



KORJAAMOKÄYTTÖÖN KEHITETYN PAINEMITTARIN  
SOVELTUMINEN DIESELMOOTTOREIDEN VIANHAKUUN

Jaakko Vimpari  
2011  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

KORJAAMOKÄYTTÖÖN KEHITETYN PAINEMITTARIN  
SOVELTUMINEN  
DIESELMOOTTOREIDEN VIANHAKUUN

Jaakko Vimpari  
Opinnäytetyö  
28.4.2011  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

Koulutusohjelma	Opinnäytetyö	Sivuja	+	Liitteitä
Kone- ja tuotantotekniikka	Insinööriö	55	+	4
Suuntautumisvaihtoehto	Aika			
Auto- ja kuljetustekniikka	2011			
Työn tilaaja	Työn tekijä			
Autokorjaamo T:mi Sauli Marttila-Tornio	Jaakko Vimpari			
Työn nimi	Korjaamokäyttöön kehitetyn painemittarin soveltuminen dieselmootoreiden vianhakuun			
Avainsanat	Dieselmoottori, pakokaasuahdin, hiukkassuodatin, mittaus, paineanturi			

Tässä insinööriössä tutkittiin työn tilaajan Sauli Marttila-Tornion kehittämää tietokoneohjelmalla toimivaa painemittaria. Mittari on kehitetty nykyaikaisten dieselmootoreiden paineohjattujen järjestelmien, kuten muuttuvasiipisen ahtimen, vianhakuun. Mittarilla saadaan yhtäaikaista oskilloskooppikuvaajaa ali- ja ylipaineesta. Näissä järjestelmissä on paljon monimutkaisia komponentteja ja vianhaku on pelkän järjestelmätestauslaitteen avulla vaikeaa. Työn avulla pyrittiin selvittämään, millaisia vikoja VP-tester-mittalaitteella voidaan varmuudella paikantaa.

Tutkimuksessa mitattiin kolmen erimerkkisen nykyaikaisen yhteispaineruiskutuksella varustetun auton paineohjattuja järjestelmiä. Järjestelmien painearvot mitattiin toimivana, jotta niitä voidaan käyttää ohjearvoina vianhaussa. Järjestelmien komponentteihin simuloitiin erilaisia vikoja ja tutkittiin, miten viat vaikuttavat painearvoihin.

Tutkimuksen avulla saatiin selville, miten laite sopii paineohjattujen järjestelmien vianhakuun. Laite tuo varmuutta vianhakuun ja sen avulla osaava asentaja löytää viallisen komponentin. Erityisesti hiukkassuodattimen ja ahtimen ohjauksen vianhakuun laite on hyvä.

## **ALKULAUSE**

Tämä insinöörityö on tehty Oulun seudun ammattikorkeakoululla autokorjaamo T:mi Sauli Marttila-Torniolla vuonna 2011. Työssä tutkitaan Sauli Marttila-tornion kehittämää mittalaitetta dieselautojen vianhakuun.

Kiitän työn tilaajaa korjaamoyrittäjä Sauli Marttila-Torniota opinnäytetyön ideasta ja mahdollisuudesta tehdä työ yritykseen. Kiitän myös yliopettaja, TkT Mauri Haatajaa työn ohjauksesta sekä konetekniikan opiskelijaa Kalle Suorsaa Oulun yliopistolta avusta mittausten suorittamisessa.

Oulussa 28.4.2011

Jaakko Vimpari

# SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

ALKULAUSE

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO .....	7
1.1 Autokorjaamo T:mi Sauli Marttila-Tornio .....	7
1.2 Työn aihe .....	7
1.3 Työn tavoitteet.....	8
2 AUTOJEN PAINEOHJATUT JÄRJESTELMÄT .....	10
2.1 Paineohjattujen järjestelmien kartoitus .....	10
2.1.1 Järjestelmän ohjainlaite.....	10
2.1.2 Pakokaasujen takaisinkierätyks (Exhaust Gas Recirculation) .....	11
2.1.3 Pakokaasuahdin ja sen ohjaustavat.....	13
2.1.4 Hiukkassuodattimen tilan tarkkailu .....	16
2.2 Magneettiventtiilit.....	18
2.3 Paineanturit .....	19
2.3.1 Paineanturi, jossa vertailutyhjiö komponentin puolella.....	20
2.3.2 Paineanturi, jossa vertailutyhjiö erillisessä kammiossa .....	21
3 MITTAUSTEHTÄVÄ .....	23
3.1 Mittausten suorituskyky .....	23
3.2 Mittausten suorittaminen .....	23
4 MITTAUSTEN SUUNNITTELU .....	25
4.1 Tutkittava laite .....	25
4.1.1 Kaksikanavainen mittari Vp-tester .....	25
4.1.2 Nelikanavainen mittari Vp-tester 4 .....	26
4.2 Mittauskohteet .....	26
4.2.1 Peugeot.....	26
4.2.2 Renault.....	27
4.2.3 Toyota .....	28
4.3 Vikojen simulointi.....	28
4.3.1 Alipainejärjestelmän viat .....	29
4.3.2 Mekaaniset viat .....	30
4.3.3 Sähköiset viat.....	32
4.4 Tarvittavat välineet .....	33

4.5 Muut mittalaitteet.....	34
4.5.1 Tehonmittauslaitteisto .....	34
4.5.2 Bosch FSA 740 .....	36
4.6 Mahdolliset ongelmakohdat.....	36
5 MITTAUSTEN TOTEUTUS .....	38
5.1 Renault.....	38
5.2 Peugeot.....	39
5.3 Toyota .....	40
6 MITTAUSTULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI .....	42
6.1 Renault.....	42
6.1.1 Ahtoputkiston vuoto.....	42
6.1.2 Ahtimen ohjausletkun vuoto .....	43
6.1.3 Alipainepumpun vika .....	44
6.1.4 Pakoputken tukkoisuus .....	44
6.2 Peugeot.....	45
6.2.1 Ahtoputkiston vuoto.....	45
6.2.2 Ahtimen ohjausletkun vuoto .....	46
6.2.3 Ahtopaineanturin vika.....	46
6.2.4 Hukkaportin jumiutuminen.....	47
6.2.5 Pakoputken tukkoisuus .....	47
6.3 Toyota .....	47
6.4 Mittaustulosten vertailu todellisiin vikatilanteisiin .....	48
7 TULOSTEN YHTEENVETO .....	50
8 POHDINTA .....	52
LÄHTEET.....	54
LIITTEET	
Liite 1. Renaultin mittausten tulokset	
Liite 2. Peugeotin mittausten tulokset	
Liite 3. Toyotan mittausten tulokset	
Liite 4. Todellisten vikatilanteiden painekäyrät	

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Autokorjaamo T:mi Sauli Marttila-Tornio

Työn tilaajana on Ylikiimingissä sijaitseva Autokorjaamo T:mi Sauli Marttila-Tornio. Yritys on perustettu vuonna 1996, ja se työllistää yhden henkilön. Sauli Marttila-Tornio on toiminut aiemmin vuodesta 1982 eri autokorjaamoiden palveluksessa ja sen jälkeen perustanut oman korjaamonsa vuonna 1996. Hän on myös hankkinut kahden vuoden mittaisen autosähköalan koulutuksen.

Autokorjaamo T:mi Sauli Marttila-Tornio on merkkiriippumaton yksityinen autokorjaamo, jossa suoritetaan korjaukset huolloista moottorivaurioiden korjauksiin. Korjaamo on erikoistunut autojen sähkövikoihin ja elektronisten laitteiden häiriöiden paikantamiseen. Korjaamolla tehdään myös polttoainekäyttöisten lisälämmittimien asennus- ja huoltotyöt. Korjaamolla on tietotaitoa erityisesti Volvon, Mercedes-Benzin ja Volkswagenin henkilöautomerkkeihin.

## 1.2 Työn aihe

Nykyaikaisissa autoissa on paljon ali- ja ylipaineella toimivia ohjausjärjestelmiä, kuten turboahdinten ja pakokaasujen takaisinkierätyksen ohjaukset sekä hiukkassuodattimen analysointi. Näiden järjestelmien vikojen paikantaminen on vaikeaa pelkällä järjestelmätestauslaitteella, koska laite saattaa antaa joissakin tilanteissa väärän vikadiagnoosin. Virheellisen diagnoosin aiheuttaa se, että autossa on liian vähän tunnistimia paikantamaan vika riittävän tarkasti eikä autonvalmistaja ole osannut odottaa kyseisiä vikoja. Jotta vika voidaan paikantaa varmasti, täytyy painejärjestelmän komponentit saada tarkastettua ja todelliset ohjaus- ja järjestelmäpaineet mitattua. Mittari on kehitetty paikantamaan näiden painejärjestelmien vikakohteet yhdessä järjestelmätestauslaitteen kanssa.

Sauli Marttila-Tornio on kehittänyt näiden vikatilanteiden paineiden mittaukseen tietokonekäyttöisen mittalaitteen. Tällä mittarilla saadaan mitattua yhtä aikaa ali- ja ylipainetta. Mittaustulos tallentuu tietokoneohjelmalle painekuvaajana. Työssä mitataan tällä mittalaitteella testiajoneuvojen painejärjestelmien komponentin kunnossa ja viallisina. Järjestelmien viat simuloidaan eri keinoin ja niiden mittausten tulokset toimivat vikaesimerkkeinä.

Työssä tutkitaan, minkälaisia vikoja VP-tester-mittarilla voidaan varmuudella todeta ajamalla erimerkkisiä autoja tehodynamometrissä. Työssä tuotettavia mittaustuloksia käytetään myös antamaan korjaamolle tietoja vioista sekä eri autovalmistajien ohjeavokäyristä ja -paineista.

### **1.3 Työn tavoitteet**

Työn ensisijainen tavoite on tuottaa tietoa korjaamolle mittaamalla painearvokäyriä eri automerkeistä. Samalla korjaamoyrittäjä Sauli Marttila-Tornion kehittämän laitteen käytettävyyden paranee ja myynti edistyy. Kun laitteen käytöstä on enemmän tietoa, voidaan odottaa myös parempaa onnistumisprosenttia korjauksissa ja siten tyytyväisempiä asiakkaita. Laitetta testataan laajoissa mittauksissa, jolloin saadaan kuva laitteen toiminnasta tulevilla asiakkailla. Tällöin löydetään tuotteen puutteita ja sen kehitystyö edistyy. Kun kehitystyö tehdään tarpeeksi hyvin, vältetään suurelta reklamaatiomäärältä.

Työn oppimistavoitteena on oppia simuloimaan ajoneuvojen paineohjattujen järjestelmien vikoja ja näiden tutkimusten perusteella pystyä paikantamaan viat luotettavasti. Tavoitteena on myös oppia käyttämään järjestelmätestauslaitetta ja oskilloskooppimittaria ja hyödyntämään niitä vianhaussa tehokkaasti.

Työssä pyritään myös selvittämään, tuleeko toimivien järjestelmien painearvojen ja mitattujen oireilevien järjestelmien painearvojen välille tietty esiintymismalli, jota viat seuraavat automerkestä riippumatta. Tällöin voitaisiin pää-



tellä merkistä riippumatta painemittausten perusteella, missä komponentissa vika on.

## **2 AUTOJEN PAINEOHJATUT JÄRJESTELMÄT**

### **2.1 Paineohjattujen järjestelmien kartoitus**

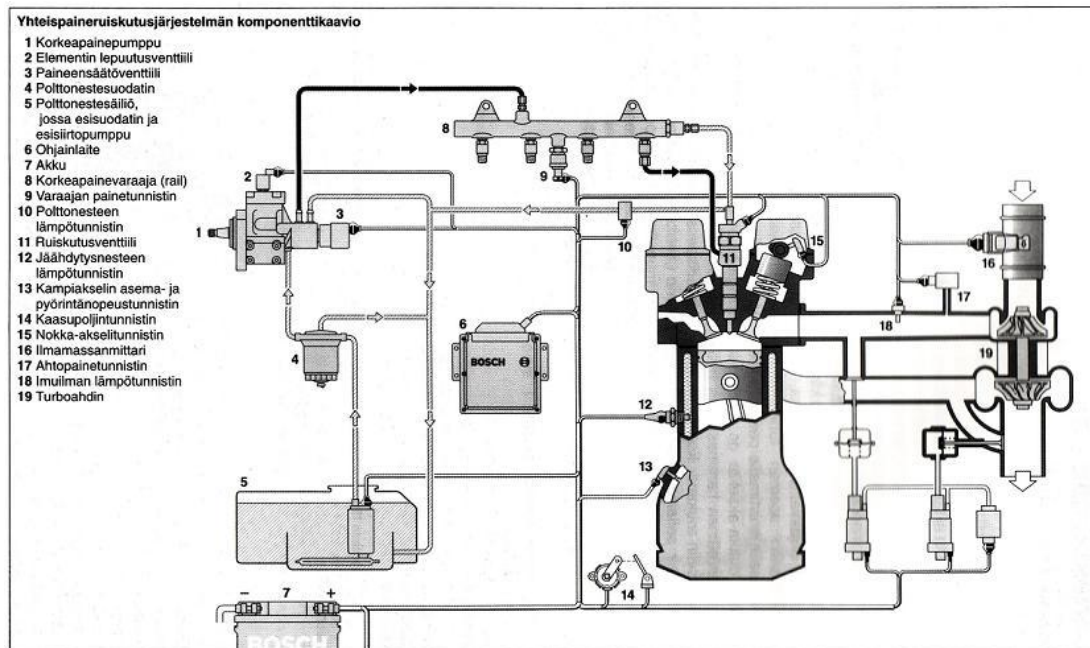
Yhteispaineruiskutuksella varustettujen moottoreiden polttoaineenruiskutus on toteutettu EDC-ohjauksella (Electronic Diesel Control). Tämä tarkoittaa elektronisesti ohjattua dieselsäätöä. Järjestelmä koostuu kolmesta osasta: tunnistimet ja ohjearvoanturit, ohjainlaite sekä säätökomponentit. (Bosch 1999, 30.)

#### **2.1.1 Järjestelmän ohjainlaite**

Moottorinohjainlaite tulkitsee tunnistimien jännitesignaalit ja rajoittaa ne siten, että ne ovat tietyn jännitealueen sisällä. Ohjainlaite tulkitsee sisääntulosignaaleista ruiskutusajan alkuhetken kampiakselin asemaan nähden. Laite määrittää tämän ja muiden tietojen perusteella seuraavan ruiskutuksen aloituksen ja ruiskutusajan. Tämäntyyppinen säätötapa vaatii suuren laskentatehokkuuden nopeutensa vuoksi. (Bosch 1999, 34.)

Ohjainlaite tuottaa riittävän tehokasta ulostulosignaalia toimilaitteille. Ohjainlaite ohjaa seuraavia säätökomponentteja: korkeapainevaraajan paine, ruiskutuselementin lepuutus, pakokaasujen takaisinkierrätys, sähköisen polttoainepumpun rele, ahtopaineensäädin, jäähdytyspuhaltimen rele, lisälämmityksen rele, ilmastointilaite ja hehkurele. (Bosch 1999, 34.)

Pääteasteet ja moottorinohjainlaite on suojattu sulakkeilla oikosulun ja ylikuormituksen varalta. Näiden ja muiden komponenttien viat sekä johtokatkokset tunnistetaan ja mikroprosessori rekisteröi, tallentaa ja ilmoittaa niistä. Myös ruiskutusventtiileiden toimintaa seurataan. Niiden diagnoositoiminto tunnistaa epäloogisen signaalin muodon. Joitain ulostulosignaaleja tuotetaan muille ajoneuvon ohjausjärjestelmille tiedonsiirtoliitännöiden kautta, kuten ABS-järjestelmälle. (Bosch 1999, 34.) Kuvassa 1 on esitetty järjestelmän tärkeimmät komponentit.

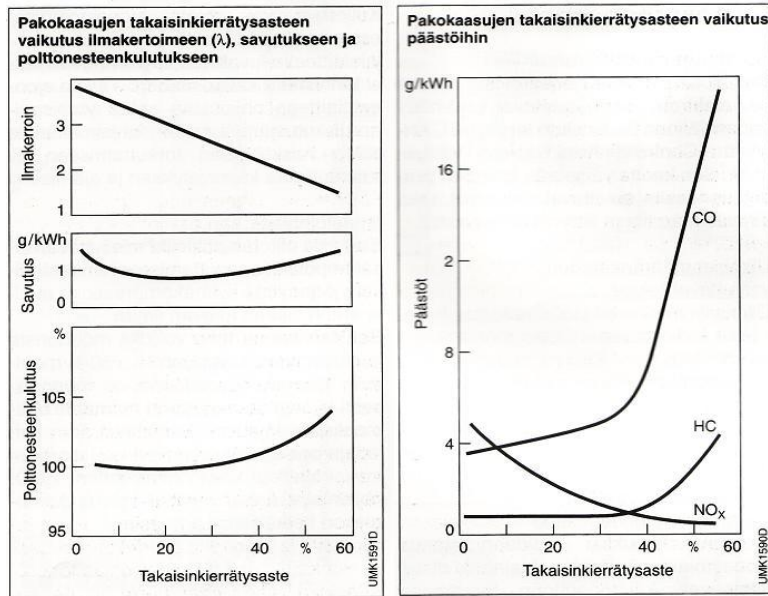


KUVA 1. Yhteispaineruiskutusjärjestelmän komponentit (Bosch 1999, 37)

## 2.1.2 Pakokaasujen takaisinkierrätys (Exhaust Gas Recirculation)

Pakokaasujen takaisinkierrätyksellä tarkoitetaan osan palamiskaasujen kierrättämistä takaisin palotapahtumaan. Takaisinkierrätys voidaan toteuttaa kahdella tavalla: sisäisellä kierrätyksellä käyttämällä pako- ja imuventtiilien yhtäaikaista auki olemista tai ulkoisesti kierrättämällä palamiskaasut pakosarjasta ulkoisen venttiilin kautta takaisin imusarjaan tuoreilmaseoksen joukkoon. (Bosch 2003, 541–563.)

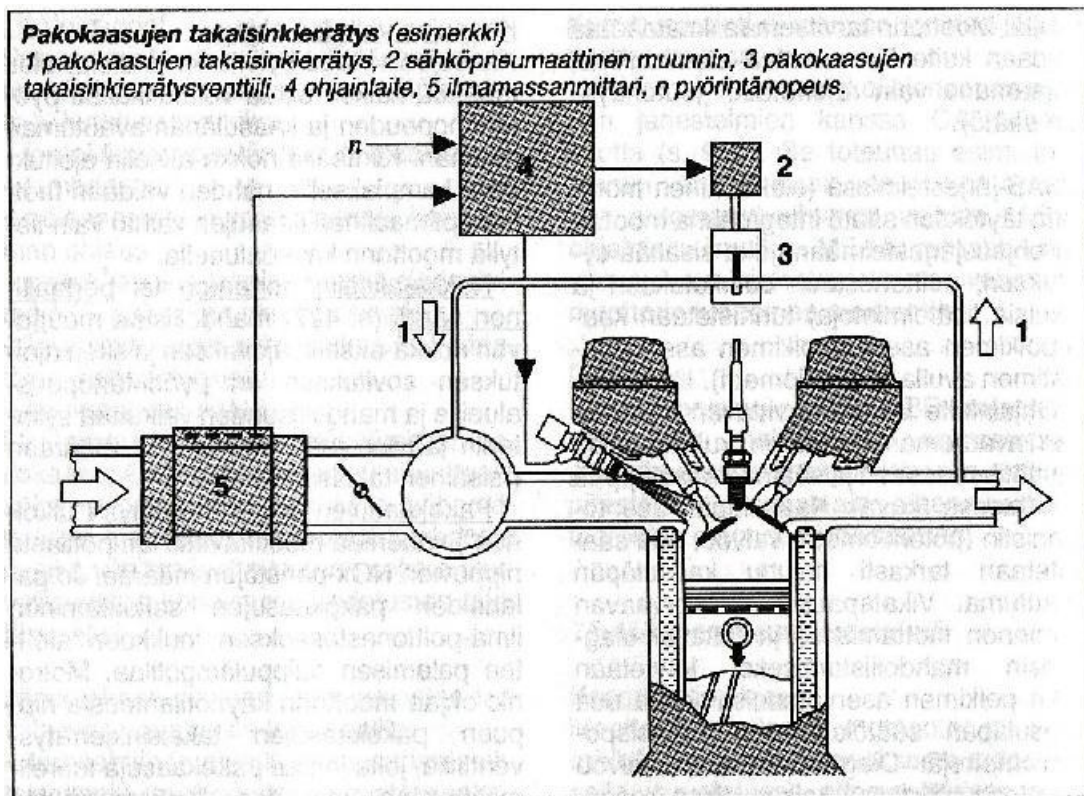
Järjestelmää ohjataan ohjainlaitteella siten, että ilmamassamittarilla mitataan moottoriin kussakin tilanteessa imettävä tuore ilmamäärä ja sitä verrataan kunkin tilanteen ohjearvoihin. Pakokaasujen takaisinkierrätysastetta muutetaan, kunnes ilmamassamittarilta saadaan ohjearvosignaalia vastaava signaali. (Bosch 1999, 39.) Kuvassa 2 on esitetty pakokaasujen takaisinkierrätysasteen vaikutus päästöihin ja polttonesteen kulutukseen.



KUVA 2. Pakokaasujen takaisinkierrätysasteen vaikutus päästöihin ja polttoaineen kulutukseen (Bosch 1999, 39)

Ulkoisella pakokaasujen takaisinkierrätyksellä saadaan vähennettyä typpenoksidien (NO ja NO<sub>2</sub>) määrää pakokaasussa 50–60 %, koska palamislämpötila alenee ja typpenoksidien muodostuminen kasvaa eksponentiaalisesti palamislämpötilan kasvaessa. Moottoriin imettävästä ilmasta voi suurimmillaan olla 40 % pakokaasua. Jos takaisinkierrätysastetta lisätään yli 40 %:n, alkaa muut päästökomponentit ja polttonesteenkulutus kasvaa liikaa johtuen liian pienestä ilman määrästä polttoaineseoksessa. (Huuhtanen 2010.)

Ulkoista pakokaasujen takaisinkierrätysjärjestelmää ohjataan sähköisellä magneettiventtiilillä tai alipaineohjatulla järjestelmällä. Nykyään järjestelmä on myös jäähdytetty ajoneuvon moottorin jäähdytysnesteellä. Esimerkkikuvassa 3 on kuvattu pakokaasujen takaisinkierrätysjärjestelmän toimintaperiaate. (Huuhtanen 2010.)



