

Jussi Ylitalo

## **Sylinterikannen viritys**

Virtauksen parantaminen, nokka-akseli ja puristussuhde

Opinnäytetyö

Kevät 2011

Tekniikan yksikkö

Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma

Auto- ja työkonetekniikan suuntautumisvaihtoehto



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Auto- ja kuljetustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Auto- ja työkonetekniikka

Tekijä: Jussi Ylitalo

Työn nimi: Sylinterikannen viritys

Ohjaaja: Ari Saunamäki

Vuosi: 2011

Sivumäärä: 46

Liitteiden lukumäärä: 8

---

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus perehtyä nelitahtimoottorin sylinterikannen viritykseen. Tärkeimpinä tutkimuskohteina työssä ovat sylinterikannen ilmavirtauksen parantaminen, moottorin puristussuhteen nostaminen ja nokka-akselin valinta.

Työssä esitetyt muutokset suoritettiin käytännössä opinnäytetyötä varten hankittuun sylinterikanteen. Muutokset sylinterikannen virtausominaisuuksissa todettiin virtauspenkissä suoritetuissa mittauksissa. Muokattu sylinterikansi asennettiin koeajoneuvoon ja vaikutukset moottoritehoon ja vääntöön todettiin vielä alustadynamometrissä suoritetuissa mittauksissa.

Sylinterikannen virtausominaisuuksien parantamisen, puristussuhteen nostamisen ja nokka-akselin vaihdon todettiin parantavan moottorin käyttöaluetta. Moottorin huipputeho kasvoi huomattavasti ja vääntöalue muuttui laajemmaksi alustadynamometrissä suoritetuissa mittauksissa. Maantiellä suoritettavat mittaukset osoittivat myös polttoaineen kulutuksen vähentyneen.

Avainsanat: sylinterikansi, ilmanvirtaus, virtauspenkki, puristussuhde, nokka-akseli.

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Automotive and Transportation Engineering

Specialisation: Automotive and Work Machine Engineering

Author: Jussi Ylitalo

Title of thesis: Cylinder head tuning

Supervisor: Ari Saunamäki

Year: 2011

Number of pages: 46

Number of appendices: 8

---

The purpose of this thesis is to familiarize the readers with the tuning of the four stroke engine cylinder head. The main research subjects are to improve the cylinder head air flow, to raise the engine compression ratio and to choose the correct camshaft.

In practice the changes proposed in the thesis were carried out to a specially purchased cylinder head. The changes of the cylinder head air flows were revealed in the flow bench. The modified cylinder head was installed to the vehicle and the changes of the engine power and torque were revealed by the dynamometer measurements.

The cylinder head air flow improvement, compression ratio raising and the camshaft changing were noticed to improve the engine operating range. The peak power of the engine increased noticeably and the torque of the engine changed during the dynamometer measurements carried out. The measurements indicated that the highway fuel consumption was also reduced.

Keywords: cylinder head, air flow, flow bench, compression ratio, camshaft.

# SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	8
<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>9</b>
1.1 Kannen virtauksen parantaminen.....	9
1.2 Työn tausta .....	9
1.3 Työn tarkoitus ja tavoitteet .....	10
1.4 Työssä käytettävät menetelmät.....	10
<b>2 SYLINTERIKANNEN ILMAVIRTAUKSET .....</b>	<b>11</b>
2.1 Imukanava .....	11
2.2 Pakokanava .....	12
2.3 Imuventtiili .....	13
2.4 Pakoventtiili.....	13
2.5 Venttiilin-istukat.....	14
2.6 Palotilat .....	15
2.7 Venttiilin virtauspinta-ala .....	16
<b>3 VIRTAUSMITTAUKSET.....</b>	<b>19</b>
3.1 Virtauspenkin toimintaperiaate.....	19
3.2 SuperFlow SF-110/120 .....	19
<b>4 KANNEN MUUTOSTYÖT .....</b>	<b>21</b>
4.1 Kohdeajoneuvo .....	21
4.2 Kanavien muotoilu.....	22
4.2.1 Vakio imukanavan virtaus .....	22
4.2.2 Silotettu imukanava.....	23
4.2.3 Kanavan muodon muuttaminen .....	24
4.2.4 Pakokanavan muotoilu.....	26
4.3 Palotilan muotoilu.....	27
4.4 Venttiilin muotoilu .....	28

