28,6	98	38,5	1969	
Kaikki yhteensä	41,0	973	35,0	447	28,6	98	38,5	1969	

Kulutus linjalla
Linjalla ajettut kilometrit
Viikossa ajettut kilometrit yhteensä

Kuva 43. Tiedonkeruujärjestelmästä saadut tiedot yhden auton yhden viikon ajoista