KUVA 3. Pakokaasujen takaisinkierrätysjärjestelmä ottomoottorissa (Bosch 2003, 542)

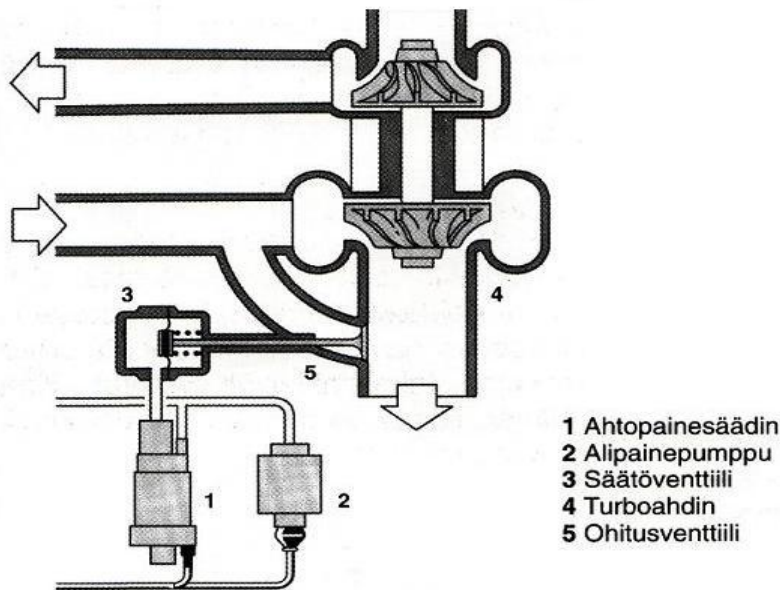
Kuvan 3 järjestelmästä poiketen EGR:n ohjainlaite on yleisesti integroitu moottorinohjainlaitteeseen. Kuvan komponentti 2 on paineohjatuissa järjestelmissä paineenmuunnin, joka ohjaa alipainepumpulta tulevaa järjestelmäpainetta sopivaksi pakokaasujen takaisinkierrätysventtiilillä olevalle alipainerasialle, joka käyttää venttiiliä.

### 2.1.3 Pakokaasuahdin ja sen ohjaustavat

Nykyaikaisissa puristussytytteisissä moottoreissa on yleisesti käytetty kahdentyyppisiä pakokaasuahtimia: hukkaporttiohjattuja ja ohjainsiipiohjattuja ahtimia. Henkilöautojen tulisi tuottaa korkea vääntömomentti alhaisilla kierrosnopeuksilla. Pakokaasuahtimen toiminta-alue ei ole sen toimintaperiaatteen vuoksi koko moottorin kierrosalueen suuruinen. (Bosch 2003, 432.)

Ahdin mitoitetaan toimimaan jo alhaisilla moottorin pyörintänopeuksilla. Tällöin ahtopaine voi nousta yläkierroksilla liian suureksi, jolloin moottorin käyt-

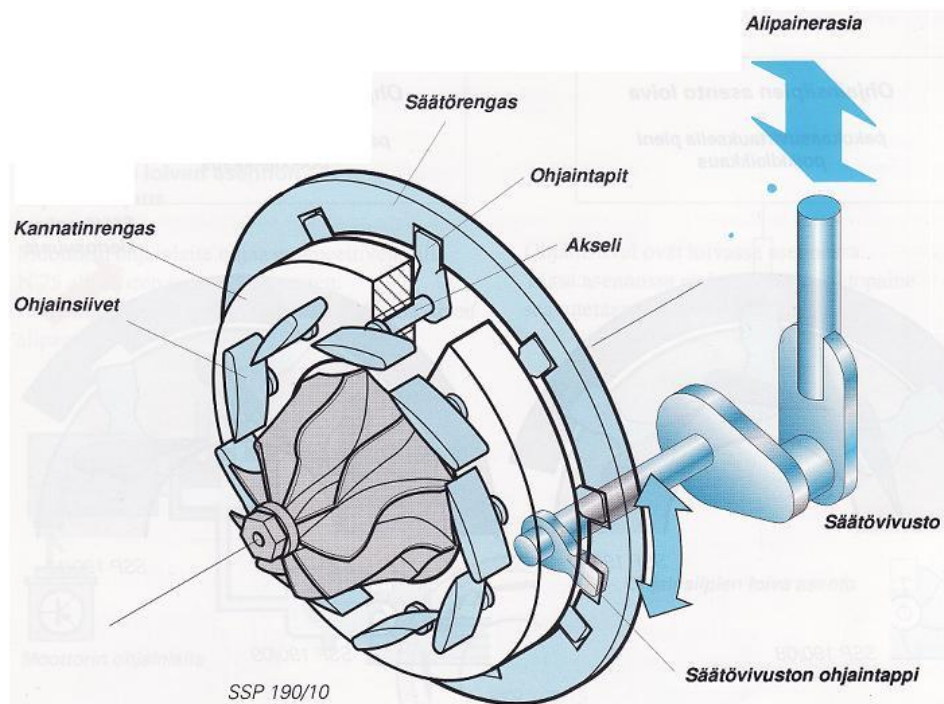
töikä pienenee huomattavasti. Tämän vuoksi laajalla kierrosalueella toimiviin moottoreihin tulee asentaa erillinen ohivirtauskanava ahtimen yhteyteen. Moottorinohjainlaite säättää paineenmuunninta, joka ohjaa järjestelmäalipainetta ohivirtauskanavalla olevaan jousipalautteiseen alipainerasiaan, joka aukaisee kanavan. Tämä tapahtuu, kun moottorinohjainlaite saa tiedon tavoiteahtopaineesta ahtopaineanturilta. Tällaisella periaatteella toimivaa pakokaasuahdinta kutsutaan hukkaportilliseksi ahtimeksi. (Bosch 2003, 484.) Kuvassa 4 on esitetty hukkaportillisen ahtimen toimintaperiaate.



*KUVA 4. Hukkaportillisen ahtimen toimintaperiaate (Bosch 1999, 38)*

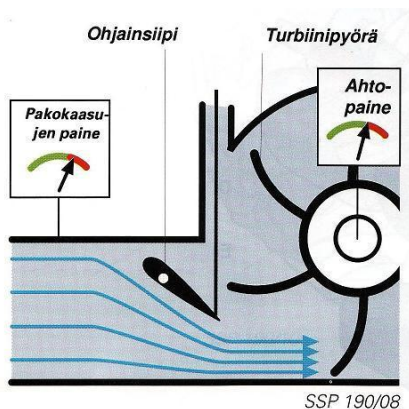
Kuten kuvasta huomataan, tällainen ahtimen ohjausperiaate on huono, koska hukkaportin auetessa osa pakokaasun sisältämästä energiasta johdetaan turbiinipyörän ohi. (Bosch 2003 484.)

Muuttuvasiipisessä pakokaasuahdimessa kaikki pakokaasu johdetaan joka tilanteessa turbiinipyörän läpi. Tämä on mahdollista turbiinin rakenteen ansiosta. Kun ohjainsiivet kääntyvät, turbiinin geometria muuttuu. Tällä säätötavalla saadaan ahtimen toiminta-alue laajemmaksi. (Bosch 2003, 484.) Kuvassa 5 on esitetty muuttuvasiipisen ahtimen periaatekuva.



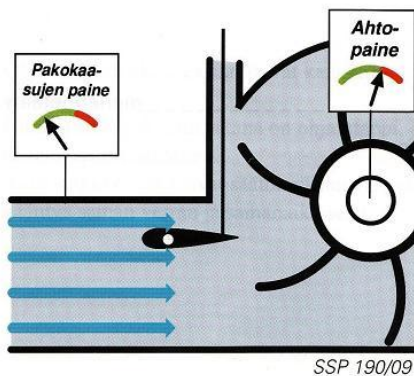
KUVA 5. Muuttuvasiipisen ahtimen toimintaperiaate (Säätyvä turboahdin 1996, 11)

Alkuasennossa pienillä kierroksilla turbiinikotelolle saadaan muodostettua suuri paine pienellä pakokaasuenergialla, jolloin saavutetaan suuri virtausnopeus turbiinisiipien ohi. Kun pakosarjan paine saadaan kasvamaan, myös turbiinipyörä saadaan pyörimään suuremmalla nopeudella ja tämän johdosta myös ahtopaine kasvamaan. (Säätyvä turboahdin. 1996, 12.) Kuvasta 6 voidaan havaita siipien asennon vaikutus pakokaasujen virtauspoikkipintaalaan.



KUVA 6. Ohjainsiivet alkuasennossa (Säätyvä turboahdin. 1996, 9)

Kun moottorin kierrokset ja pakokaasun energia kasvavat, moottorinohjainlaite säättää paineenmuuntimen kautta ohjainsiivet siten, että niiden välinen pinta-ala kasvaa. Tällöin pakokaasu pääsee virtaamaan vapaammin turbiinikotelon ohi ja pakosarjan paine sekä ahtopaine pysyvät halutussa arvossa. (Säätyvä turboahdin. 1996, 12.) Kuvassa 7 on esitetty tilanne, jossa moottorin kierrokset ja pakokaasujen energia ovat suuret, jolloin ohjainsiivet ovat auenneena.



KUVA 7. Ohjainsiivet loppuasennossa (Säätyvä turboahdin. 1996, 9)

## 2.1.4 Hiukkassuodattimen tilan tarkkailu

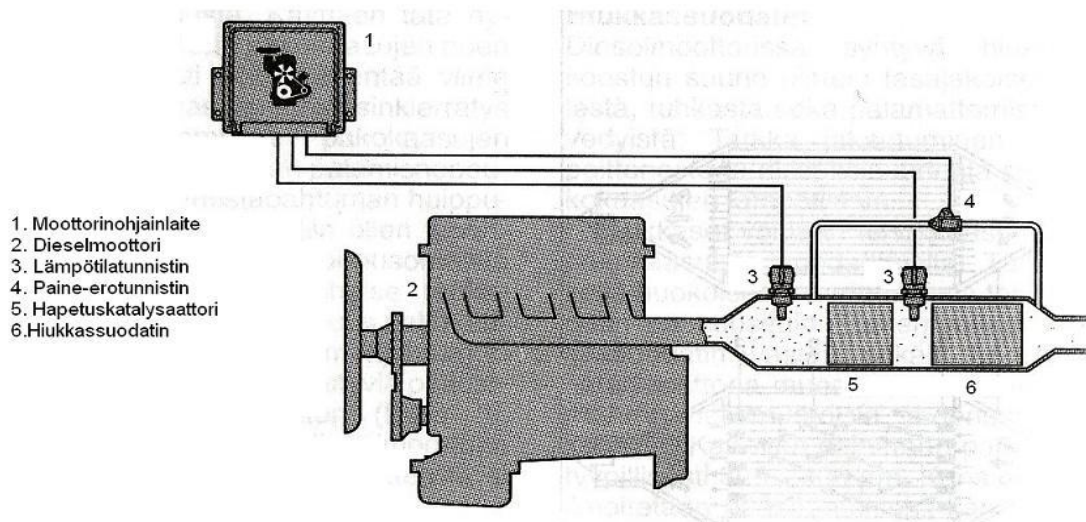
Dieselmootoreiden korkea hyötysuhde aiheuttaa korkeat typenoksidien määrät pakokaasussa, koska polttoneste palaa lähellä yläkuolokohtaa nopeasti muodostaen suuren palamislämmön. Yleisesti on tiedossa, että termisten typenoksidien päästöjen määrä kasvaa merkittävästi palamislämmön kasvaessa. Koska polttoneste suihkutetaan vasta lähellä yläkuolokohtaa juuri ennen palamisen alkua, ei se ehdi sekoittua palotilaan johdetun ilman kanssa riittävän hyvin homogeenisen seoksen aikaansaamiseksi. Tällöin palotapahtumassa ilmenee hapenpuutoskohtia ja polttoneste palaa epätäydellisesti muodostaen nokea. Täten dieselmootorin suurimmat haitalliset raa-  
kapäästöt ovat typenoksidit ( $\text{NO}_x$ ) ja nokihiukkaset. (Bosch 2003, 596.)

Nykyaikaisissa dieselmootoreissa käytetään yleisesti hapetuskatalysaattoria hapettamaan pakokaasun sisältämä häkä (CO) ja hiilivedyt (HC). Tällä me-



netelmällä myös nokihiukkasen koko pienenee, koska sen pintaan kondensoitunut hiilivety hapettuu. Hapetuskatalysaattori sijoitetaan mahdollisimman lähelle moottoria, jotta sen toimintaan vaadittava lämpötila saavutetaan mahdollisimman nopeasti. (Bosch 2003, 596.)

Dieselmoottorin palotapahtumassa muodostuva hiukkanen voidaan poistaa suodattamalla pakokaasuista. Hiukkassuodattimessa vierekkäin olevien kanavien vastakkain olevat päädyt on tulpattu, jolloin pakokaasu virtaa kanavien huokoisten seinämien läpi. Tällöin nokihiukkaset syväsuodattuvat seinämien huokosiin. Hiukkassuodattimen ongelmana on ollut suodattimeen kertyneen noen lopullinen polttaminen eli regeneroiminen. Kun noen määrä kasvaa suodattimessa, kasvaa myös pakoputkiston vastapaine. Tämä heikentää taloudellisuutta ja tehoa. (Bosch, 2003, 596.) Kuvassa 8 on esitetty nykyaikaisen dieselmoottorin pakokaasujen käsittelyjärjestelmä.



*KUVA 8. Nykyaikaisen dieselmoottorin pakokaasujen käsittelyjärjestelmä (Bosch 2003, 596)*

Regenerointia ei tapahdu normaaleissa moottorin käyntiolosuhteissa. Jos regenerointia ei suoritettaisi muilla keinoilla, hiukkassuodattimen käyttöikä olisi lyhyt. Suodattimessa olevat nokihiukkasten sisältämä hiili saadaan hapetettua hiilidioksidiksi, kun lämpötila kasvaa suodattimen sisällä 600 celsiusasteeseen. Jotta suodattimeen saadaan näin suuri lämpötila, täytyy pakokaasujen lämpötilaa kasvattaa merkittävästi. (Bosch 2003, 597.)

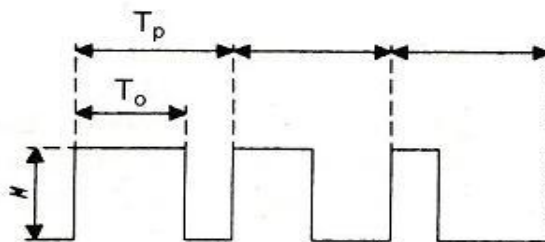
Osa autonvalmistajista on ratkaissut tämän ongelman siten, että moottorinohjainlaite myöhentää ruiskutusennakkoa ja lisää ruiskutettavaa polttoainemäärää. Näin pakokaasujen lämpötila saadaan riittävän korkeaksi hiilen hapettamiseen. (Bosch 2003, 598.)

Moottorinohjainlaite tarkkailee hiukkassuodattimen tilaa painerotunnistimen avulla. Tämä tunnistin mittaa painetta ennen ja jälkeen hiukkassuodatinta. Kun paine-ero on kasvanut tietyn arvon yläpuolelle, käynnistää ohjainlaite regeneroinnin. (Bosch 2003, 598.)

## 2.2 Magneettiventtiilit

Magneettiventtiilit ovat sähköohjattuja 3-tieventtiileitä, joilla säädetään nesteen tai kaasun virtaamaa. Tässä työssä oleellisia ovat ohjausalipainetta säättävät magneettiventtiilit. Näitä venttiileitä kutsutaan ajoneuvojen yhteydessä myös paineenmuuntimiksi.

Venttiileitä ohjataan pulssileveysmoduloinnilla. Ohjauksessa perusideana on venttiilille menevän ohjausjännitteen pulssittaminen. Kuvassa 9 on esitetty ohjauspulssien muoto. (Mäkinen – Koskinen – Kukkonen – Virtanen – Virvalo 1990, 73.)



KUVA 9. Pulssileveysmoduloinnin ohjauspulssien muoto (Mäkinen ym. 1990, 73)

Pulssitus tapahtuu moottorinohjaimen maadoittamalla ohjaussignaalia. Ohjauspulsseilla on kiinteä amplitudi (kuvassa  $T_p$ ) ja impulssien amplitudi vastaa venttiilin saamaa täyttä ohjausta. Pulssien leveyttä ( $T_0$ ) voidaan muuttaa portaattomasti moottorinohjainlaitteen maadoituksella välillä  $0-T_p$  eli  $0-100\%$ . Kun moottorinohjainlaite maadoittaa ohjaussignaalia, magneettiventtiilin käämiin tulee sähkövirta ja sen sisälle muodostuu magneettikenttä, jolloin venttiilissä olevaan ferromagneettiseen sydämeen vaikuttaa voima ja venttiilissä oleva poraus aukeaa. (Mäkinen ym. 1990, 73; Nieminen 1994, 77.)

Pulssileveyttä muutettaessa saadaan siis säädettyä venttiilin auki- ja kiinnioloaikaa. Ohjattava paine on pulssimaista, ellei pulssitus tapahdu riittävän nopeasti. Kun moottorinohjainlaite ohjaa maadoitusta riittävän nopeasti, muodostuu toimilaitteelle venttiilin kiinnioloaikaan verrannollinen keskiarvopaine. (Mäkinen ym. 1990, 74.)

## 2.3 Paineanturit

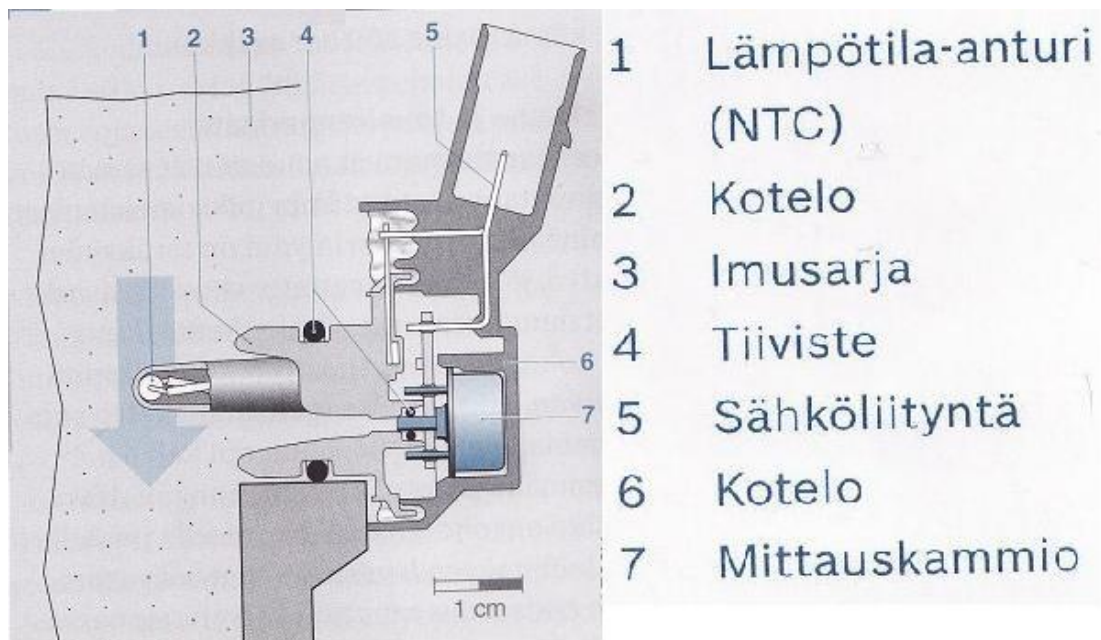
Jos tilassa vallitsee paine, sen voima suuntautuu kaikkiin suuntiin. Paineantureita käytetään ajoneuvoissa paineen mittaukseen eri väliaineista, yleensä nesteestä ja kaasusta. Tässä osiossa käsitellään ajoneuvoissa yleisesti käytettyjä mikromekaanisia paineantureita. (Bosch 2009, 74.) Paineantureilla mitataan ajoneuvoissa yleisesti seuraavia painearvoja:

- imusarjan paine
- ulkoilman paine ilman tiheyden määrittämiseen ahtopaineen säädössä
- öljynpaine
- polttoaineen paine matalapainepiirissä suodattimen tukkeutumisen määrittämiseen.

Mikromekaaninen paineanturi mittaa väliaineen absoluuttista painetta vertaamalla sitä anturissa olevaan vertailutyhjiöön. (Bosch 2009, 128.)

### 2.3.1 Paineanturi, jossa vertailutyhjiö komponentin puolella

Mikromekaanisessa paineanturissa on mittauskammio, joka muodostuu piisirusta johon ohut mittauskalvo on syövytetty mikromekaanisesti. Kalvon pinnalle on diffusoitu neljä venymävastusta. Vastukset toimivat siten, että niiden sähköinen vastus muuttuu, kun mekaaninen venymä muuttuu. Vertailutyhjiö on suljettu kotelon ympärille, joka myös tiivistää mittauskammion. Kuvassa 10 on koteloon lisätty lämpötila-anturi, joka toimii itsenäisesti riippumatta paineanturin arvosta. Tämän tyyppisessä ratkaisussa venymäliuskalla on suora yhteys mitattavaan paineeseen. (Bosch 2009, 128.)

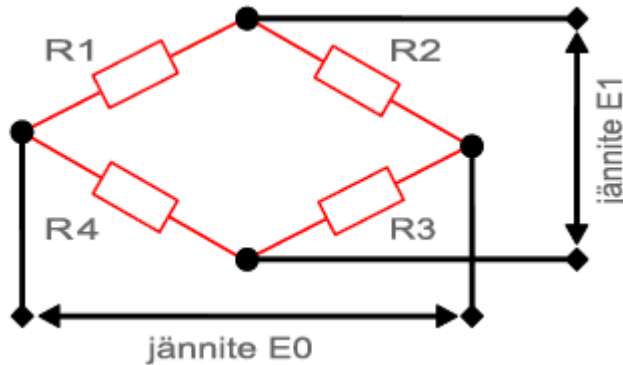


KUVA 10. Paineanturi, jossa vertailutyhjiö komponentin puolella (Bosch 2009, 129)

Anturissa olevan mittauskammion kalvon taipuma on verrannollinen siihen vaikuttavasta ulkotilan paineesta. Kalvoon diffusoidut neljä vastusta muuttaa resistanssiaan paineen aiheuttaman muodonmuutoksen mukaisesti. Tällöin vastuksissa tapahtuu piezoresisttiivinen ilmiö. (Bosch 2009, 128.)

Mittausvastukset on sijoitettu piisirulle seuraavasti: kalvon taipuessa kahden vastuksen resistanssi kasvaa ja kahden pienenee. Vastukset on kytketty Kuvan 11 mukaisesti Wheatstone-siltaan. Kytkentään syötetään jännite E0, jol-

loin mittaustavastusten arvon muutos vaikuttaa mittaussjännitteen E1 arvoon. Tämän tyyppinen kytkentä aiheuttaa suuremman mittaussjännitteen ja parantaa anturin herkkyyttä. Tämä mitattava jännite kuvaa kalvolla vaikuttavaa painetta. (Bosch 2009, 128; Venymäliuskat. 2007, 2.)