5	PURISTUSSUHTEEN MUUTTAMINEN.....	30
5.1	Puristussuhteen nostaminen.....	30
5.2	Puristussuhteen tekijöiden mittaaminen.....	31
5.3	Uuden puristussuhteen laskenta.....	33
6	NOKKA-AKSELI.....	35
6.1	Nokka-akselin toiminta.....	35
6.2	Nokka-akselin nosto ja venttiilien aukiolo.....	36
6.3	Nokka-akselin valinta.....	36
6.4	Säädettävä nokka-akselin hihnapyörä.....	37
7	MITTAUSTULOKSET.....	39
7.1	Imukanavan ja palotilan muotoilun vaikutus.....	39
7.2	Imuventtiin 30° lisäviiste.....	40
7.3	Imusarjan vaikutus virtaukseen.....	40
7.4	Pakokanavan virtauksen muutos.....	41
7.5	Moottorin tehon ja vääntömomentin lisääntyminen.....	42
8	YHTEENVETO.....	44
	LÄHTEET.....	45
	LIITTEET.....	46

## Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Opelin C20NE-kansi kiinnitettynä Seinäjoen ammattikorkeakoulun virtauspenkkiin. ....	20
Kuvio 2. Opinnäytetyössä käytetty koeajoneuvo.....	21
Kuvio 3. Vakio imukanava imusarjan puolelta katsottuna. ....	23
Kuvio 4. Venttiilinohjaimen kumpu. ....	23
Kuvio 5. Hiekkapuhaltamalla viimeistely imukanava. ....	25
Kuvio 6. Venttiilitaskun muotoilu. ....	26
Kuvio 7. Muotoiltu ja viimeistely pakokanava. ....	27
Kuvio 8. Kuvassa vasemmalla muotoiltu palotila. ....	28
Kuvio 9. Imuventtiilin lisäviiste. (Bell 2007.) ....	29
Kuvio 10. Sylinterikannen palotilan tilavuuden mittaus. ....	32
Kuvio 11. Omavalmisteinen säädettävä nokka-akselin hihnapyörä. ....	38
Taulukko 1. Palotilojen tilavuudet sylinterissä. ....	33
Taulukko 2. Nokka-akseleiden arvot (More lift on camshaft 2011).....	37
Taulukko 3. Imukanavan virtauksen muutos. (Liite 1, Liite 5) ....	39

Taulukko 4. Imuventtiilin 30° lisäviisteen vaikutus virtaukseen. (Liite 3, Liite 4) ....	40
Taulukko 5. Imusarjan vaikutus sylinterikannen virtaukseen. (Liite 3, Liite 6) .....	41
Taulukko 6. Pakokanavan virtauksen muutos. (Liite 1, Liite 5) .....	42
Taulukko 7. Moottorin ominaisuuksien muuttuminen. ....	43

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>JAKK</b>	Jälkeen männän alakuolokohdan.
<b>JYKK</b>	Jälkeen männän yläkuolokohdan.
<b>EAKK</b>	Ennen männän alakuolokohtaa.
<b>EYKK</b>	Ennen männän yläkuolokohtaa.
<b>Overlap</b>	Imu- ja pakoventtiin yhtäaikainen aukiolo.



# 1 JOHDANTO

## 1.1 Kannen virtauksen parantaminen

Nelitahtimoottorissa imuilman virtausreitit tulee olla mahdollisimman vähän virtausta vastustava. Varsinkin vapaasti hengittävässä moottorissa on tärkeää täydellisen sylinteritäytöksen aikaansaamiseksi saada imettyä moottoriin mahdollisimman paljon suuritiheyksistä ilmaa. Ilman kulkemista vapaasti sylinteriin vastustaa elektronisella polttoaineensuihkutuksella varustetussa nelitahtimoottorissa usea eri tekijä. Näiden häiritsevien vaikutusta ei pystytä moottorissa kumoamaan millään muulla tavalla kuin muokkaamalla kyseinen osa mahdollisimman hyvin ilmavirtausta läpäiseväksi.