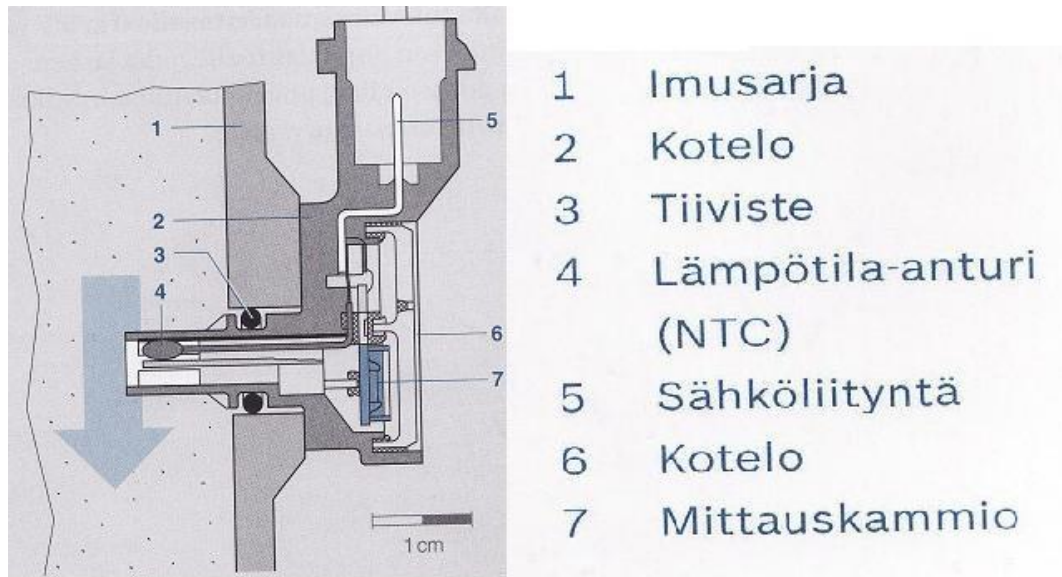


KUVA 11. Wheatstone-siltakytkentä (Venymäliuskat. 2007, 2)

Mittaussignaali tulee vielä vahvistaa, lämpötilan muutokset kompensoida ja painekuvaaja linearisoida. Tähän tarvittava elektronikka on integroituna anturiin. Lopullinen ulostulosignaali on luokkaa 0–5 voltia riippuen vahvistuksesta. (Bosch 2009, 129.)

### 2.3.2 Paineanturi, jossa vertailutyhjiö erillisessä kammiossa

Tällaista anturia käytetään imusarjan paineen ja ahtopaineen mittaamiseen, koska se on helpompi kiinnittää imusarjaan pienemmän kokonsa vuoksi. Piisiru on sijoitettu mittauskammioiksi lasiperustalle, kuten kuvasta 12 nähdään. Tässä anturityypissä mitattavaa painetta ei johdeta kanavaa myöden anturielementille lasiperustan läpi toisin, kuin edellä kuvatussa anturityypissä. Paine johdetaan kanavaa pitkin piisirulle vastakkaiselle puolelle, jossa on myös mittauselektronikka. Anturi täytyy tällöin suojata erityisellä geelillä ympäristöstä. (Bosch 2009, 129–130.)



*KUVA 12. Paineanturi, jossa vertailutyhjiö erillisessä kammiossa (Bosch 2009, 129)*

## **3 MITTAUSTEHTÄVÄ**

Tässä luvussa käsitellään tämän tutkimustyön kannalta oleellisia mittausmenetelmiin liittyviä asioita. Luvussa paneudutaan mittausten tehokkuuteen ja mittausten suorittamisen johdonmukaiseen etenemiseen.

### **3.1 Mittausten suorituskyky**

Onnistuneiden mittausten kannalta on tärkeää, että käytettävä mittalaite soveltuu mittasuureen mittaamiseen. Myös mittauksen suorittajan täytyy ymmärtää mittaustehtävä oikein. Mittaukset täytyy tehdä asianomaisten käyttöedellytysten puitteissa. (Aumala 2001, 157.)

Mittalaitteen tulee antaa tieto juuri siitä suureesta, jota kulloinkin halutaan mitata. Toisaalta laitteen on oltava tunteeton käyttöolosuhteille ja kaikille muille suureille paitsi kohdesuureelle. Kaiken lisäksi laitteen on oltava riittävän tarkka. (Aumala 2001, 157.)

Mittausten suorittajan on osattava tehtävänsä kunnolla. Mittauksissa on otettava huomioon havaintojen, kirjausten ja käytännön asioiden vaatima aika. Kun nopeus ja stressi kasvavat, kasvaa myös virheiden todennäköisyys rajusti. Tällöin mittausten suorituskyky pienenee romahdusmaisesti. Mittaustehtävä tulisi suorittaa ilman minkäänlaista kiirettä. (Aumala 2001, 157.)

Mittaukset tulee suorittaa mittaajan ja laitteiden edellytysten puitteissa. Käytödedellytyksistä tärkein on mittausolosuhteet. Muita edellytyksiä mittausten onnistumiseen ovat esimerkiksi riittävä laitteen kalibrointitiheys ja laitteen virtalähteen kunto. (Aumala 2001, 157.)

### **3.2 Mittausten suorittaminen**

Mittausten vaatimukset asetetaan tavallisesti tarkkuuden, luotettavuuden ja taloudellisuuden suhteen. Kun pyritään taloudellisuuteen mittauksissa, mit-

tausten yhteydessä ei ole mahdollisuutta pitkälliseen pohdiskeluun. Tästä huolimatta on tärkeää, että mittaustulos on luotettava. Tehokkaaseen ja taloudelliseen suoritukseen voidaan päästä, jos työ tehdään järjestelmällisesti jonkun työvaihelistan mukaan. Näin tehtäessä ei yksikään tärkeä työvaihe jää tekemättä. (Aumala 2001, 179.) Seuraavassa on esitetty sopiva lista:

- tehtävän määrittely
- suoritusvaihtoehtojen etsiminen ja vertailu
- tarkoituksenmukaisuuden tarkistus
- epävarmuuden ennakoarviointi
- mittalaitteiden tarkastukset ja mahdolliset kalibroinnit
- mittausten suoritus
- tulosten edustavuuden arviointi
- tulosten käsittely
- tulosten kelvollisuuden arviointi
- dokumentointi ja saatujen tulosten informointi asianomaisille.

Jos tämän lista jossain vaiheessa huomataan, ettei tehtävän vaatimuksia täytetä, täytyy listalla mennä taaksepäin. Käytännössä mittausten suorituksen yhteydessä huomataan, että moni vaihe vaatii todella vähän aikaa. Tästä huolimatta on tärkeää että kaikki vaiheet käydään läpi. Kokemusten perusteella summittainen eteneminen mittauksissa aiheuttaa vaikeita tilanteita ja viivästyksiä. (Aumala 2001, 179.)



## 4 MITTAUSTEN SUUNNITTELU

Tässä osiossa käsitellään mittauslaitetta, mitattavien ajoneuvojen järjestelmiä, mittauksiin tarvittavia välineitä ja laitteita sekä vikojen simulointia. Osiossa kerrotaan myös, mitä asioita on täytynyt ottaa huomioon ennen mittauksia

### 4.1 Tutkittava laite

Tutkimuksen kohteena on korjaamoyrittäjä Sauli Marttila-Tornion kehittämä painemittari VP-tester. Nimi on lyhenne sanoista Vacuum Pressure Tester. Laite on kehitetty, jotta ajoneuvojen paineohjattujen järjestelmien viat saadaan määritettyä tarkasti ja vain oikeasti vioittuneet komponentit löydetään ja korjataan tai vaihdetaan. Mittarista saadaan yhtä aikaa mitattua alipainetta ja ylipainetta.

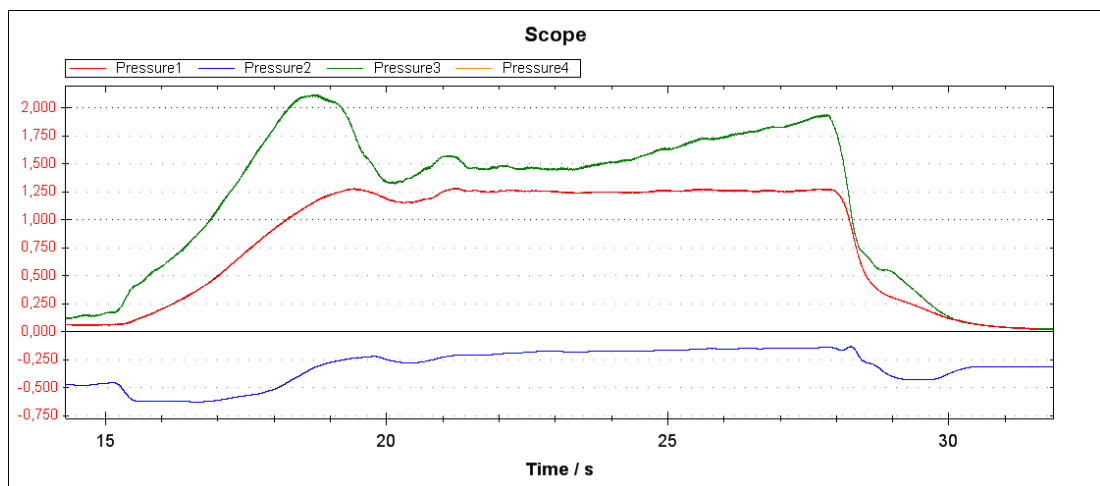
Mittariin on kehitetty tietokoneohjelma, joka tuottaa mittauksista reaaliaikaisen graafisen kuvaajan, jossa näkyy samanaikaisesti yli- ja alipainekuvaajat ja mitta-asteikot. Mittari liitetään tietokoneen USB-pistokkeeseen. Ohjelma on yksinkertainen käyttää, ja sen tulokset voidaan tallentaa kuvatiedostoina. Ohjelmassa on skaalautoiminto ja saatuja käyriä voidaan tarkkailla lähempää zoom-ominaisuudella.

#### 4.1.1 Kaksikanavainen mittari Vp-tester

Mittareita on kaksi. Toisella voi mitata kahta painearvoa yhtäaikaaisesti. Tällä mittarilla mitataan toisella kanavalla alipainetta ja toisella ylipainetta. Mittausalueet ovat alipainekanavassa 0–1 000 mbar absoluuttista painetta ja ylipainekanavassa 1 000–4 000 mbar absoluuttista painetta. Mittarin näytteenottotaajuus on 1 000 Hz. Tämä mittari on tällä hetkellä myynnissä.

## 4.1.2 Nelikanavainen mittari Vp-tester 4

Toinen mittari on nelikanavainen. Sillä voidaan mitata neljää eri painetta yhtä aikaa. Mittarin kaikissa kanavissa on sama mittaustalue 0–4 000 mbar absoluuttista painetta. Kuvassa 13 näkyy eräs nelikanavaisella mittarilla tehty mitaus, joka on tallennettu kuvatiedostoksi. Tätä mittaria ei ole vielä laskettu markkinoille.



KUVA 13. VP-testerillä saatu mittaustulos

## 4.2 Mittauskohteet

Mittaukset tehdään kahteen ajoneuvoon ja yhteen koulumme testimoottoriin. Autot ovat Toyota Avensis 2.0 D-4D 2010 ja Renault Megane 1.5 dci 2004. Koulun testimoottori on Peugeot 2.0 HDi 2003. Tämä moottori on kiinnitetty testipukkiin ja sitä voidaan käyttää helpoiten vikojen simulointiin.

### 4.2.1 Peugeot

Peugeotin moottori on Commonrail-järjestelmällä toimiva dieselmoottori. Moottorin tiedot ovat seuraavat (Peugeot 2.0 HDi – tekniset tiedot 2011):

- moottorin tyyppikoodi: RHZ (DW10ATED)
- sylinterimäärä 4

- iskutilavuus cm<sup>3</sup>: 1997
- maksimiteho kW @ rpm: 80 @ 4000
- maksimivääntö Nm @ rpm: 250 @ 1750
- polttoaineen syöttö: CDI
- puristussuhde: 18:1

Moottorissa ohjataan alipaineella ilmastointilaitetta, pakokaasujen takaisin-kierrätystä ja turboahtimen hukkaporttia. Testimoottorissamme näistä on toiminnassa EGR-ohjaus ja ahtimen ohjaus. Moottori on varustettu hapetuskatalysaattorilla. Tässä moottorissa on hukkaportilla ohjattu perinteinen turboahdin.

Moottori on tehty opetuskäyttöön ja sitä ei ole vielä koskaan testattu eikä kiinnitetty koulun moottorilaboratoriossa olevaan moottorijarruun. Tämä tulee tehdä ennen mittauksen aloittamista.

#### **4.2.2 Renault**

Sain yhdeksi testiautoksi ammattiaineopettajani Arto Lehtosen oman Renault Meganen. Seuraavassa luettelossa on esillä auton tekniset tiedot (Megane 1.5 dci – tekniset tiedot 2011):

- moottorin tyyppikoodi: K9K-728
- sylinterimäärä: 4
- iskutilavuus cm<sup>3</sup>: 1 461
- maksimiteho kW @ rpm: 74 @ 4 000
- maksimivääntö Nm @ rpm: 200 @ 1 900
- polttoaineen syöttö: CDI

- puristussuhde: 18,8:1

Renaultin moottorissa on muuttuvasiipinen turboahdin ainoana järjestelmänä, jota ohjataan alipaineella moottorinohjaimella. Moottorissa on myös hapetuskatalysaattori.

### 4.2.3 Toyota

Kolmas testiauto on Toyota Avensis D-4D vuosimallia 2010. Tämän auton antoi lainaan Kyösti Koivisto, joka on enoni. Seuraavassa luettelossa on moottorin tekniset tiedot (Avensis 2.0 D-4D -tekniset tiedot 2011):

- moottorin tyyppikoodi: 1AD-FTV
- sylinterimäärä: 4
- iskutilavuus cm<sup>3</sup>: 1 998
- maksimiteho kW @ rpm: 93 @ 3 600
- maksimivääntö Nm @ rpm: 310 @ 1 800-2 400
- polttoaineen syöttö: CDI
- puristussuhde: 15,8:1

Avensiksessa mittausten kannalta merkittäviä järjestelmiä ovat muuttuvasiipisen ahtimen ohjaus ja hiukkassuodattimen toimintaa tarkkaileva painetunnistin. Auto on uusi, joten täytyy varmistua, että moottorinohjausjärjestelmään saadaan yhteys koulun diagnostiikkalaitteella.

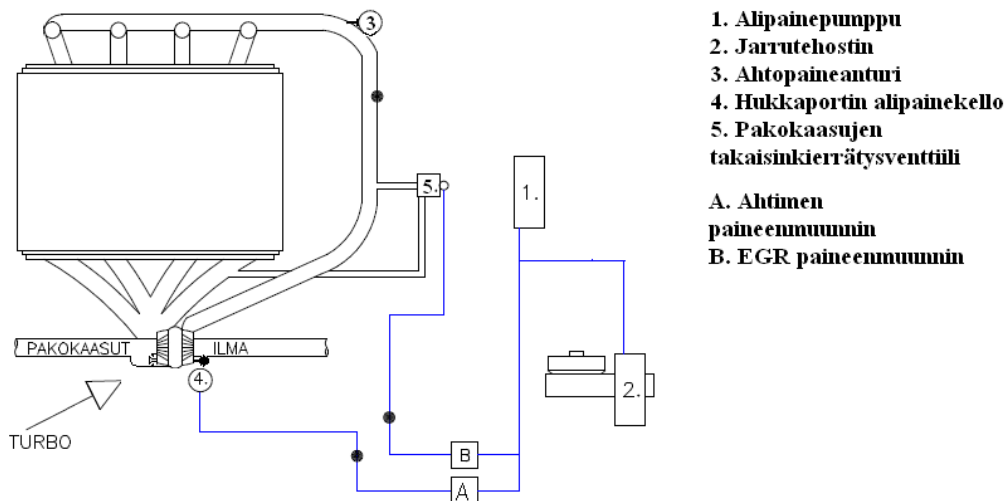
### 4.3 Vikojen simulointi

Moottoreihin simuloidaan lukuisia eri vikoja liittyen tutkittaviin paineohjattuihin järjestelmiin. Tässä osiossa paneudutaan kaikkiin vikatilanteisiin ja niiden

tuottamiseen sekä mahdollisiin ongelmiin, joita liittyen simulointiin. Viat voidaan jakaa kolmeen ryhmään: alipainejärjestelmän viat, mekaaniset viat ja sähköiset viat. VP-testerillä mitattavat kohteet vaihtelevat riippuen simuloitavasta viasta. Mittapisteet on valittu siten, että mitataan niitä paineita, joihin simuloitava vika vaikuttaa.

### 4.3.1 Alipainejärjestelmän viat

Kuvassa 13 on koulumme Peugeotin alipainejärjestelmä ja sen komponentit. Järjestelmässä on paljon letkuja ja liitoksia, joihin voi tulla ajan myötä vuotoja. Tässä vikasimuloinnissa on tarkoituksena jäljitellä niitä ja mitata järjestelmien painekäyrät mittareilla jokaisessa vikatilanteessa.



KUVA 13. Peugeotin moottorin alipainejärjestelmä ja sen komponentin

Vikasimulointi on tarkoitus tehdä vaihtamalla ehjien letkujen tilalle rikkinäisiä letkuja, joita on rikottu eri määrin. Järjestelmään liitetään vain lyhyt rikkinäinen letkunpätkä lisäksi, jolloin alkuperäisiä letkuja ei tarvitse hajottaa.

Kahdessa muussa testiajoneuvoissa ainoa alipaineella ohjattu komponentti on turboahtimen säätösiivekkeet, joten niissä järjestelmissä vikasimulointi tehdään ainoastaan siihen. Jokaisessa alipainejärjestelmän vikasimuloinnissa vaihdetaan samat rikutut letkut, jolloin saadaan vertailukelpoisia tuloksia.

Alipainejärjestelmän vikoihin kuuluu myös alipainepumpun mekaanisen vian simuloiminen. Myös tämä vika tuotetaan lisäämällä järjestelmäalipaineletkuun rikkiäiset letkut vuorotellen rikkoontumisastetta lisäämällä. Tällöin järjestelmäalipaine ei ole toimivan pumpun tasolla ja oireet ovat samat kuin alitehoisella alipainepumpulla.

Näissä vikatilanteissa mitataan 2-kanavaisella mittarilla ohjattavaa alipainetta ja ahtopainetta, koska rikkoontuneella letkulla toimilaitteiden ohjausalipaine ei ole toimivan järjestelmän tasolla. Tällöin myöskään ahtopaine ei käytäydy normaalisti. Kaksikanavaisella mittarilla mitataan suurimmassa osassa mittauksista ylipainekanavassa ahtopainetta, koska sitä on helpompi mitata, kuin pakopainetta ja tuotekehityksen kannalta se on järkevämpää. Nelikanavaisella mittarilla mitataan ahtopainetta, järjestelmäalipainetta, komponenttien ohjausalipaineita ja pakopainetta.

#### **4.3.2 Mekaaniset viat**

Testiajoneuvoihin tehdään mekaanisia vikoja, jotka liittyvät ja vaikuttavat paineohjattujen järjestelmien toimintaan. Tällaisia vikoja ovat seuraavat: Ahtojärjestelmän vuodot, hukkaportin tai ahtimen siivekkeiden mekaaninen jumituminen ja pakoputkiston tukkeutuminen hiukkassuodattimesta tai hape-tuskatalysaattorista. Tässä osiossa käsitellään näiden vikojen syntyminen todellisissa tilanteissa ja niiden toteutustapa mittauksissa.

##### **Ahtoputkiston vuoto**

Ahtoputkiston viat ovat yleisiä ahdetuissa ajoneuvoissa, koska valtaosa niistä on varustettu keulaan asennettavalla ahtoilmän välijäähdyttimellä. Ahtoputkistossa on monta liitosta ja kohtaa, jossa vuoto voi tapahtua. Alumiininen välijäähdytin on myös herkkä ulkoisille vauriotekijöille. Välijäähdytin hajoaa myös joissain tapauksissa sen sisäpinnalle kondensoituneen veden jäätyessä talvella. Tällöin veden olomuodonmuutoksesta aiheutuva tilavuuden kasvu halkaisee välijäähdyttimen kennoston. Vika aiheutetaan asentamalla ah-

toputkistoon erillinen T-haara, jossa on vuotoventtiili. Tällöin venttiilistä daan säättää vuodon määrää tarkasti.

Kun ahtopainetta vuotaa pois järjestelmästä, se jää tavoiteltua alemmalle tasolle. Tällöin ahtimen ohjaus ei pienennä pakopainetta kierrosten kasvaessa ja se kasvaa liian suureksi.

### **Hukkaportin ja ahtimen siivekkeiden mekaaninen jumiutuminen**

Pakokaasuahntimen ohjauslaitteet altistuvat suurille lämmönvaihteluille ja karstoittumiselle. Tämä aiheuttaa molempiin säätöjärjestelmiin toimilaitteiden mekaanista takertelua tai jopa jumiutumista yhteen asentoon.

Hukkaportillisessa ahtimessa jumiutuminen aiheuttaa toimintaperiaatteesta riippuen erityyppisiä oireita. Jos ohjaus toimii siten, että alipaine aukaisee hukkaportin, jumiutunut hukkaportti aiheuttaa pako- ja ahtopaineen liiallisen nousun. Tällöin kaikki pakokaasu virtaa turbiinisiipien yli ja suurilla pakokaasuenergian määrillä pakosarjan ja moottorin lämpötila kasvaa paineen nousun johdosta sekä sylinterin palamispaine kasvaa liian suureksi. Tällainen vika voi siis aiheuttaa moottorivaurion.

Järjestelmässä, jossa alipainerasia vetää hukkaportin kiinni, hukkaportin jumiutuminen ei ole niin todennäköistä, koska auto sammutettaessa alipainetta ei ole enää järjestelmässä ja hukkaportti menee auki asentoon. Täten hukkaporttiin tulee liikettä sievässäkin ajossa toisin, kuin edellä kuvatussa toimintatavassa se ei avautuisi ollenkaan.

Myös muuttuvasiipisessä ahtimessa ohjainsiipien jumiutuminen aiheuttaa liian suuret pako- ja ahtopaineet. Ahtimen ohjainsiivet jumiutuvat yleensä alkuasentoon, jolloin tässä järjestelmässä pakopaine ja turbiinipyörän pyörimisnopeus kasvavat liian suuriksi kierrosten noustessa, koska ohjainsiivet pienentävät pakokaasuvirtauksen poikkileikkausta vaikka niiden tulisi avautua.

Opinnäytetyössä viat tuotetaan kytkemällä ahtimen alipainerasialle menevään letkuun erillinen alipainepumppu, joka on varustettu painemittarilla. Tällä pumpulla tuotetaan rasialle erisuuruista alipainetta. Näin voidaan testata miten eri asentoihin jumiutunut toimilaite vaikuttaa järjestelmän paineisiin. Mittauspisteet ovat tässä vikasimuloinnissa samat, kuin ahtojärjestelmän viikatilanteessa.

### **Pakoputkiston tukkeutuminen**

Auton pakoputkisto voi mennä tukkoon monella eri tavalla. Hiukkassuodatin ja katalysaattori voivat hajota tai mennä tukkoon. Myös äänenvaimentimen eristeaine voi purkautua pakoputken sisälle aiheuttaen tukkeutumisen. Tällainen vika aiheuttaa pakoputkiston vastapaineen kasvun ja täten moottorin suorituskyvyn heikkenemisen. Pakokaasujen paine ja lämpötila kasvavat myös, jolloin moottori rasittuu huomattavasti normaalitilannetta enemmän.

Tässä työssä mitataan ensin normaalisti toimivan pakoputkiston vastapaine ennen ja jälkeen hapetuskatalysaattoria. Pakoputken kiinnitetään laippa, jossa on päässä sulkuläppä, mistä voidaan säätää pakoputken tukkeutumisastetta.

### **4.3.3 Sähköiset viat**

Työssä tutkittavien järjestelmien tärkein ja herkin sähköinen komponentti on ahtopaineanturi. Tässä työssä sähköiset viat simuloidaan siihen. Tämä vikasimulointi on haastavin, sillä vaarana on saattaa moottorinohjainlaite oikosulkuun.

Ahtopaineanturilta moottorinohjaimelle menevä signaalijännite vaihtelee välillä 0,5–4,5 V riippuen anturilla vallitsevasta paineesta. Kun halutaan simuloida viallista anturia, täytyy anturin signaalijännitettä saada muutettua. Tämä voidaan tehdä vuodattamalla signaalijohdon virtaa anturin maajohtoon. Tällöin anturin kokonaisresistanssi pienenee ja syöttöjännitteen ja syötettävän virran ollessa vakioita anturin signaalijännite pienenee. Seuraavalla kaa-



valla 1 voidaan laskea anturipiirin kokonaisresistanssi lisävastuksen rinnankytkennän jälkeen ja sen perusteella signaalijännitteen muutos kaavalla 2. (Lehtonen 2009.)

$$\frac{1}{R_{kok}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \text{KAAVA 1}$$

$R_{kok}$  = kytkennän kokonaisresistanssi

$R_1$  = anturin resistanssi

$R_2$  = lisävastuksen resistanssi

$$U = RI \quad \text{KAAVA 2}$$

U = jännite

R = resistanssi

I = piirin läpi kulkeva virta

Anturin signaalijännite kasvaa ahtopaineen kasvaessa, joten vikasimuloinnissa tämän jännitteen jäädessä alle todellisen ahtopaineen, on odotettavissa pakopaineen ja ahtopaineen liiallinen kasvu. Jotta anturipiiriin voidaan kytkeä oikean kokoluokan lisävastus, täytyy anturin vastus mitata johdot irrotettuina.

#### 4.4 Tarvittavat välineet

Opinnäytetyön mittauksiin tarvitaan seuraavia välineitä:

- tehonmittauslaitteisto (Rototest VPA-RX83)
- järjestelmätestauslaite ja Oskilloskooppi (Bosch FSA 740)
- paineilmaletkua
- säätövastuksia

- kutistesukkaa ja juotosvälineet ahtopaineanturin vikasimulointiin
- tarvikkeet pakoputken tukkimiseen
- mitattavat ajoneuvot
- VP-tester-mittalaitteet: 2- ja 4-kanavainen
- adapterit imusarjan paineen mittaukseen
- adapterit pakosarjan paineen mittaamiseen
- t-haaroja
- tarvikkeet ahtoputkistojen vuotojen simulointiin

## **4.5 Muut mittalaitteet**

Samaan aikaan, kun mitataan painemittausta, mitataan myös moottorien tehot ja vääntömomentit kahdessa eri dynamometrissä. Mittausten yhteydessä mitataan ahtopaineanturin jännitekäyrät oskilloskoopilla. Paineanturin vastukset mitataan ennen mittausten suoritusta yleisvirtamittarilla.

### **4.5.1 Tehonmittauslaitteisto**

#### **Rototest tehodynamometri**

Oulun seudun ammattikorkeakoulun autolaboratoriossa oleva tehodynamometri on Rototest-merkinen ja sen malli on VPA-RX83. Sen toiminta perustuu auton tuottaman vääntömomentin muuttamiseen hydrauliseksi tehoksi hydraulipumppujen avulla ja tämän hydraulitehon muuttamiseen mekaaniseksi liikkeeksi tuulettimille hydraulimoottoreiden avulla. Laitteessa on neljä mittapäätä, joten sillä voidaan mitata sekä kaksi- että nelivetoisia autoja.

Mittapäät kiinnitetään auton pyörännapoihin adaptereilla pyöränpulttien kiinnityspisteisiin. Auton renkaat pyörittävät mittapäissä olevia hydraulipumppuja, joissa on myös tietokoneohjattu virtaventtiili, jolla voidaan rajoittaa mitta-

päiden pyörimisnopeutta ja siten auton renkaiden pyörimisnopeutta. Mittapäiden sisältämät hydraulinesteen virtausmittarit mittaavat nesteen tilavuusvirtaa ja painetta, josta tietokone laskee auton renkaiden tuottaman vääntömomentin.

Pumppujen tuottama hydrauliteho siirtyy letkujen kautta auton edessä olevien puhaltimien hydraulimoottoreihin, joilla puhaltimet pyörivät jäähdyttäen auton moottoria.

Tehodynamometrin tietokoneohjelmaan voidaan muokata mittauksen kulkumillaiseksi halutaan. Tämä mahdollistaa erilaisten ajosyklien mittaamisen. Ohjelmaan syötetään auton välityssuhteet kaikille vaihteille sekä vetopyörästövälitys erikseen. Ohjelmaan voidaan määrittää myös testissä käytettävät kierrokset ja nopeus, jolla kierrokset muuttuvat. Esimerkiksi lämmitysajossa moottorin kierrokset voidaan pitää samana ja kuormitusta muuttaa itse kaasulla niin kauan, kuin haluaa.

Laitteen suurin etu on, että tällä mittausperiaatteella ei pyörän ja mittalaitteen välille synny luistoa, joka heikentää mittaustuloksia. Tällä tavalla voidaan myös mitata suurempia pyörätehoja kuin muilla markkinoilla menetelmillä.

### **Moottorilaboratorion moottorin testauspenkki**

Koulumme autolaboratoriosta löytyy moottorilaboratoriohuone, jossa on käytössä moottorien säätämiseen ja testaamiseen suunniteltu moottoripenkki. Järjestelmässä on erillinen sähköjarru, johon testattava moottori kytketään akselilla.

Moottorin tuottama energia muutetaan Shenck-merkkisen jarrun avulla jäähdytysnesteeksi, jonka jäähdytysjärjestelmä pumppaa ulkona oleviin lämmönvaihtimiin. Jarruun on tehty tietokoneohjaus, jolla voidaan simuloida erilaisia kiihdytystilanteita. Jarruun välittyvä vääntömomentti ja kierrosnopeus tallentuvat Motec ACL manager -tiedonkeruuohjelmaan.

## 4.5.2 Bosch FSA 740

Koulumme autolaboratoriossa on käytössä Bosch-järjestelmätestauslaitteisto. Tässä työssä käytetään laitteen kahta ominaisuutta. FSA 740 -ohjelmalla mitataan CH1-CH2-piirturiominaisuudella ahtopaineanturin jännitesignaalia, kun simuloidaan paineanturivikaa. Bosch KTS 500 -ohjelmaa käytetään, kun moottorinohjausjärjestelmiin tulee mahdollisia vikakoodeja. Tällä ohjelmalla saadaan luettua ja poistettua vikakoodit. KTS 540 -ohjelmaa käytetään myös Peugeotin mittauksissa, kun tarkkaillaan moottorin jäähdytysnesteen lämpötilaa ja muita moottorinohjainlaitteen toimilaitteita.

## 4.6 Mahdolliset ongelmakohdat

Mittauksissa käytetään monia mittalaitteita yhtäaikaisesti. Tällöin on olemassa monia riskitekijöitä mahdollisiin ongelmiin mittausten suorituksessa. Tässä luvussa arvioidaan, mitkä seikat vaikuttavat mittausten onnistumiseen ja mitkä mittaukset ovat riskialttiimpia.

Renaultin ja Toyotan moottoreiden mittauspisteiden anturointi tulee tehdä siten, että autoihin ei tarvitse tehdä mitään pysyviä muutoksia. Myös Rototest -tehdynamometrin käytön opettelussa voi mennä aikaa. Peugeotin testi-moottoriin tehtävissä mittauksissa käytettävän Motec -ohjelmiston käyttö ei ole vielä hyvin hallinnassa. Myös sen käyttö voi aiheuttaa viivästyksiä. Peugeotin moottoria ei ole vielä käytetty moottoripenkissä kuormaa käyttäen. Moottori täytyy sovittaa penkkiin siten, että se on linjassa jarrun kanssa. Nämä työt täytyy sovittaa moottorilaboratorion tiukkaan aikatauluun, siten että aikaa on varattava riittävästi mahdollisten viivästysten varalle.

Testausolosuhteet ovat kuumemmat, kuin maantieajossa, koska jäähdyttävää ajoviimaa ei ole. Vikojen simulointi täytyy suorittaa harkiten ja siten, että moottorit eivät rasitu liikaa. Jossain tilanteessa saatetaan joutua odottamaan moottorin jäähtymistä.

Bosch-järjestelmädiagnoosilaitteella täytyy varmistua, että kaikkien autojen moottorinohjainlaitteeseen pääsee lukemaan vikakoodit ja seuraamaan toimilaitetestejä. Jos ohjainlaitteelle ei pääse, täytyy hankkia merkkikohtainen testauslaite kyseisen merkin jälleenmyyjältä, mikä vaatii neuvotteluja jälleenmyyjien kanssa.

## 5 MITTAUSTEN TOTEUTUS

Mittaukset suoritettiin mittaussuunnitelmien mukaisissa järjestyksissä moottorikohtaisesti. Tässä osiossa käsitellään mittausten kulkua ja kerrotaan minkälaisia ongelmia mittausten yhteydessä tuli. Tämän insinööriyön tekijällä oli mittauksissa apunaan Oulun yliopistolta opiskelija Kalle Suorsa, joka tekee myös oman diplomityönsä VP-testeristä.

Kaikki tehomittausajot suoritettiin siten, että moottoria kiihdytettiin tuhannesta viiteen tuhanteen kierrokseen kahdenkymmenen sekunnin rampilla. Nämä parametrit syötettiin tehonmittauslaitteiden ohjelmistoihin ennen mittausten aloittamista.

### 5.1 Renault

Ensimmäinen mittauskohde oli ammattiaineopettajamme Arto Lehtosen Renaultin moottori. Mittaukset tehtiin 17.3–22.3.2011 ja ne kestivät viisi kokonaista työpäivää kaikkine esivalmisteluineen.

Ennen mittauksia autoon tehtiin tarvittavat valmistelut, jotta mittarin paineilmaletkut saatiin helposti kytkettyä mittausten yhteydessä eri mittapisteisiin. Pakosarjan painemittausta varten auton pakokaasujen takaisinkierätysoventiilille menevään putkeen tehtiin reikä, johon asennettiin M6-kierteellä oleva niitti. Myös pakoputken vastapaineen mittauspiste tehtiin samalla periaatteella. Näihin mittapisteisiin laitettiin mittausten loputtua M6-kierteellä oleva ruuvi tukoksi.

Mittaukset kestivät kauan, koska eteen tuli erinäisiä pieniä vastoinkäymisiä. Ensimmäisenä mittauspäivänä toinen kannettava tietokone ei alkanut jostain syystä lukea mittaria, ja jouduimme tekemään mittaukset yhdellä mittarilla ja tietokoneella. Teimme tässä vaiheessa tietoisin ratkaisun, että suoritamme mittaukset vain sillä mittarilla, joka kussakin tilanteessa sopii paremmin ky-

seiseen tilanteeseen. Tästä syystä Renaultin mittaukset on tehty siten, että jokaisesta mittauksesta on vain toisen mittarin mittaustulokset.

Toisena mittauspäivänä mittaukset sujuivat hyvin, koska keskityimme vain yhteen mittariin kerralla, jolloin työskentely oli yksinkertaisempaa. Kun teimme ahtimen ohjausalipaineletkun vikasimulointia, huomasimme, että valitsemallamme vikasimulointitavalla tuloksista ei tullut vertailukelpoisia. Kun vaihdoimme ehjien letkujen tilalle rikkinäisiä, vuotoa ei voinut hallita mitenkään ja tuloksista tuli liian erilaisia. Kahden samanlaisen mittauksen tulokset vaihtelivat liikaa. Päätimme tehdä tämän ja alipainepumpun vikasimuloinnin paineilmavuotoventtiilillä. Kokeilimme venttiilin toimivuutta ensin ylipaineella koulumme pneumatiikan laboratoriossa ja sen jälkeen alipaineella käyttäen erillistä alipainepumppua. Saimme vikasimuloinnin onnistumaan todella hyvin ja tarkasti kyseisellä menetelmällä.

Viimeinen vikasimulointi oli paineanturivika. Emme saaneet tätä vikaa simuloitua, koska emme saaneet ahtopaineanturin signaalia muuttumaan vaikka säädimme säätövastuksen vastusarvoa pienelle. Päätimme ettemme ota riskiä, jossa auton moottorinohjainlaite rikkoontuu mahdollisen oikosulun vuoksi. Arviomme on, ettemme osanneet valita ahtopaineanturista oikeita signaalijännitteiden ja signaalimaan johtoja, jolloin vastuksen rinnankytkentä ei vaikuttanut halutulla tavalla.

Näitä ongelmia lukuun ottamatta mittaukset onnistuivat hyvin ja saimme paljon vertailukelpoisia tuloksia. Kaikkien muiden kohteiden paitsi paineanturin vikasimuloinnit onnistuivat hyvin.

## **5.2 Peugeot**

Toisena mitattavana moottorina oli Oulun seudun ammattikorkeakoulun Peugeotin dieselmoottori. Mittaukset suoritettiin 29.3–31.3.2011. Mittauksissa ainoaksi ongelmaksi osoittautui moottorin toimintakunto.

Ensimmäinen mittauspäivä kului pääosin moottorijarrun tiedonkeruujärjestelmän asetusten säätämisessä. Ongelmana oli, ettei tiedonkeruusta saatu samaan aikaan ulos jarrun pyörimisnopeutta ja vääntömomenttia. Lopulta laboratorioinsinööri Janne Ilomäki onnistui kytkemään tiedonkeruun moottorijarrun ohjausyksikköön siten, että molemmat tiedot saatiin mitattua yhtä aikaa.

Toisena mittauspäivänä havaitsimme, että moottorin tuottama vääntömomentti ja siitä laskettu teho olivat huomattavasti liian pieniä matalalla kierrosalueella. Vian löytämiseen kului paljon aikaa. Vääntökäyrä näytti siltä, että moottorin tuottamaa vääntöä olisi rajoitettu kierrosalueella 2 000–3 000. Luulimme aluksi moottorinohjainlaitteen rajoittavan vääntöä, koska luistoneston ohjainlaitetta ei ollut kytketty ollenkaan järjestelmään. Lopulta todelliseksi syyksi osoittautui viallinen ilmamassamittari. Moottorin teho ja vääntö olivat liian pienet tuolla kierrosalueella, koska moottorinohjaintaite säättää ruiskutusmäärää alakierroksilla moottoriin imetyn ilman perusteella. Yli 3 000 kierroksen alueella ruiskutusmäärä säätyy ahtopaineen mukaan. Muuten saimme tehtyä vikasimuloinnit ja mittaukset suunnitelmien mukaan.

### **5.3 Toyota**

Teimme ennen mittausten aloittamista työn tilaajan ja Kalle Suorsan kanssa tietoisien päätöksen, ettemme tee Toyotan moottoriin vikasimulointeja ollenkaan. Päätimme näin, koska auto on uusi ja sisältää paljon järjestelmiä, jotka voivat vaurioitua tämän tyyppisissä vikasimuloinneissa. Myöskään koulumme diagnostiikkatestauslaite ei tunnistanut järjestelmää yksiselitteisesti, jolloin joku vikakoodi olisi saattanut jäädä huomaamatta mittausten päätyttyä.

Teimme Toyotaan kuitenkin mittaukset toimivaan järjestelmään, jotta saisimme tärkeää vertailutietoa järjestelmien toiminnasta. Nämä mittaukset tehtiin 13.4–14.4.2011. Ensimmäisenä päivänä auto valmisteltiin mittauksiin ja tarkastettiin että auto sisälsi ne järjestelmät, jotka tiedonhaun perusteella oli oletettu. Samalla testattiin diagnostiikkalaitetta autoon. Tällöin päätettiin, että



emme mittaa Toyotasta pakopainetta, koska painemittarin letkulle ei saanut mittapistettä tehtyä ilman merkittäviä purkutoimenpiteitä.

Toisena päivänä suoritettiin mittaukset. Ne sujuivat nopeasti, koska mittaus-työtä oli jo harjoiteltu niin paljon ja laitteiden käyttö oli ennalta tuttua. Toisaalta mittausvaiheita oli huomattavasti vähemmän kuin muissa kohteissa.

## 6 MITTAUSTULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI

Tässä luvussa käsitellään saatuja mittaustuloksia moottori- ja vikatilannekohtaisesti niiden mittausten osalta, joiden tulokset ovat vertailukelpoisia. Osa vikasimuloinneista on jätetty tietoisesti pois mittaustulosten puutteellisuuden vuoksi sekä raportin selkeyden säilyttämiseksi. Jokaisessa vikasimuloinnissa on mitattu toimivan järjestelmän arvot ennen vian tuottamista. Täten vikaa on voitu vertailla toimivaan järjestelmään. Myös mittauspisteissä olevien liitosten toimivuus on voitu varmistaa tällä tavalla. Jokaisesta vikatilanteesta on tehty useita mittauksia virheen pienentämiseksi. Lopuksi vertaillaan kaikkien mitattujen autojen järjestelmiä toisiinsa.

### 6.1 Renault

Kun Renaultin moottorin ensimmäiset mittaukset oli tehty, havaittiin järjestelmän ohjauksen toimivan eri tavalla, kuin järjestelmät, jota työn tilaaja Sauli Marttila-Tornio oli mitannut. Liitteen 1 kaaviossa 4 huomataan, että tyhjäkäynnillä ollessaan ahtimen ohjausalipaine ei ole maksimiarvossaan vaan noin 300 mbar. Työn tilaajan mittaamissa järjestelmissä ahtimen ohjausalipaine oli tyhjäkäynnillä yhtä suuri, kuin järjestelmäalipaine eli noin 750 mbar.

#### 6.1.1 Ahtoputkiston vuoto

Tämän vikasimuloinnin tulokset on esitetty liitteessä 1 olevissa kaavioissa. Kun verrataan kaavioita 1 ja 2 huomataan, miten ahtopaine jää vuotavassa järjestelmässä huomattavasti tavoiteltua pienemmäksi. Huomataan myös, että moottorin tuottama maksimiteho on noin 15 kW pienempi, kuin toimivassa järjestelmässä. Kun tämä vikatilanne mitattiin, antoi moottorinohjainlaite myös vikakoodin P0033: ahtopaineen säätö, säätörajan maksimiarvo saavutettu.

Liitteenä olevassa kaaviossa 4 on ahtojärjestelmää vuodatettu siten, että 1/2" venttiiliä on avattu noin 20 %. Tällaisella vuodolla ei näkynyt tehoissa

eikä väännöissä muutoksia toimivaan järjestelmään. Mikään muu ei poikennut toimivasta järjestelmästä, kuin savutus ja pakopaine, joka nousi noin 500 mbar yli normaalin. Täten sopivan pienellä ahtopaineen vuodolla käyttäjä ei huomaa mitään eroa auton toiminnassa, vaikka ahtimen pakopaine on liian suuri. Tämä lyhentää ahtimen käyttöikää huomattavasti. Myös hiukkas-suodatin tukkiutuu nopeammin lisääntyneen savutuksen myötä.

### **6.1.2 Ahtimen ohjausletkun vuoto**

Vikasimulointi mitattiin 2-kanavaisella mittarilla ensin mitaten pakopainetta ja ahtimen ohjausalipainetta ja sitten ahtopainetta ja ahtimen ohjausalipainetta. Vuotoa lisättiin ohjausalipaineletkuun asennetulla vuotoventtiilillä portaittain aloittaen pienistä vuodoista. Vuoto mitattiin VP-testerillä vertaamalla sitä tiiviin järjestelmän alipaineeseen auton ollessa tyhjäkäynnillä.

Liitteen 1 kaaviossa 6 on mitattu tiiviin järjestelmän ahtimen ohjausalipaine ja ahtopaine tehonmittausrampissa. Kaaviossa 7 on suoritettu sama mittaus, kun ahtimen ohjausletkun vuoto oli noin 160 mbar tyhjäkäynnillä. Kaaviossa 8 on esitetty samassa tehonmittauskäyrässä edellä mainitut mittaukset.

Painekuvaajia verratessa nähdään selvästi, miten ohjausalipaineen puuttuminen muuttaa ahtimen toimintaa siten, ettei ahtopainetta kehity alhaisilla kierroksilla. Siksi myös moottorin tuottama teho ja vääntö ovat alhaisilla kierroksilla huomattavasti pienemmät. Suurilla moottorin pyörimisnopeuksilla moottori tuottaa yhtä paljon tehoa ja vääntöä kuin toimiva järjestelmä.

Tämän vian mittauksissa moottorinohjainlaite antoi suurilla vuodoilla vikakoodin P0235: ahtopainetunnistin, säätörajan minimiarvo saavutettu. Korjaamo-olosuhteissa asiaan perehtymätön asentaja olisi saattanut vaihtaa ahtopaineentunnistimen, koska diagnoositestauslaite antoi siihen viittaavan vikakoodin. Tämän vuoksi järjestelmän vikoja tutkiessa täytyy kaikki alipaineletkut tarkistaa ennen komponenttien vaihtoa.

### 6.1.3 Alipainepumpun vika

Vikaa simuloidessa järjestelmää mitattiin 4-kanavaisella VP-testerillä, koska sillä saatiin mitattua samaan aikaan järjestelmän alipainetta, ahtimen ohjausalipainetta, ahtopainetta ja pakopainetta. Liitteessä 1 olevista kaavioista 9, 10 ja 11 nähdään, miten suureneva vuoto järjestelmäalipaineletkussa vaikuttaa ahto- ja pakopaineeseen. Järjestelmän alipaine on toimivalla alipainepumpulla tässä moottorissa 830 mbar. Kaaviossa 10 on järjestelmän alipainetta vuodatettu siten, että se on 230 mbar ja kaaviossa 11 se on enää 130 mbar. Alipainepumpun vikasimuloinnissa mitatut moottorin teho- ja vääntölukemat on esitetty kaaviossa 12. Kaavion oikeassa alareunassa on kerrottu minkä värinen kunkin tilanteen käyrä on.

Ahtopainekäyrä on hyvin samantyyppinen, kuin ahtimenohjausletkun vuotaessa. Tämän vuoksi alipaineletkuja tutkiessa on 2-kanavaisella mittarilla mitattava erikseen järjestelmän alipaine ja ahtimen ohjausalipaine. Myös teho- ja vääntökäyrät käyttäytyvät samalla tavalla vuodon lisääntyessä, kuin ahtimen ohjausletkun vuotaessa. Näissä tapauksissa on oltava täsmällinen ja tarkistaa kaikki letkut. Näissä mittauksissa ei moottorinohjainlaitteelle tallentunut vikoja.

### 6.1.4 Pakoputken tukkoisuus

Viimeisenä vikasimulointina Renaultissa oli pakoputken tukkoisuuden tutkiminen. Mittauksessa käytettiin 4-kanavaista VP-testeriä, koska sillä saatiin kaikki arvot kerralla mitattua. Mittasimme pakoputken vastapaineen katalysaattorin jälkeen, koska sinne oli helpompi laittaa mittapiste. Pakoputken päähän asennettavan kuristimen ansiosta mittaustulokset ovat samanlaiset, kuin mitattaessa ennen katalysaattoria.

Liitteen 1 kaaviossa 13 on mittaukset, joissa pakoputken päässä olevaa kuristinta on säädetty asteittain siten, että aluksi se oli auki. Toisessa mittauksessa kuristin on 50 % kiinni ja kolmannessa mittauksessa 70 %. Kuvista nähdään miten pakoputken vastapaineen kasvaessa, myös ahtopaine ja pa-

kopaine kasvavat. Normaalissa järjestelmässä ahtopaine ei nouse maksimissaan yli 1,3 bar, kun pakoputken pään ollessa 70 % tukossa nousee se noin 1,5 bariin maksimissaan. Pakoputken vastapaine oli mittauksissa maksimissaan 300 mbar, kun pakoputken pää oli 70 % tukossa.

Tällaisia tuloksia on odotettavissa mitatessa osittain tukkeutunutta hiukkassuodatinta. Hiukkassuodattimella varustetuista järjestelmistä on helppo mitata pakoputken vastapaineet ennen ja jälkeen hiukkassuodatinta, koska paine-erotunnistimelle tulee suoraan linjat hiukkassuodattimen molemmista päistä.

## **6.2 Peugeot**

Peugeotin mittausten tulokset poikkeavat muista mitatuista järjestelmistä, koska tässä järjestelmässä on hukkaportillinen ahdin. Tästä huolimatta osa vikasimuloinneista aiheutti hyvin samanlaisia ja vertailukelpoisia painekäyriä. Näiden mittausten tulokset ovat esillä liitteessä 2. Peugeotin moottorin teho- ja vääntökäyrien mittaustulokset on saatu Motec i2 Pro -tiedonkeruulaitteesta.

### **6.2.1 Ahtoputkiston vuoto**

Tässä mittauksessa ahtopainetta vuodatettiin venttiilillä kolmessa eri asennossa. Venttiili oli auki seuraavasti: 45 %, 60 % ja kokonaan auki eli 100 %. Liitteessä 2 kaaviossa 1 on esitetty tehokäyrät ja moottorin kierrokset näissä mittauksissa. Kaavion oikeassa alareunassa on käyrien selitteet. Kaaviossa 2 on vertailtu normaalin järjestelmän ja vuotavaa järjestelmää, kun 1/2" venttiili oli 60 % auki.

Tehokäyrien alkuosat ovat vertailukelpoisia, koska suurilla vuotoilla olevissa mittauksissa kaasua on löysätty yläkierroksilla korkeiden pakopaineiden takia. Käyristä huomataan, että paljon vuotavassa ahtojärjestelmässä teho jää alhaisemmaksi kuin tiiviissä järjestelmässä.

Ahtoputkiston vuodon mittausten painekäyristä nähdään, että vuotavassa järjestelmässä pakopaine nousee erittäin korkeaksi, koska tavoiteahtopainetta ei saavuteta. Kun paineanturille ei tule riittävän suurta painetietoa, ei moottorinohjainlaite aukaise hukkaporttia.

### **6.2.2 Ahtimen ohjausletkun vuoto**

Tässä vikasimuloinnissa huomattiin, että pakopainetta mittaava kanava 4-kanavaisessa VP-testerissä alkoi näyttää epätarkkaa ja kulmikasta käyrää. Mittarin paineanturi hajosi, koska anturiin oli päässyt mittausputkeen kondensoitunutta vettä. Tästä huolimatta muut mittaustulokset ovat vertailukelpoisia.

Liitteen 2 kaaviosta 4 nähdään, miten vuotava alipaineletku vaikuttaa ahtimen toimintaan. Hukkaportti ei ole kiinni, jolloin pakopaine ja ahtopaine eivät nouse riittävästi pienillä kierroksilla. Tämä on havaittavissa myös moottorin vääntökäyrästä (kaavio 3) pienempänä vääntömomenttina alakierroksilla. Kaaviosta 4 nähdään myös, miten ahtimen ohjausalipaine on liian pieni verrattuna toimivaan järjestelmään.

### **6.2.3 Ahtopaineanturin vika**

Tämä vika aiheutettiin lisäämällä säätövastus ahtopainetunnistimen signaalijohdon kanssa rinnan. Liitteessä 2/3 ovat ahtopainetunnistimen oskilloskooppikuvaajat toimivalla tunnistimella ja tunnistimella, jonka kokonaisvastus on liian pieni (kaavio 5).

Epäkunnossa oleva ahtopainetunnistin aiheuttaa liian suuret ahto- ja pakopaineet, koska moottorinohjainlaitteelle menevä jännitesignaali on liian pieni eikä tavoiteahtopainesignaalia saavuteta. Tämä näkyy selvästi liitteen 2 kaaviossa 6.

## 6.2.4 Hukkaportin jumiutuminen

Hukkaportin kiinni jumiutuminen aiheutti Peugeotin järjestelmässä liian suuren ahtopaineen ja vikakoodin vialliselle ahtopaineanturille. Kun hukkaportti pidettiin osittain auki, moottorinohjainlaite ei antanut mitään vikakoodeja.

Mitatuista painekäyristä näkee, että ahtimen magneettiventtiili pienentää alipainetta, kun tavoiteahtopaine on saavutettu, jolloin hukkaportin tulisi aueta. Kun hukkaportti oli jumissa, näin ei tapahtunut, jolloin ahto- ja pakopaine kasvava liian suuriksi. Kiinni juuttuneen hukkaportin vikasimuloinnin painekäyrä on liitteen 2 kaaviossa 8.

## 6.2.5 Pakoputken tukkoisuus

Peugeotin järjestelmässä mitattiin pakoputken vastapaine ennen katalysaattoria, koska siihen oli helppo tehdä mittapiste. Mittaus on esitetty liitteen 2 kaaviossa 9. Mittaustulokset ovat samanlaiset, kuin Renaultin vastaavassa vikasimuloinnissa. Tässä järjestelmässä pakoputken vastapaine kasvoi suuremmaksi, kuin Renaultissa, koska sitä mitattiin ennen hapetuskatalysaattoria. Tämän suuruinen tukos ei vaikuttanut moottorin tuottamaan vääntömomenttiin merkittävästi. Painemittaus on esitetty liitteen 2 kaaviossa 9.

## 6.3 Toyota

Vaikka Toyotan järjestelmiin ei tehty vikasimulointeja, antaa sen mittaustulokset hyvän vertailupohjan ja lisää tietoa järjestelmien toiminnasta. Tässä osiossa käsitellään järjestelmälle tyypillisiä painearvoja.

Liitteen 3 kaaviossa 1 on mitattu ahtimen ohjausalipaine ja ahtopaine 2-kanavaisella VP-testerillä. Kaaviossa 2 on 4-kanavaisen VP-testerin mittaustulos, jossa on mitattu ahtimen ohjausalipainetta, ahtopainetta sekä pakoputken vastapaineet ennen ja jälkeen hiukkassuodatinta. Mittaukset on suoritettu ajamalla 4. vaihteella tehonmittausrampilla Rototest tehodynamometrillä. Kaaviossa 3 on mitattu toimivan järjestelmän painemit-

taus ryntäytyksessä ilman kuormaa. Kaaviossa 5 on Toyotan mittausten teho- ja vääntökuvaajat.

Kaavion 1 perusteella ahtimen ohjaus toimii samalla tavalla kuin Renaultissa. Myös ahtopaineet ovat samansuuruiset kuin Renaultin järjestelmässä. Kaaviosta 2 nähdään selvästi hiukkassuodattimen aiheuttama pakoputken suuri vastapaine. Paine-ero on maksimissaan noin 75 mbar. Moottorilla on ajettu 60 000 kilometriä, joten hiukkassuodatin on vielä puhdas ja tämän vuoksi paine-ero on näin pieni. Tosin pakoputken vastapaine on kokonaisuudessa huomattavasti suurempi kuin esimerkiksi Peugeotin pakoputkessa ennen hapetuskatalysaattoria. Toyotassa koko pakoputken vastapaine oli maksimissaan noin 300 mbar, kun Peugeotissa vastaava arvo oli vain 100 mbar.

Kaikista järjestelmistä mitattiin oskilloskoopilla ahtopaineanturin signaalijännite. Toyotan ahtopaineanturin signaalijännite toimi alueella 1.0–2,5 V (liite 3, kaavio 4). Muissa järjestelmissä ahtopaineanturin signaalijännitteen vaihteluväli oli 0,5–4,5 V. Tämä on tärkeä tieto, jos epäillään viallista ahtopaineanturia. Kun verrataan ahtopaineanturin signaalijännitteen kuvaajaa ja VP-testerillä mitattua ahtopaine kuvaajaa, huomataan niiden olevan samantyyppiset. Tällä tavalla on helppo tarkistaa ahtopaineanturin kunto.

## **6.4 Mittaustulosten vertailu todellisiin vikatilanteisiin**

Tässä osiossa vertaillaan simuloituja vikoja Sauli Marttila-Tornion suorittamiin mittauksiin todellisissa vikatilanteissa. Näin voidaan päätellä, miten simuloinnit ovat onnistuneet. Kun samanlaisia vikoja on paljon, saadaan parempi varmuus myös mittarin kelpoisuudesta vikojen diagnoosiin. Sauli Marttila-Tornion mittaukset on tallennettu oheistietoineen VP-testerin kotisivuille.

Tässä työssä suoritetuissa ahtojärjestelmän vuotosimuloinneissa on päästy samanlaisiin mittaustuloksiin, kuin VP-testerin kotisivuilla olevassa todellisessa välijäähdyttimen vikatilanteessa. Vioittunut välijäähdytin oli Volvo V70



2.4D -autossa. Tämän järjestelmän mittaustulos on liitteen 4 kaaviossa 1. Kun verrataan tätä mittaustulosta 4. vaihteen osalta tässä työssä mitattuihin ahtojärjestelmän vikoihin, huomataan, että ahtopainekäyrät ovat samanlaiset. Voidaan siis todeta, että mittarilla saadaan varmuus ahtojärjestelmän vuodosta, kun tiedetään toimivan järjestelmän ahtopaine ja ohjausalipaine sekä varmistetaan että muut komponentit ovat kunnossa.

VP-testerin kotisivuilla on myös vikatilanne, jossa ahtimen ohjainsiivet ovat jumiutuneet. Myös tämä mittaustulos on vastaava, kuin tässä työssä simuloitujen vikatilanteet. Tämä on havaittavissa, kun verrataan liitteen 1 kaaviota 5 liitteen 4 kaavioon 2.

Hiukkassuodattimen tukkeutuneisuudesta saadaan mittarilla varma tieto, kun mitataan paine-erotunnistimelle menevä todellinen pakoputken vastapaine ennen hiukkassuodatinta ja verrataan järjestelmätestauslaitteen antamaan paine-erotietoon.. Tällä tavalla voidaan varmistaa paine-erotunnistimen toiminta. Liitteen 4 kaaviossa 3 on mitattu ryntäytyksessä pakoputken vastapainetta autosta, jonka hiukkassuodatin on pahoin tukkeutunut. Tätä tulosta on verrattu järjestelmätestauslaitteen paine-erotietoon ja varmistuttu hiukkassuodattimen olevan tukossa, koska molemmat näyttivät maksimipaineeroksi noin 800 mbar.

## 7 TULOSTEN YHTEENVETO

Tutkimustulokset osoittavat, että eri automerkeille tehdyissä samanlaisissa vioissa saadaan samansuuntaisia mittaustuloksia. Tästä huolimatta pelkällä painemittauksella ei voida diagnosoida tiettyä painejärjestelmän komponenttia, vaan vialliseksi epäilty komponentti täytyy tarkastaa. Tärkeiksi tarkastuskohteiksi osoittautuivat ohjausalipaineletkut. Rikkinäiset ohjaus- ja järjestelmäalipaineletkut aiheuttivat monentyyppisiä vikoja, joten ne on syytä tarkistaa kaikissa vikatilanteissa. Nämä letkut on helppo tarkistaa VP-testerillä, kun tiedetään toimivan järjestelmän alipainearvot.

Monissa vikasimuloinneissa varsinkin 2-kanavaisella mittarilla mitatessa saatiin hyvin samantyyppisiä käyriä. Tällöin mittauksia on tehtävä useampia, jotta kaikki järjestelmän paineet saadaan mitattua ja vika löytyy.

Ahtimen ohjainsiivekkeiden ja hukkaportin jumiutuminen on helposti todettavissa mitattaessa ahtimen ohjausalipainetta ja ahtopainetta. Kun ahtopaine nousee liian suureksi, on suuri todennäköisyys, että vika on ohjainsiivissä tai hukkaportissa. Kun ahtimen ohjainsiivet tai hukkaportti tarkistetaan vielä erillisellä alipainepumpulla, voidaan olla varmoja, että vika on hukkaportissa tai ahtimen ohjainsiivissä.

Mittaukset osoittivat, että anturien ja magneettiventtiilien toiminta täytyy varmistaa myös vastusmittauksella painemittauksen lisäksi, koska osittain viallisen anturin signaalikuvaaja voi olla samanlainen, kuin toimivalla anturilla. Tarkastusohjeet näille komponenteille löytyy esimerkiksi Autodatasta.

Mittausten perusteella VP-testeriä on hyvä käyttää apuna hiukkassuodattimen analysoinnissa. Kun hiukkassuodattimen paine-erotunnistimen toimintaa verrataan painemittaukseen, voidaan olla täysin varmoja hiukkassuodattimen tilasta ja kallista suodatinta ei vaihdeta turhaan. Tämä mittaus on myös nopea suorittaa, koska paine-erotunnistimelle tulee valmiit mittapistet.

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että laite on todella hyvä apuväline paineohjattujen järjestelmien diagnosointiin. Tosin laitteen käyttäjällä täytyy olla riittävät perustiedot järjestelmistä, jotta hän osaa tulkita painemittausten tuloksia ja edetä vianhaussa oikeassa järjestyksessä.

## 8 POHDINTA

Työssä oli tavoitteena tuottaa korjaamoille tietoa eri autonvalmistajien painehjattujen järjestelmien painearvoista ja selvittää, minkälaisia vikoja VP-tester-mittarilla voidaan varmuudella diagnosoida. Tavoitteisiin päästiin, koska kaikki suunnitellut mittaukset saatiin suoritettua ja järjestelmien eroavaisuuksista tuli uutta tietoa. Korjaamo sai tärkeää tietoa automerkeistä, joista sillä ei ollut vielä tutkimustuloksia. Työssä selvisi myös, minkälaisien vikojen tutkimiseen laite sopii parhaiten.

Laitteen toiminnasta saatiin myös hyvää tietoa, ja puutteita ilmeni esimerkiksi laitteen kalibroinnissa ja ohjelman soveltuvuudessa uuteen Windows-käyttöjärjestelmään. Laite ei tue uutta Windows-käyttöjärjestelmää, jolloin sitä ei voida vielä käyttää uusimmissa tietokoneissa. Tämä asia vaatii tuotekehitystyötä pian. Joissain tilanteissa ohjelman kuvaajan suodatusarvot muuttuivat itsestään, jolloin kuvaajista tuli epäloogiset. Vika olisi jäänyt huomaamatta, ellei mittauksia olisi suoritettu kahdella mittarilla. Mittarin toimintavarmuutta on siis kehitettävä. Mittarin ostajalle on syytä tehdä käyttöopas laitteeseen ja asennettavaan tietokoneohjelmaan, jotta sen ominaisuudet ja käyttö voidaan omaksua. Nämä asiat vaativat vielä siis lisätutkimuksia ja tuotekehitystä. Laitteen toimintaan paneudutaankin tarkemmin Kalle Suorsan (2011) Oulun yliopistolle tekemässä diplomityössä.

VP-tester-mittarilla on mahdollista mitata monia kohteita, ja tuotetta voidaan kehittää moneen suuntaan. Esimerkiksi erillisillä kaasuttimilla varustettujen moottoripyörien kaasuttimien synkronointiin 4-kanavainen mittari sopii hyvin. Mittarista on mahdollista tehdä sellainen, että sillä voidaan mitata myös nesteiden painetta. Tällöin sitä voidaan käyttää esimerkiksi öljyn- tai jäähdytysnesteiden paineen mittaamiseen.

Mittaustulokset olivat riittävän laajat, vaikka Toyotan moottoriin ei tehty vikasimulointeja. Työn tilaajan Sauli Marttila-Tornion suorittamat mittaukset virallisesti järjestelmiin toimivat hyvinä vertailutuloksina vikasimulointeihin. Näin

voitiin arvioida vikasimulointien onnistumista. Vikasimuloinnit onnistuivat suunnitelmien mukaisesti pieniä vastoinkäymisiä lukuun ottamatta.

Työn oppimistavoite täyttyi hyvin. Teoriatietoa karttui paljon, joten sen pohjalta oli helppo suorittaa mittauksia. Sähköisten komponenttien teoriatiedot olivat mittausten alussa puutteelliset, ja siksi ahtopaineanturin vian simulointi ei onnistunut Renaultin moottoriin. Ensimmäisten mittausten suunnittelu olisi pitänyt tehdä tarkemmin. Tällöin mittauksissa ei olisi mennyt niin kauan. Järjestelmätestauslaitteen ominaisuuksien käyttö parani ja tämän työn jälkeen sen hyödyntäminen on helpompaa. Työn jälkeen nykyaikaisten dieselmootoreiden paineohjatut järjestelmät ovat tuttuja ja niiden vianhaku onnistuu helposti.

Mittarin toimivuus vikojen haussa tuli selville. Työssä selvisi, että laitteella on helppo saada varmuus epäiltävästä viasta, kun käyttäjällä on riittävät taidot ja motivaatio tutkia vikoja. Mittausten perusteella havaittiin myös, että laite on erinomainen hiukkassuodattimen tilan määrittämisessä.

Työ alkuvaiheessa ongelmia aiheutti aiheen sopiva rajaaminen, koska mittarilla on paljon muitakin mahdollisia käyttökohteita. Aikatauluttamisessa olisi ollut parantamisen varaa. Kirjallisen osuuden kirjoittaminen olisi pitänyt aloittaa huomattavasti aiemmin. Myös mittaukset olisi voinut suorittaa aiemmin. Työtunteja tämän työn tekemiseen kertyi odottamattoman paljon. Näistä on hyvä ottaa opiksi, ja mahdollisissa tulevilla projektiluontoisissa töissä osaan laatia aikataulun paremmin.

## LÄHTEET

Aumala, Olli 2001. Mittaustekniikan perusteet 10. painos. Helsinki: Hakapaino Oy.

Avensis 2.0 D-4D -tekniset tiedot 2011. Toyota.fi. Saatavissa [http://www.toyota.fi/cars/new\\_cars/avensis/specs.aspx](http://www.toyota.fi/cars/new_cars/avensis/specs.aspx). Hakupäivä 13.3.2011.

Bosch, Robert 1999. Yhteispaineruiskutusjärjestelmä. Suom. Lehtinen, Arto. Helsinki: Autoalan Koulutuskeskus Oy.

Bosch, Robert 2003. Autoteknillinen taskukirja 6. painos. Suom. Autoalan Koulutuskeskus. Jyväskylä: Gummerus Oy.

Bosch, Robert 2009. Autojen anturit. Suom. Juhala, Matti. Helsinki: Autoalan Koulutuskeskus Oy.

Huhtanen, Mika 2010. T334003 Katalyyttiset puhdistusmenetelmät 3 op. Opintojaksomateriaali syksyllä 2010. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

Lehtonen, Arto 2009. T330203 Auton elektroniikka 1 3 op. Opintojaksomateriaali syksyllä 2009. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

Megane 1.5 dci tekniset tiedot 2011. AutoDB.fi - Suomalainen autotietokanta. Saatavissa <http://autodb.fi/model.php?carid=5891&compare=>. Hakupäivä 12.3.2011.

Mäkinen, Esa – Koskinen, Harri – Kukkonen, Esko – Virtanen, Ari – Virvalo, Tapio 1990. Sähköpneumaattisen liikkeen ja paineen hallinta. Mänttä: Mänttän Kirjapaino Oy.

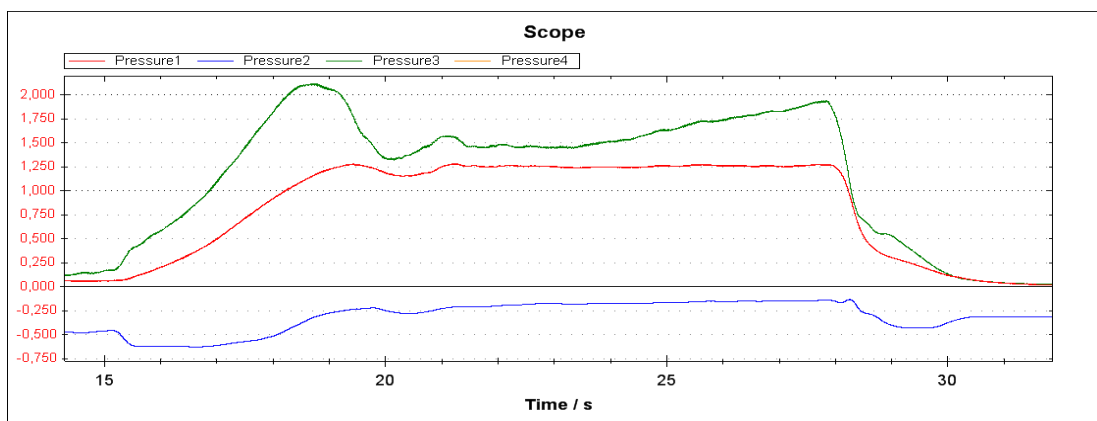
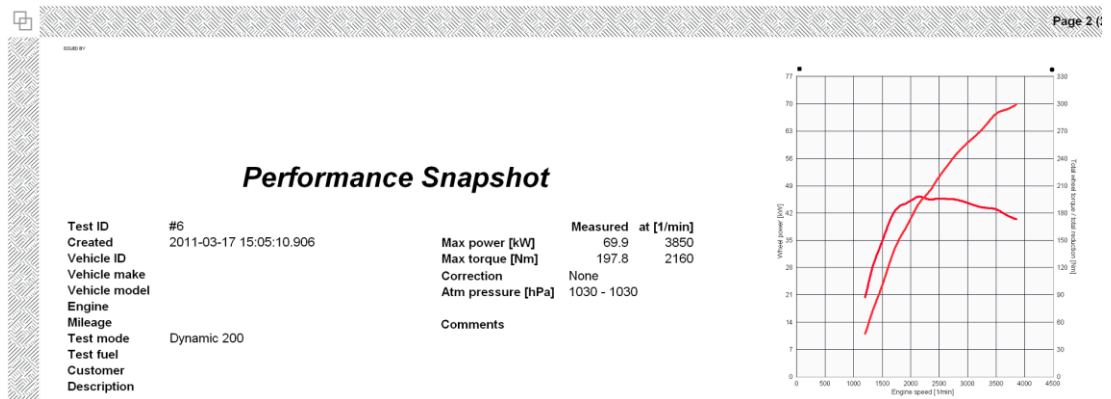
Nieminen, Simo 1994. Auton sähkötekniikka. Juva: Werner Söderström Osakeyhtiö.

Peugeot 2.0 HDi -tekniset tiedot 2011. AutoDB.fi - Suomalainen autotietokanta. Saatavissa <http://autodb.fi/model.php?carid=5322&compare=>. Hakupäivä 12.3.2011.

Suorsa, Kalle 2011. Diplomityö. Oulu: Oulun Yliopisto, tekniikan yksikkö.

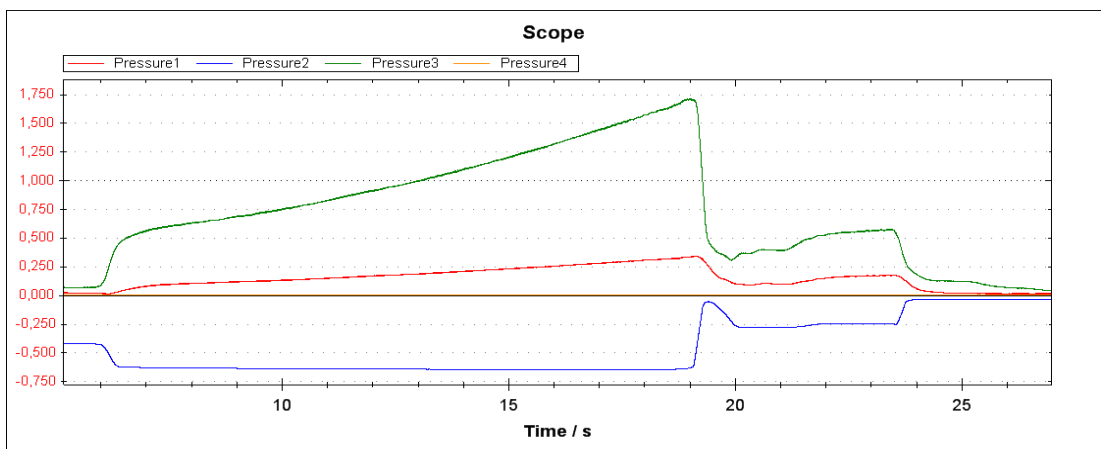
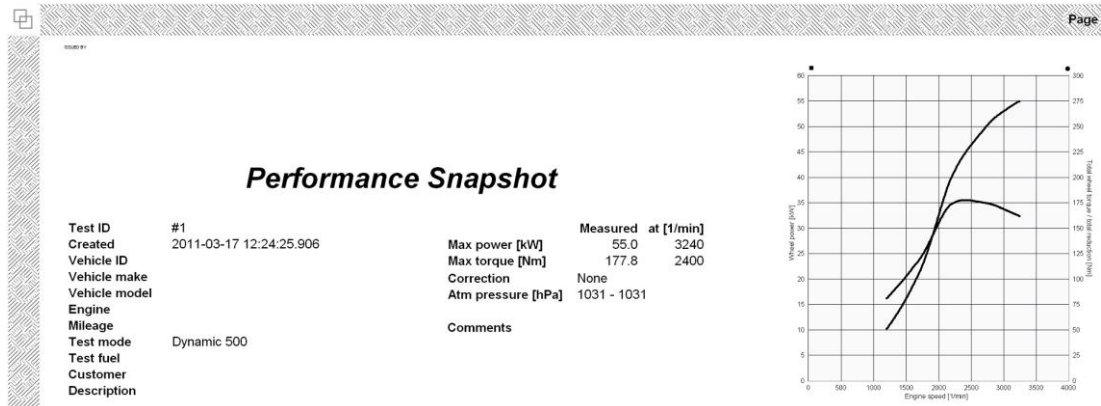
Säätyvä turboahdin. 1996. Itseopiskeluohjelma Volkswagen-korjaamoille. Volkswagen AG. Service 190.

Venymäliuskat. 2007. Teknologiakasvatus NYT! Virikemateriaalia opettajalle. Oulu: Oulun yliopisto, Oulun eteläisen instituutti. Saatavissa: <http://www.oulu.fi/teknokas/tehtavakortit/venymaliuska.pdf>. Hakupäivä 10.3.2011.

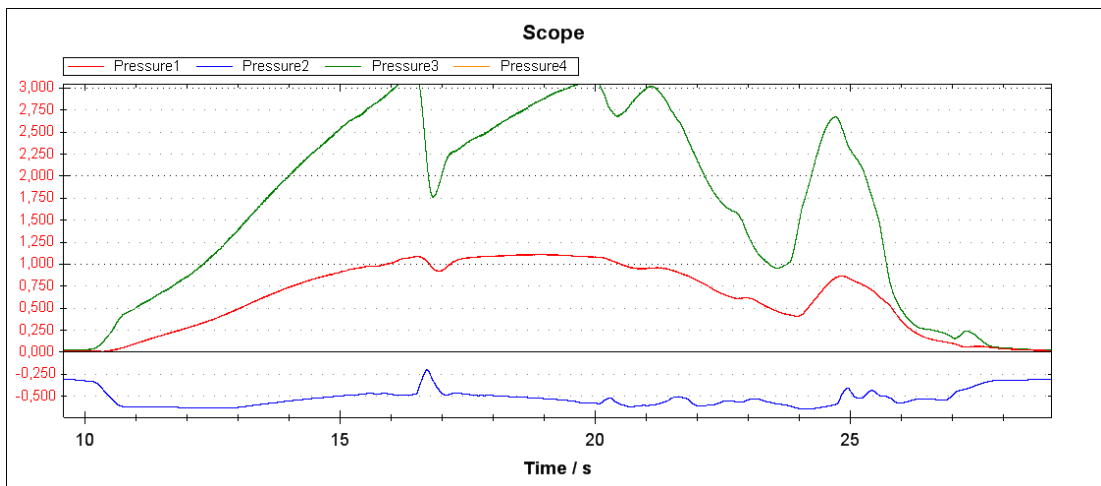


Kaavio 1: Dynamometrimitaustulos sekä pakopaine (vibr.), ahtopaine (pun.) ja ahtimen ohjausalipaine (sin.) normaalisti toimivassa järjestelmässä

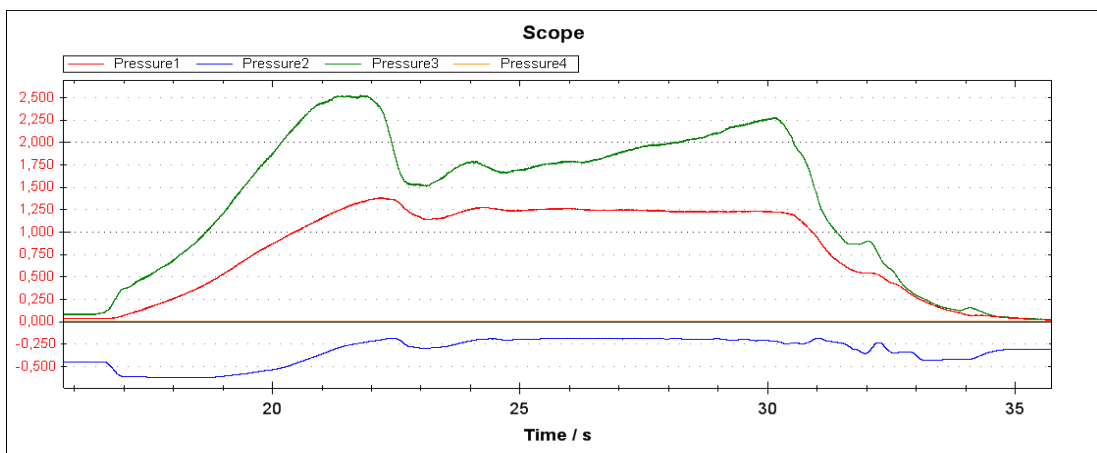
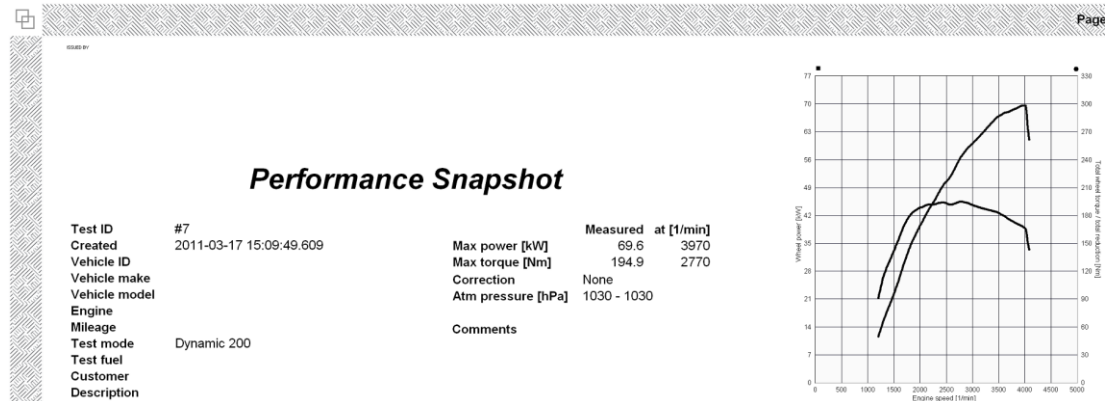




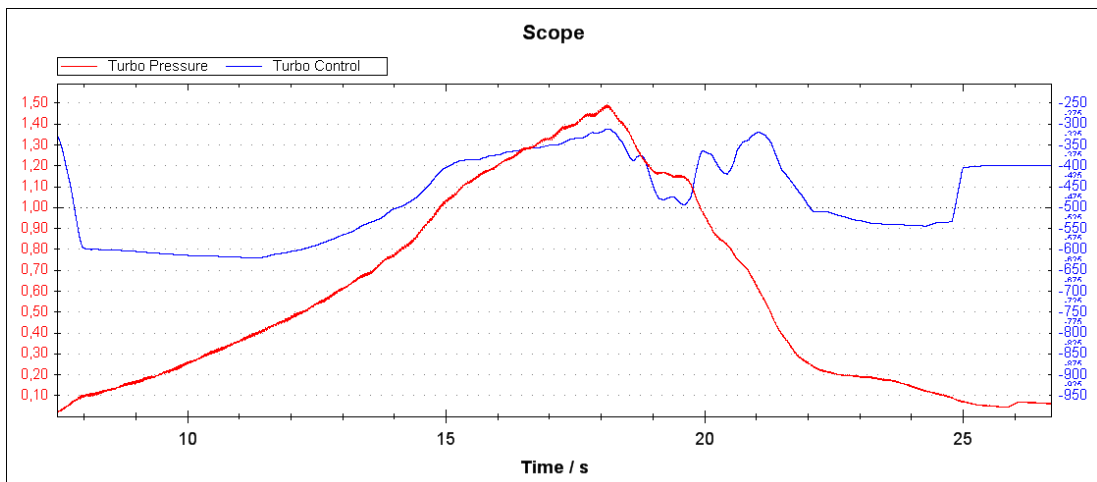
Kaavio 2: Dynamometrimittaustulos sekä pakopaine (vihr.), ahtopaine (pun.) ja ahtimen ohjausalipaine (sin.), kun ahtoputkistossa 1/2" vuoto



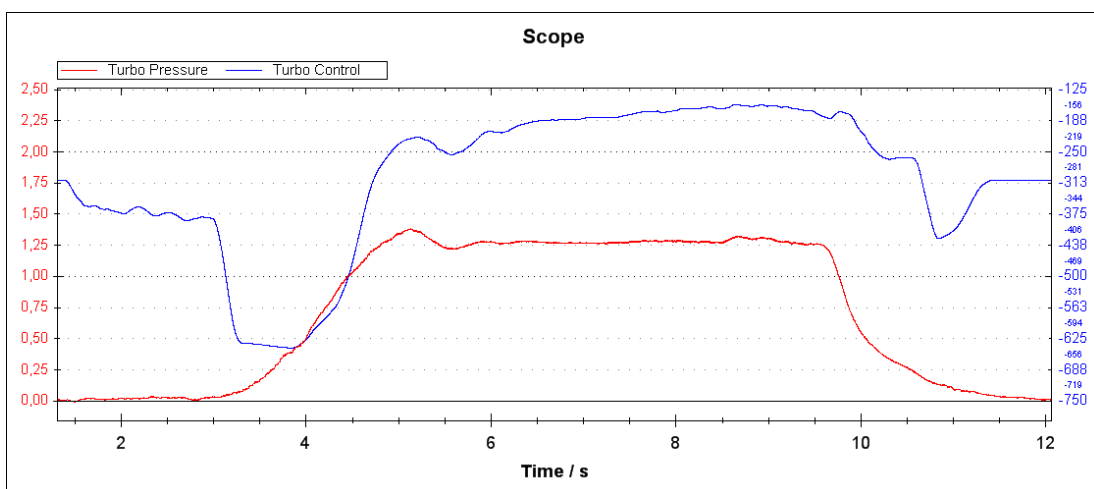
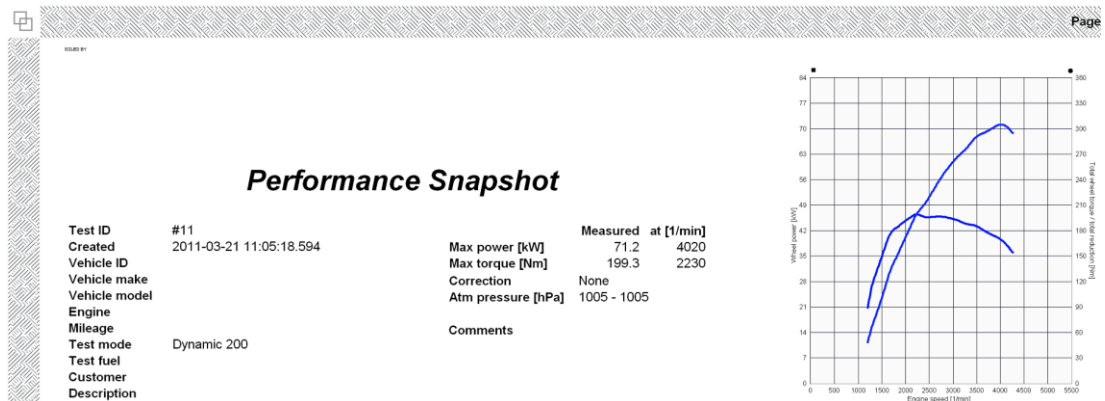
Kaavio 3: Painemittaustulos sekä pakopaine (vih.), ahtopaine (pun.) ja ahtimen ohjausalipaine (sin.), kun ahtoputkistossa 1/2" vuotoventtiiliä aukaistu 30 %



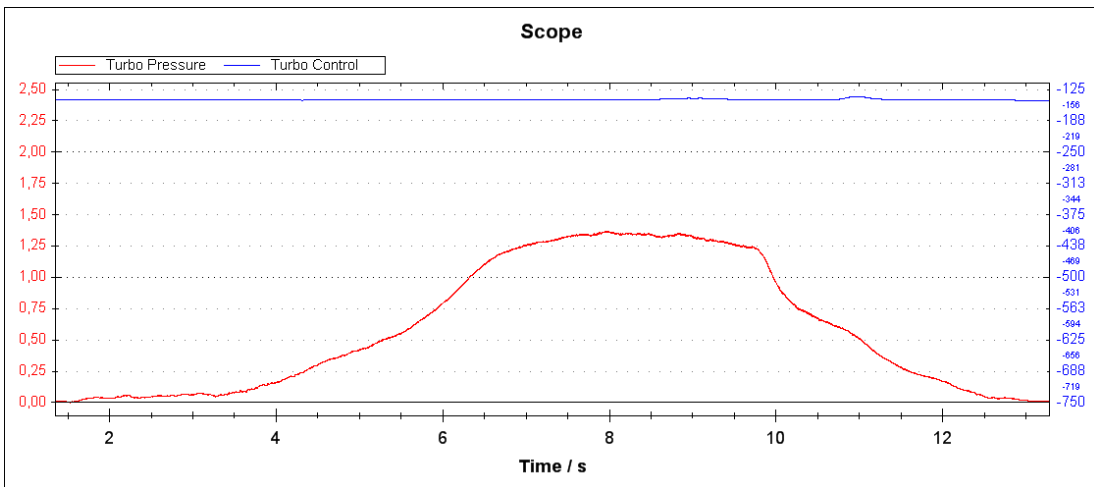
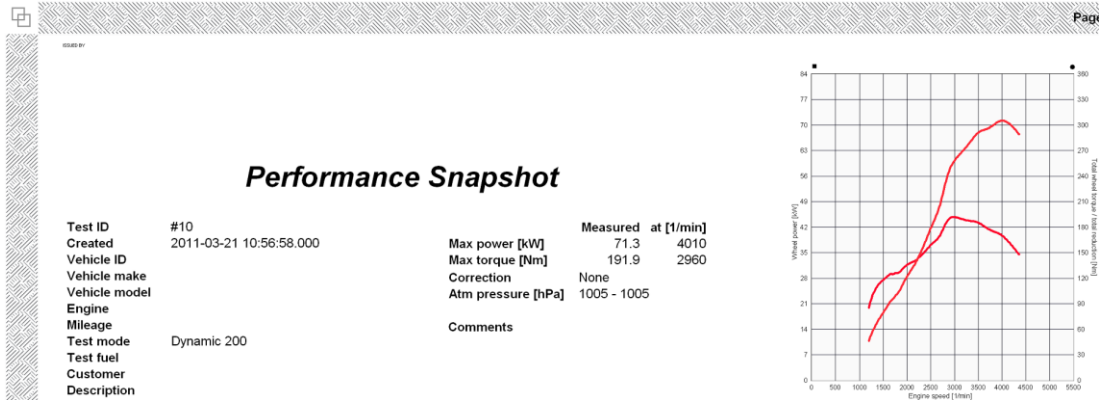
Kaavio 4: Dynamometrimittaustulos sekä pakopaine (vih.), ahtopaine (pun.) ja ahtimen ohjausalipaine (sin.), kun ahtoputkistossa 1/2" vuotoventtiiliä aukaistu 20 %.



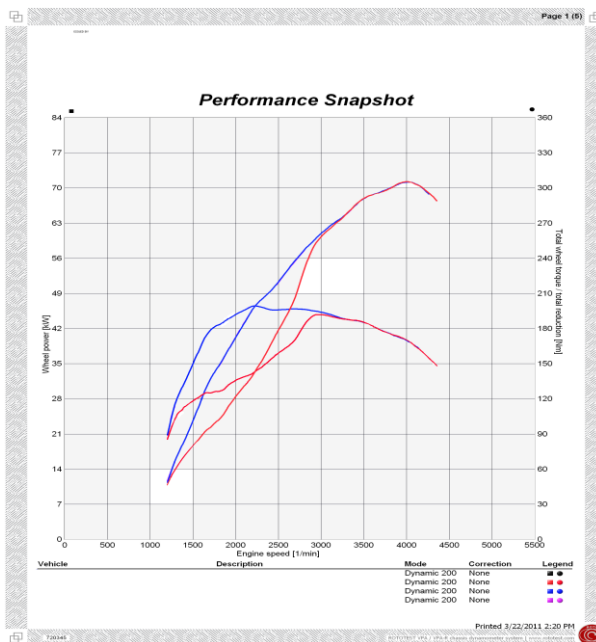
Kaavio 5: Ahtimen ohjausalipaine (sin.) ja ahtopaine (pun.) ahtimen ohjain-siipien jumiutuessa



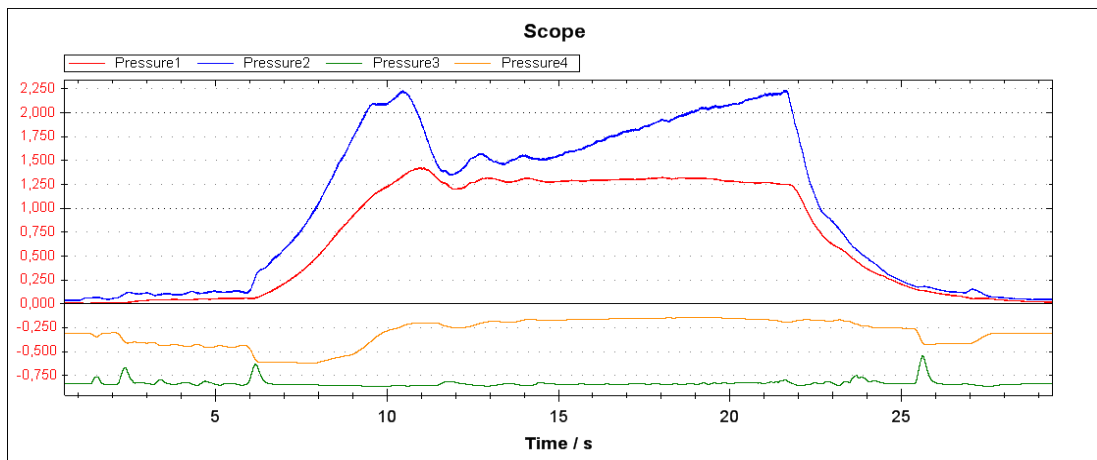
Kaavio 6: Dynamometrimittaustulos sekä ahtimen ohjuslipaine (sin.) ja ahtopaine (pun.) toimivassa järjestelmässä



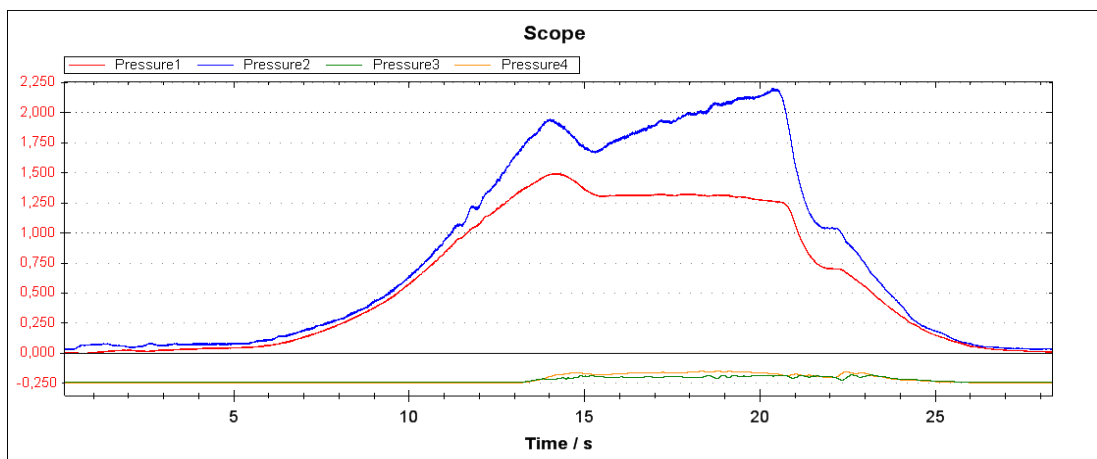
Kaavio 7: Dynamometrimitaustulos sekä ahtimen ohjuslipaine (sin.) ja ahtopaine (pun.), kun ohjusletkun vuoto 160 mbar tyhjäkäynnillä.



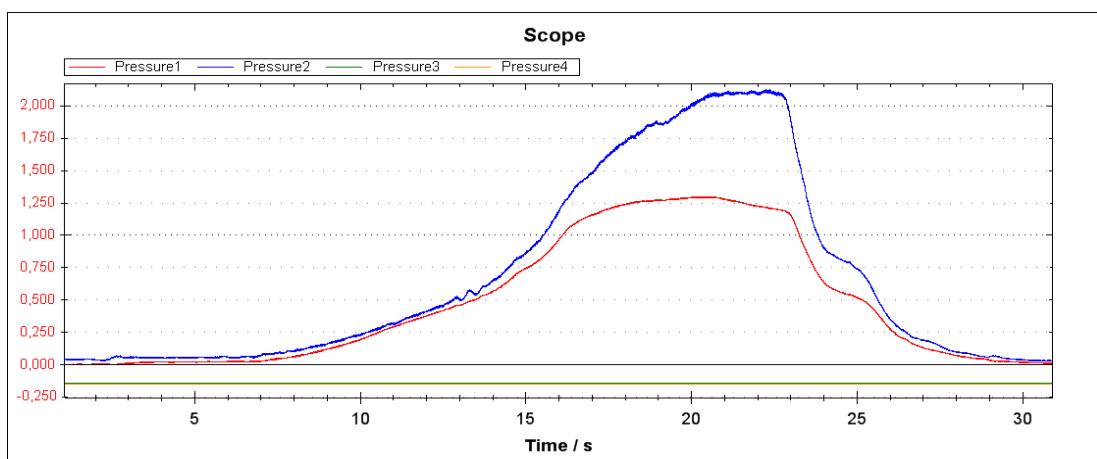
Kaavio 8: Vuotavalla ahtimen ohjusletkulla olevan moottorin teho- ja vääntökäyrien vertailu toimivan järjestelmän käyriin



Kaavio 9: Ahtopaine (pun.), pakopaine (sin.), ahtimen ohjausalipaine (orans.) ja järjestelmän alipaine (vihr.) toimivalla alipainepumpulla



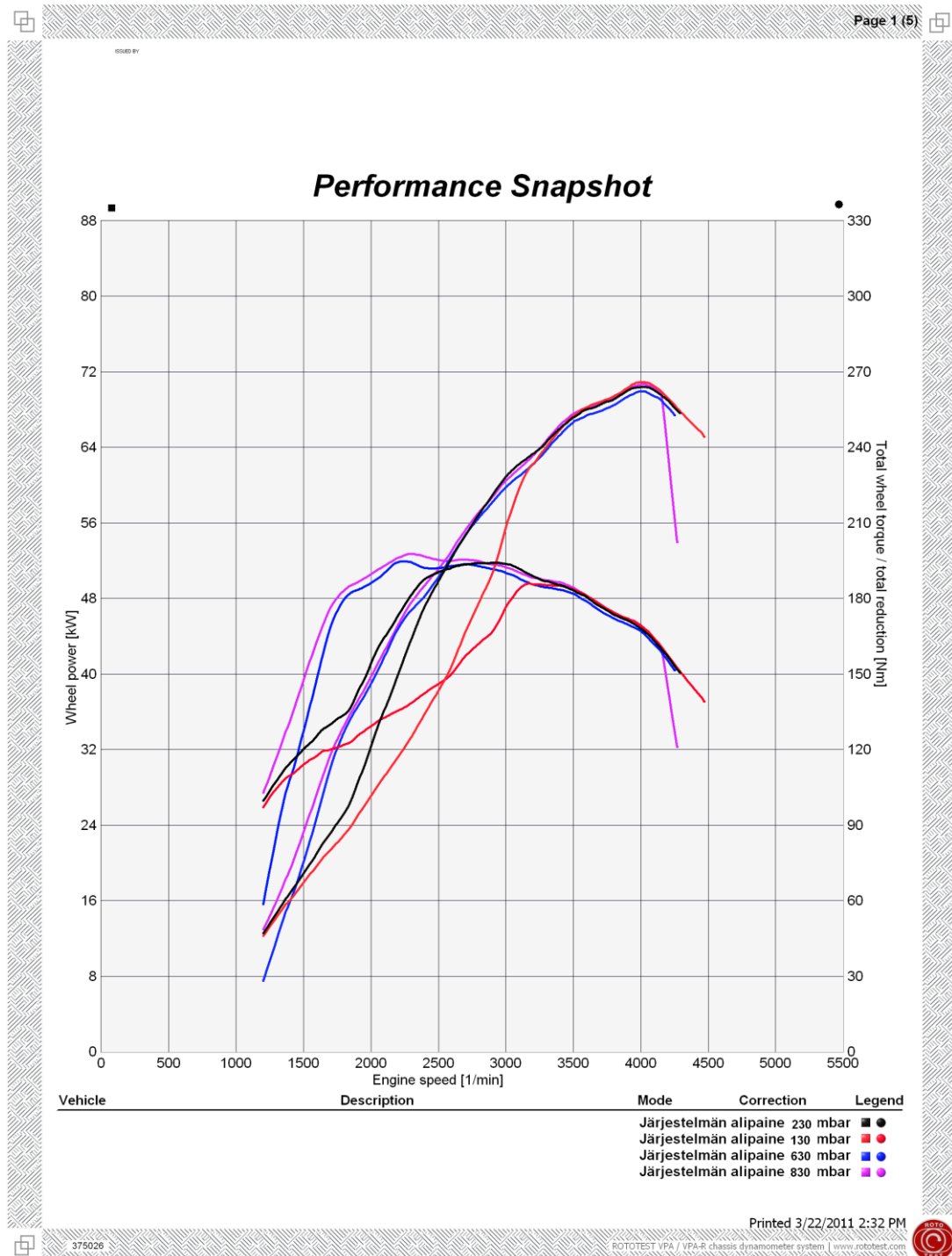
Kaavio 10: Ahtopaine (pun.), pakopaine (sin.), ahtimen ohjausalipaine (orans.) ja järjestelmän alipaine (vihr.) alitehoisella alipainepumpulla (järjestelmän alipaine 230 mbar)



Kaavio 11: Ahtopaine (pun.), pakopaine (sin.), ahtimen ohjauslipaine (orans.) ja järjestelmän alipaine (vihr.) alitehoisella alipainepumpulla (järjestelmän alipaine 130 mbar)

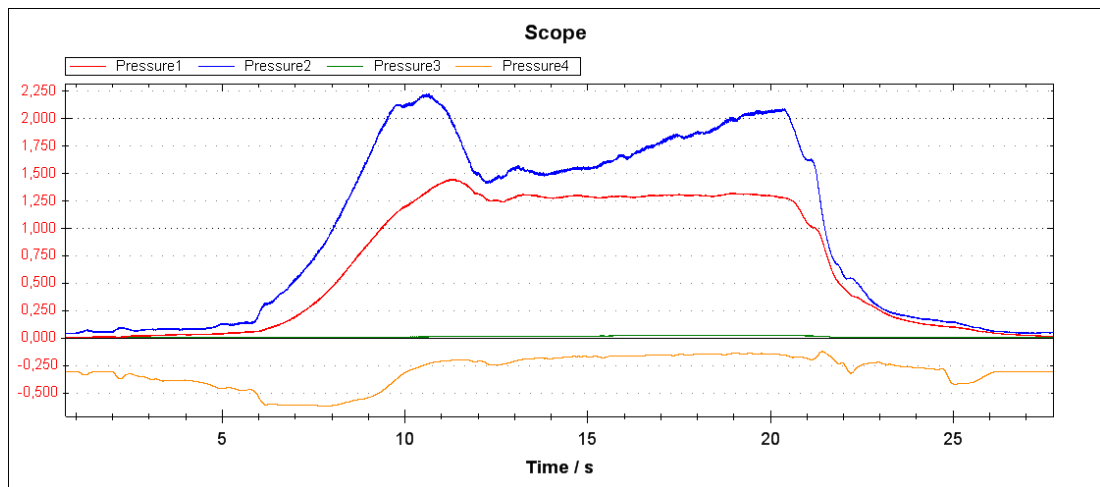
MITTAUSTULOKSET RENAULT

LIITE 1/7

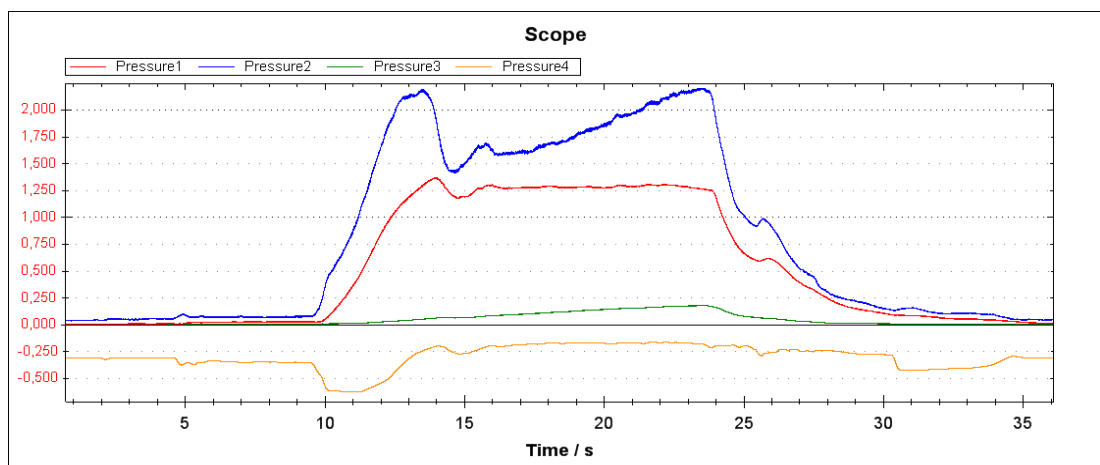


Kaavio 12: Moottorin teho- ja vääntökäyrät alipainepumpun vikasimuloinnissa

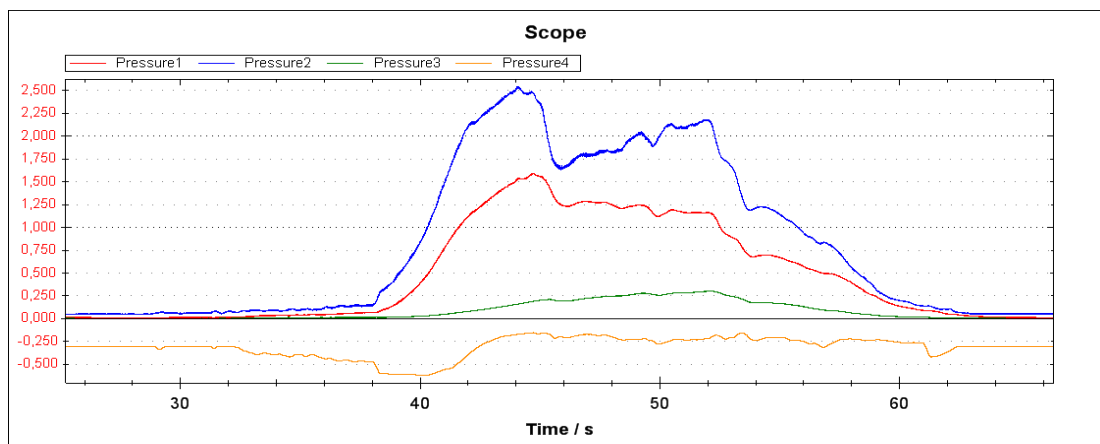
Ei tukosta



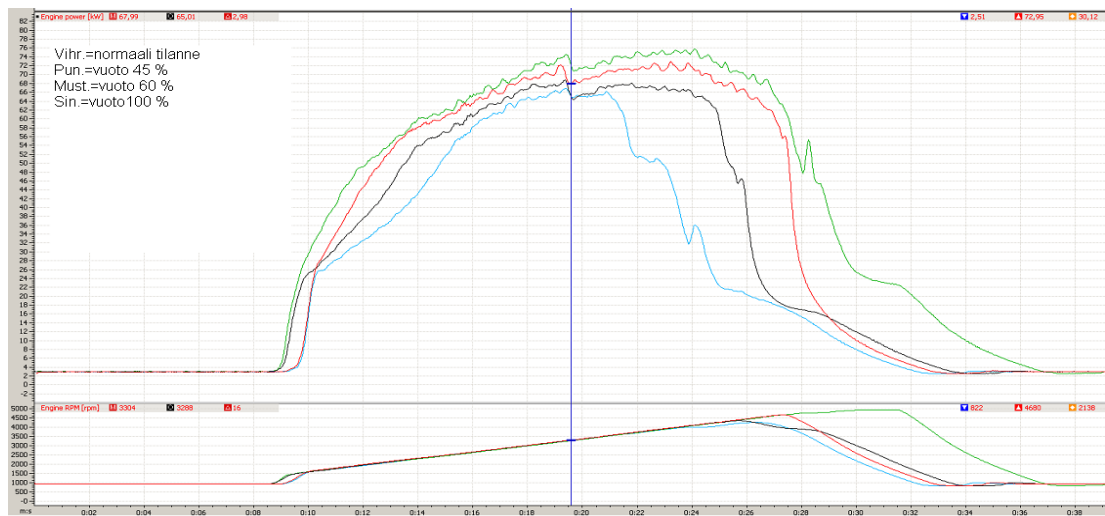
Tukos 50 %



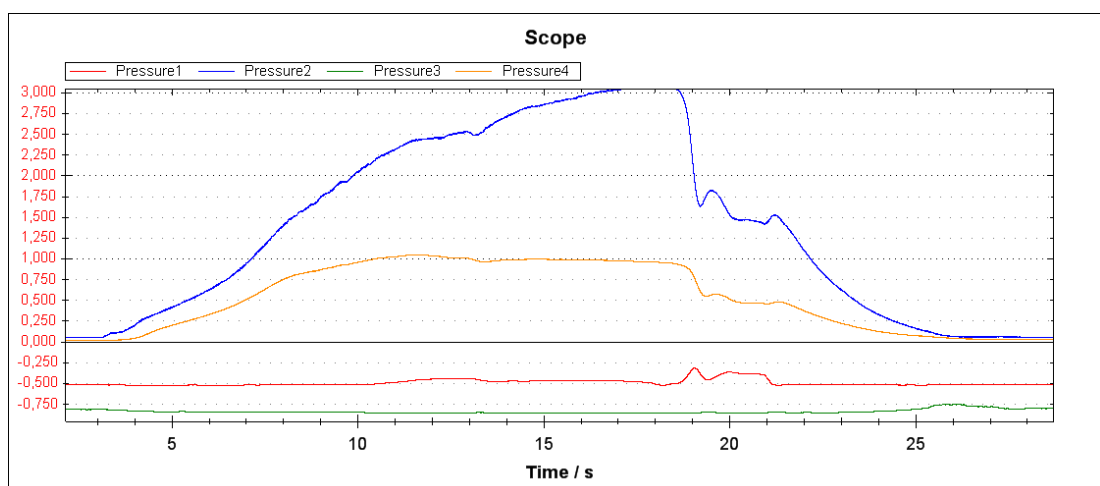
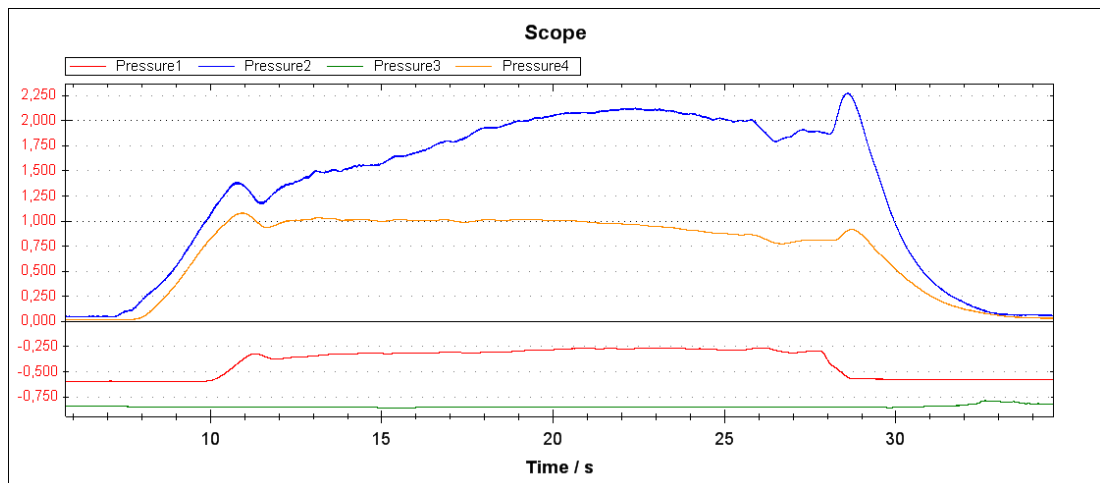
Tukos 70 %



Kaavio 13: Ahtopaine (pun.), pakopaine (sin.), ahtimen ohjausalipaine (orans.) ja pakoputken vastapaine (vihr.) pakoputken tukkoisuuden simuloinnissa



Kaavio 1: Moottorin tehokäyrät ahtojärjestelmän vikasimuloinnissa

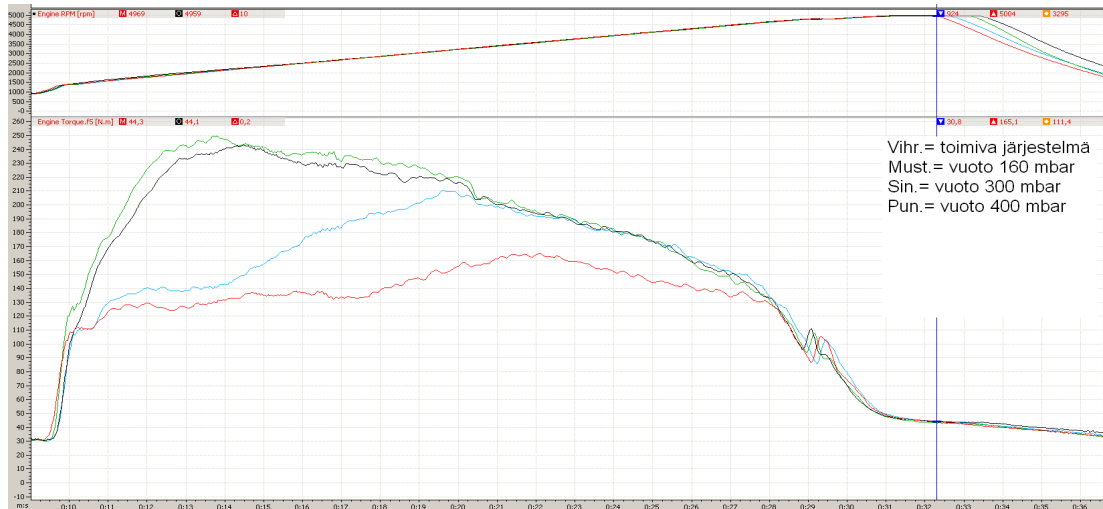


Kaavio 2: Yläpuolella toimiva järjestelmä ja alla vuotava järjestelmä. Ahtopaine (orans.), pakopaine (sin.), ahtimen ohjausalipaine (pun.) ja järjestelmän alipaine (vihr.)

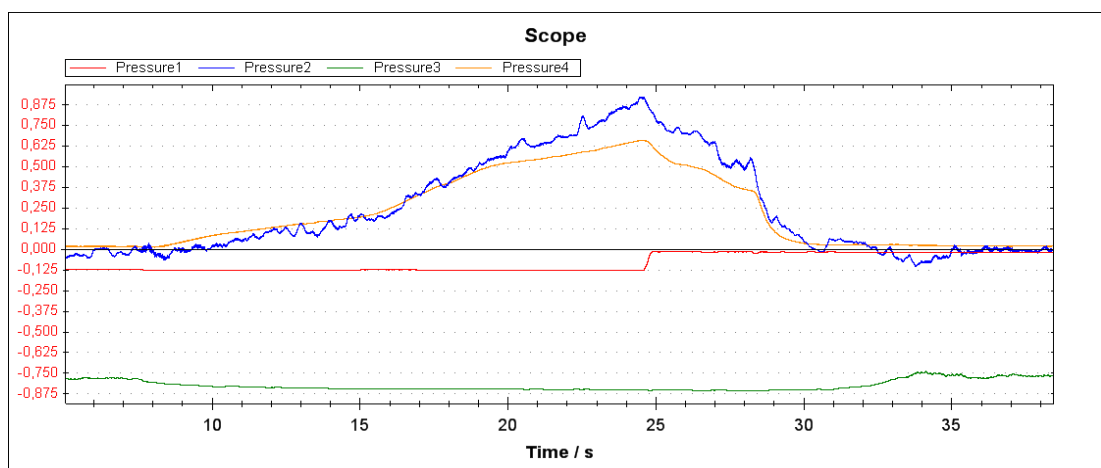
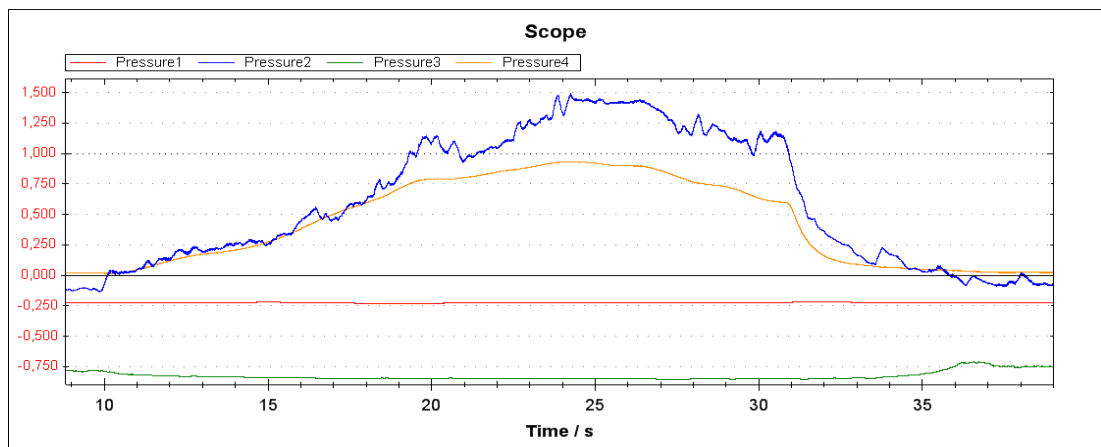


# MITTAUSTULOKSET PEUGEOT

# LIITE 2/2



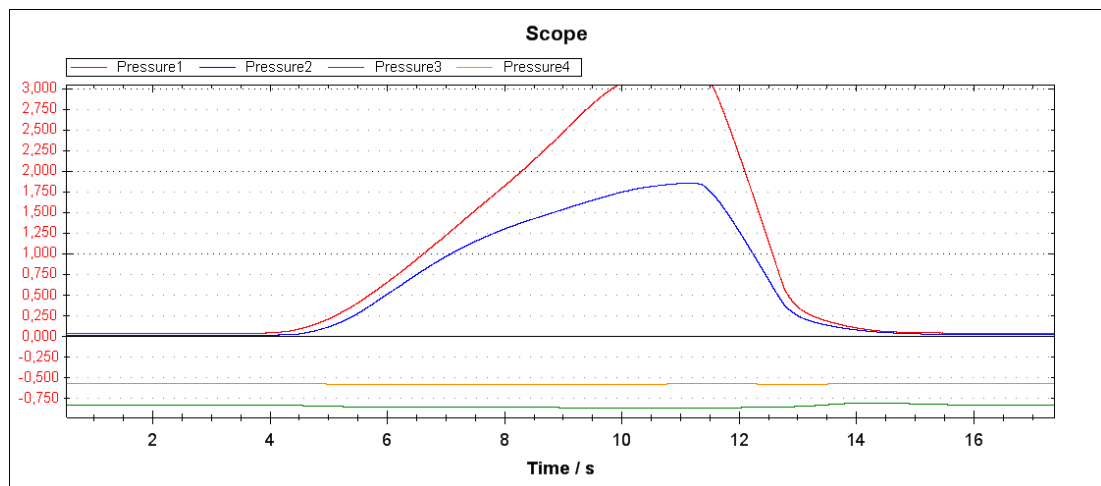
Kaavio 3: Moottorin vääntökäyrät ahtimen ohjausalipaineletkun vikasimuloinnissa



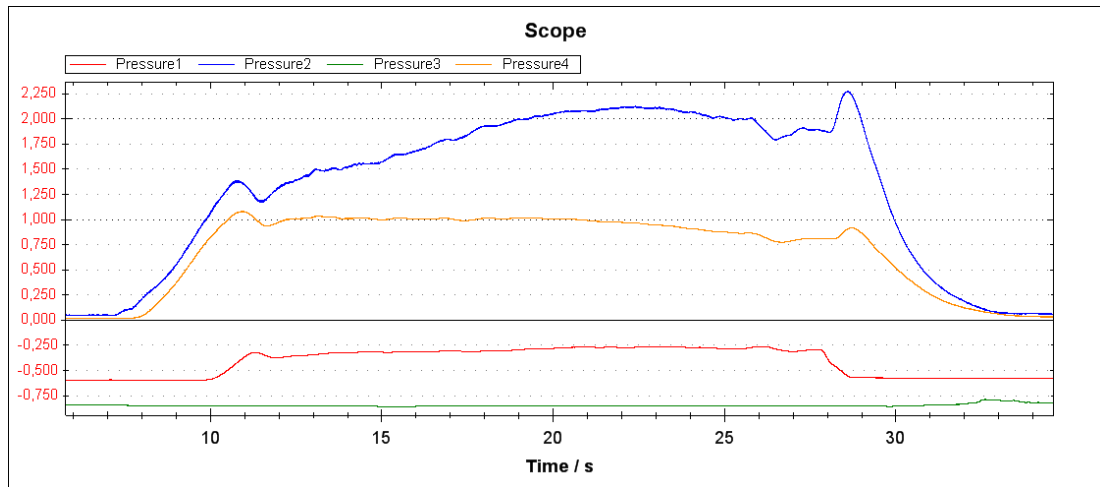
Kaavio 4: Ylhäällä ohjausalipaineletkussa 300 mbar vuoto ja alhaalla ohjausalipaineletkussa 400 mbar vuoto. Ahtopaine (orans.), pakopaine (sin.), ahtimen ohjausalipaine (pun.) ja järjestelmän alipaine (vihr.)



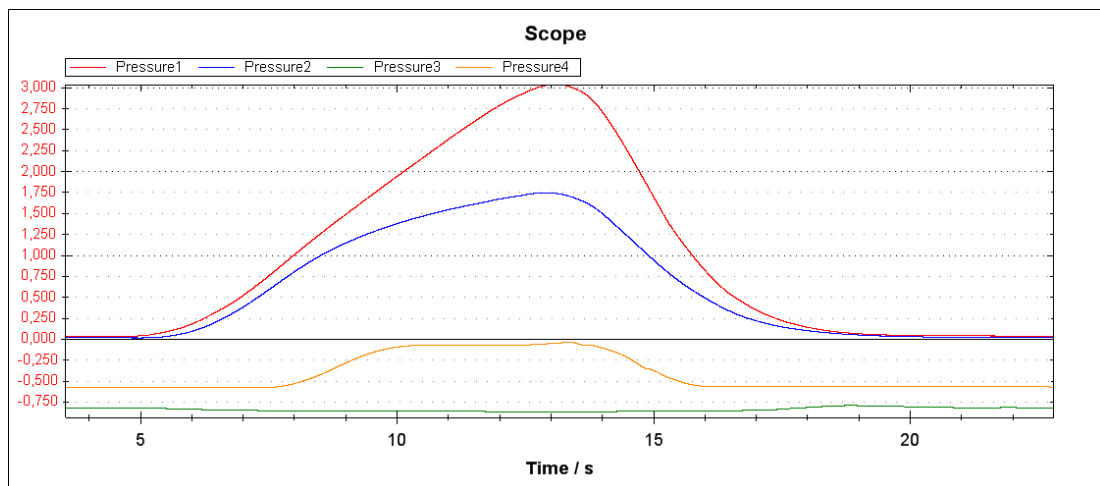
Kaavio 5: Epäkuntoisen ja toimivan ahtopaineanturin signaalikuvaajat



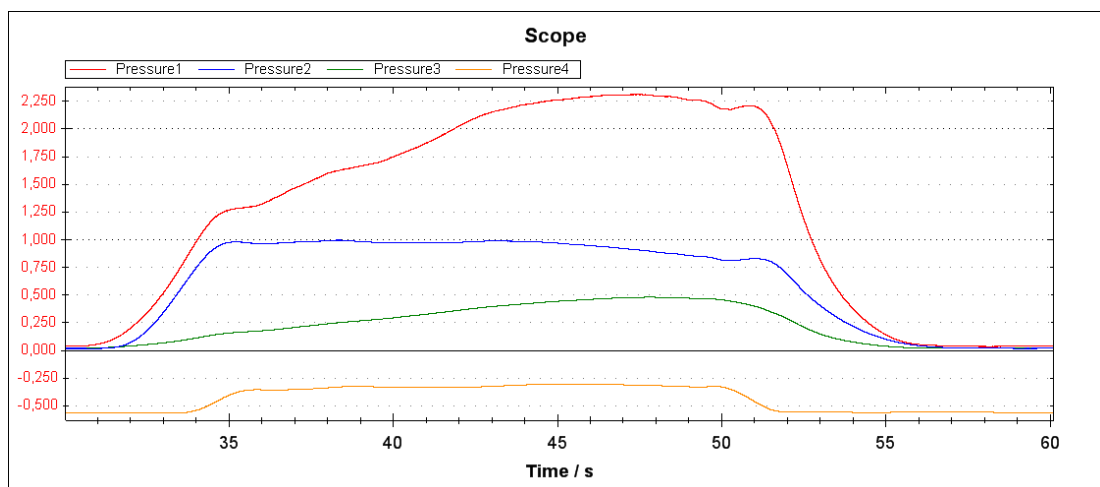
Kaavio 6: Painemittaus viallisella ahtopaineanturilla. Ahtopaine (sin.), pakopaine (pun.), ahtimen ohjausalipaine (orans.) ja järjestelmän alipaine (vihr.)



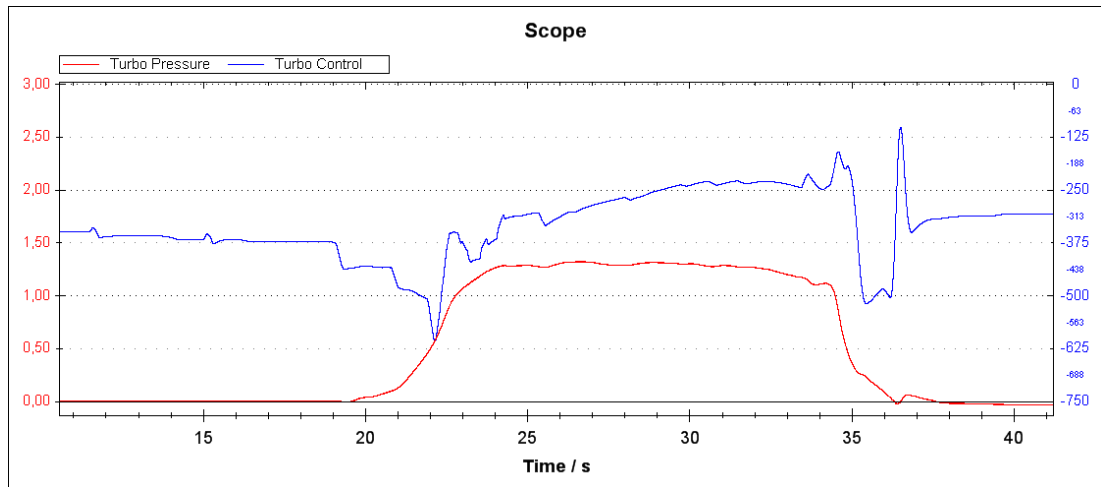
Kaavio 7: Toimivan järjestelmän painemittaus. Ahtopaine (orans.), pakopaine (sin.), ahtimen ohjausalipaine (pun.) ja järjestelmän alipaine (vihr.)



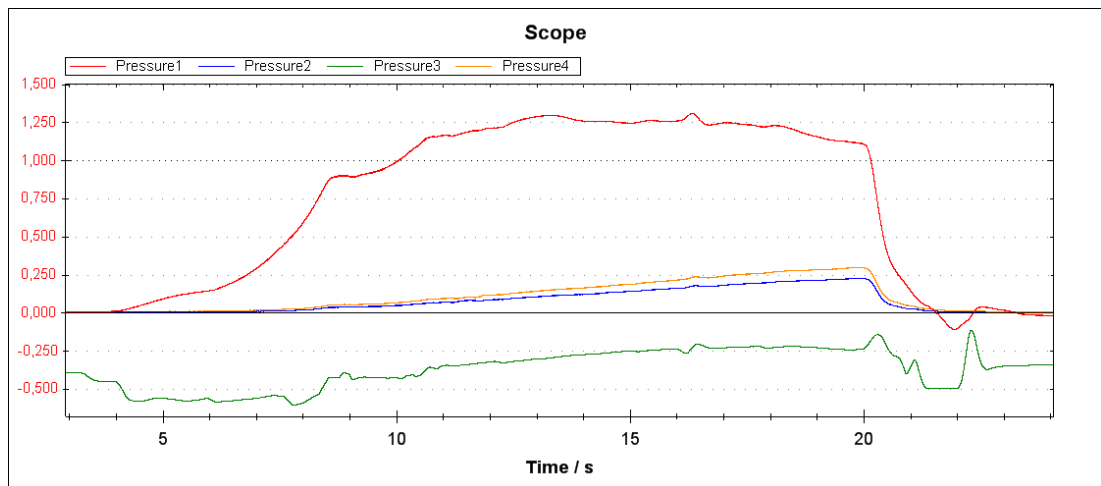
Kaavio 8: Painemittaus kiinni jumiutuneella hukkaportilla



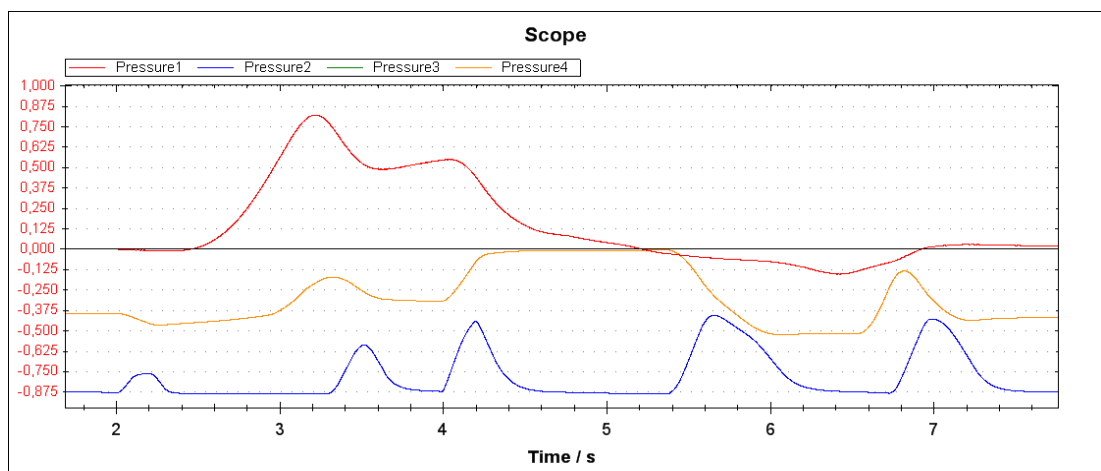
Kaavio 9: Painemittaus tukossa olevalla pakoputkella (tukos 70 %)



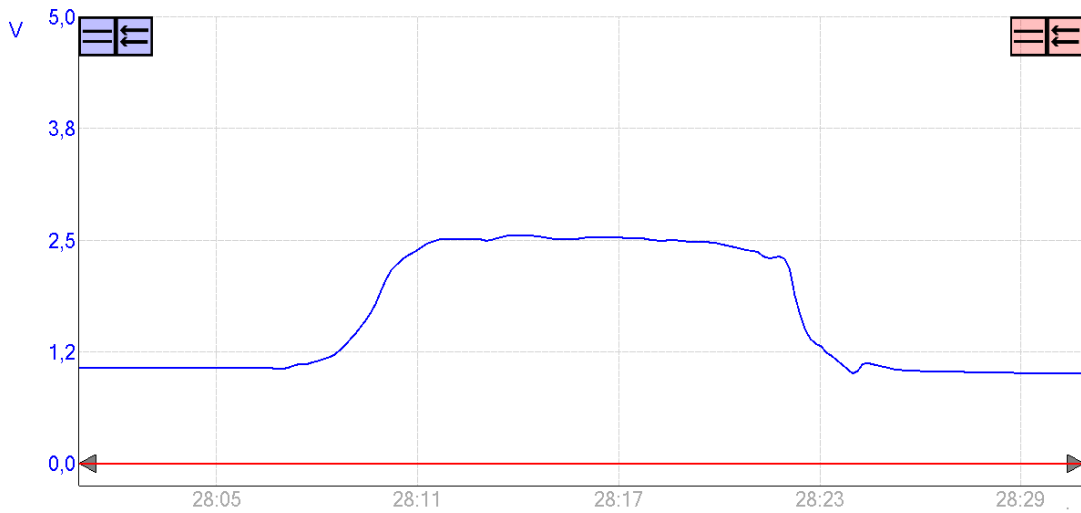
Kaavio 1: Ahtimen ohjausalipaine ja ahtopaine toimivassa järjestelmässä



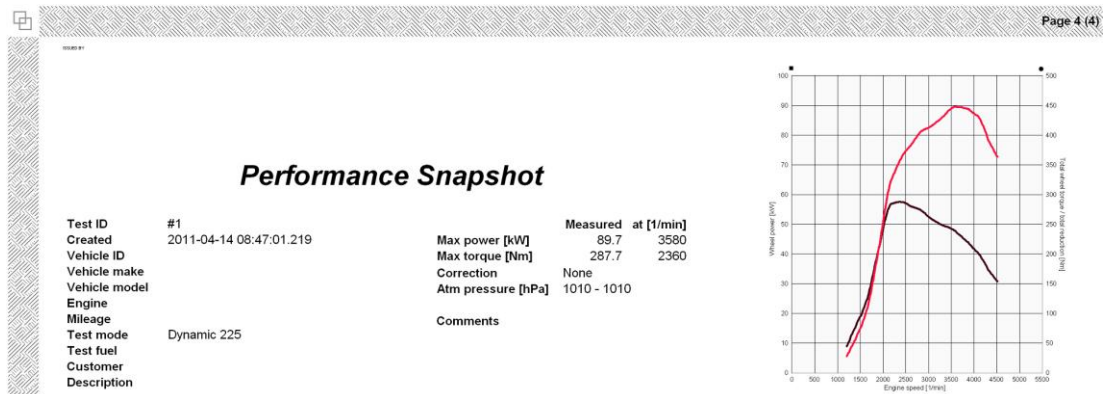
Kaavio 2: Ahtimen ohjausalipaine (vihr.), ahtopaine (pun.) sekä pakoputken vastapaine ennen (orans.) ja jälkeen (sin.) hiukkassuodatinta



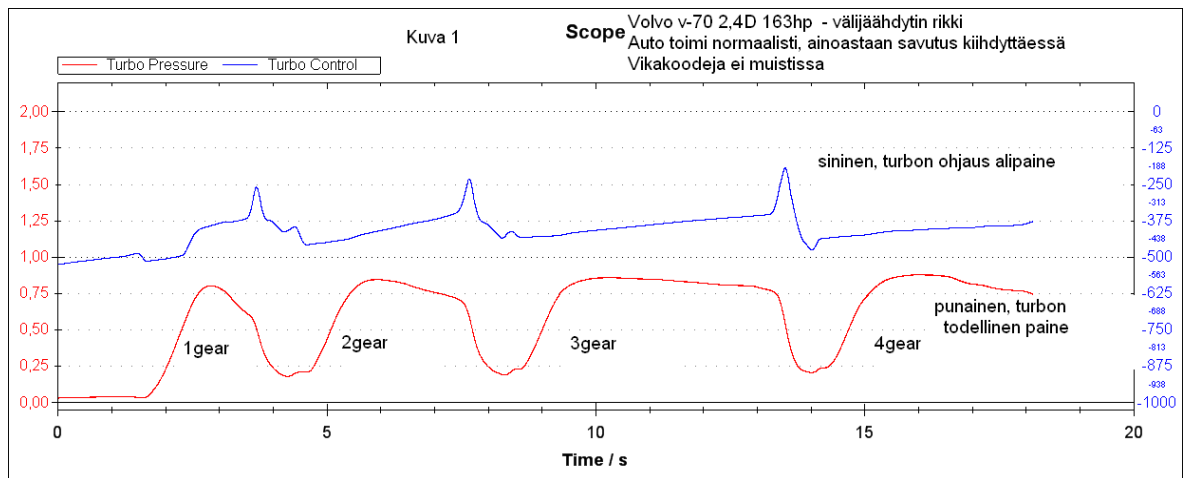
Kaavio 3: Ahtimen ohjausalipaine, ahtopaine ja järjestelmän alipaine ryntäyksessä



Kaavio 4: Ahtopaineanturin signaalijännite



Kaavio 5: Avensiksen tehodynamometrimittauksen tulos



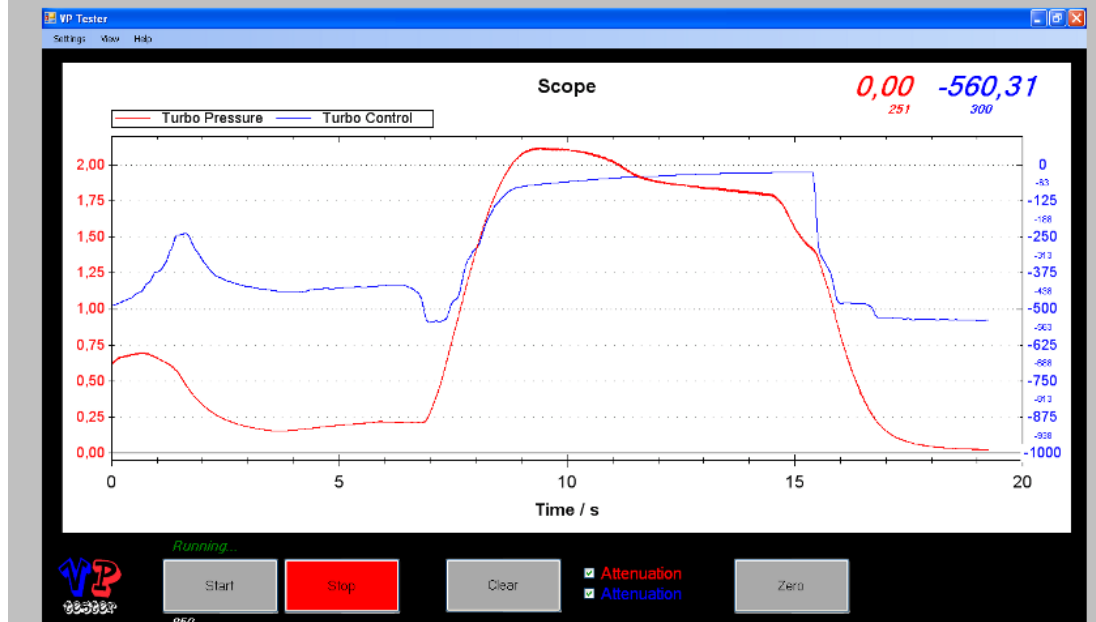
Kaavio 1: Välijäähdyttimen vuoto

### VW Touran 2.0 Tdi AZV 100kw 2004

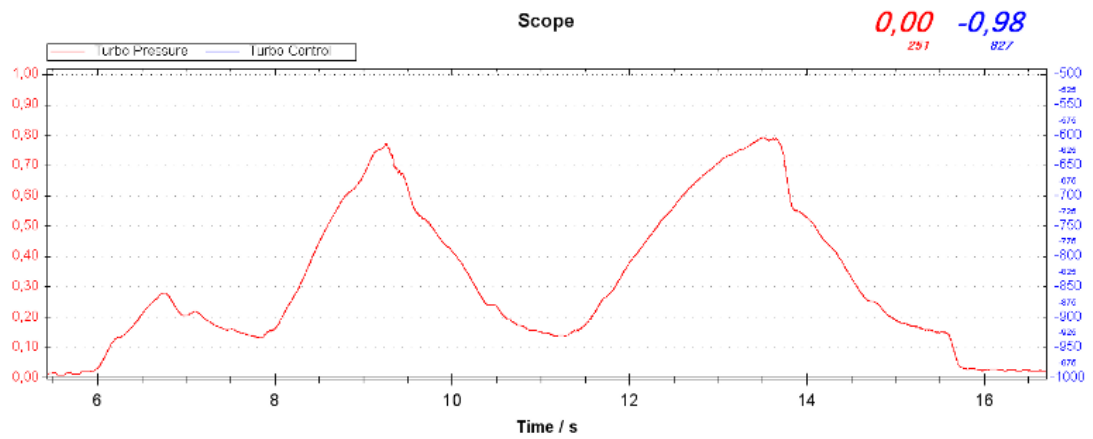
Autoa nopeasti kiihdyttäessä moottorin ohjaus vaihtoi varaohjelmalle. Vikakoodiksi ilmoitti 16618, ahtopaineen säätö ylitetty. Edellisessä korjaamossa oli vaihdettu 3 paineenmuunninta (tässä mallissa integroitu samaan koteloon). Paineenmuunninten vaihdolla ei muutosta vikaan. Vian syyksi löytyivät jumiutuvat turbon säätösiivekkeet. Siivekkeet jumiutuvat melkein maksimiasennossa, jonka takia ahtopaine nousi yli 2 bar.

Kuvasta näet selvästi kuinka moottorinohjaus pienentää ohjausalipainetta lähelle 0bar (sininen kanava) yrittäen säätää ahdinpainetta alemmaksi.

#### Jumiutuvat ahdinsiivekkeet



Kaavio 2: Ahtimen säätösiivekkeiden jumiutuminen



Kaavio 3: Tukkeutunut hiukkassuodatin, pakoputken vastapaine mitattu ennen hiukkassuodatinta (Volvo v-70 2.4D)