Sylinterikannen ilmanvirtauksen määrittämiseen tarvitaan virtauspenkki. Virtauspenkillä voidaan mitata sylinterikannen imu- ja pakupuolen eri osien virtauskapasiteetti. Virtauspenkillä ei voida suoraan määrittää moottorista saatavaa tehoa, mutta se on erittäin hyvä apuväline todettaessa suoritettuja muutoksia sylinterikannen virtausvastuksia parannettaessa.

## 1.2 Työn tausta

Opinnäytetyössä tullaan tutkimaan sylinterikannen virtauksia, moottorin puristussuhteen muuttamista ja nokka-akselin valintaa. Tutkimuksia varten on hankittu Opel C20NE-moottorin kansi, johon muutokset tullaan toteuttamaan käytännössä. Tarvittavat mittaukset suoritetaan Seinäjoen ammattikorkeakoulun autolaboratoriosta löytyvällä SuperFlow SF-110/120-virtauspenkillä ja lopuksi muutosten vaikutus moottoritehoon ja vääntömomenttiin todetaan alustadynamometrissä.

### **1.3 Työn tarkoitus ja tavoitteet**

Opinnäytetyössä tullaan perehtymään ilmavirtauksen kulkuun nelitahtimoottorissa aina imusarjalta pakosarjaan asti. Työn päätavoitteena on suorittaa tutkimuskohteena olevaan sylinterikanteen ja muihin ilmavirtaukseen vaikuttaviin osiin muutoksia, joiden vaikutus voidaan todeta virtauspenkissä mittauksien avulla.

Työssä käsitellään myös moottorin puristussuhteen nostamista ja uuden puristussuhteen määrittämistä. Muutoksien tarkoituksena olisi saada moottori toimimaan mahdollisimman hyvällä hyötysuhteella.

Työssä tullaan myös perehtymään SuperFlow SF-110/120-virtauspenkkiin ja FlowComin digitaaliseen mittalaitteeseen. Tarkoituksena olisi esitellä hieman virtauspenkin toimintaperiaatetta ja käyttöä.

### **1.4 Työssä käytettävät menetelmät**

Opinnäytetyön suorittamiseksi tullaan perehtymään nelitahtimoottorin ja varsinkin sylinterikannen toimintaan. Sylinterikannen muutostöitä varten selvitetään alan kirjallisuuden ja internetistä löytyvien harrastajasivustojen avulla, mitä muutoksia kannattaa suorittaa. Muutostöiden vaikutus tullaan tutkimaan useilla testimittauksilla virtauspenkissä sekä alustadynamometrissä.

## 2 SYLINTERIKANNEN ILMAVIRTAUKSET

### 2.1 Imukanava

Nelitahtimoottorin mahdollisimman tehokkaan ja polttoainetaloudellisen toiminnan kannalta on tärkeää, että imuilman virtaus on sylinterikannen imukanavissa mahdollisimman suuri. Nopealla ilmavirtauksella polttoaine saadaan sekoittumaan tehokkaasti ilmamassaan ja näin myös palaminen on tehokkaampaa. Hidas ilmavirtaus imukanavassa saa aikaan polttoaineen pisaroitumisen ja heikomman palamisen sylinterissä. Polttoaineen pisaroituminen kasvattaa polttoaineen kulutusta, alentaa moottoritehoa, kasvattaa pakokaasupäästöjä ja huuhtoo voiteluöljyä sylinterin seinämillä. (Bell 2007, 3, 4.)

Lähdettäessä parantamaan sylinterikannen imukanavia kanavan koon suurentamista tulisi välttää, sillä se alentaa ilman virtausnopeutta. Imukanavat ovat nykyautojen moottoreissa jo valmiiksi riittävän suuret, joten kanavien kevyt muotoilu pyöreämmiksi sekä kumpujen ja terävien reunojen tasoittelu yleensä riittää. Kanavien liiallinen tasoittelu ja kiillottaminen edesauttavat myös polttoaineen pisaroitumista. Pieni karheus kanavan pinnalla aiheuttaa sopivasti ilman pyörteilyä, jolloin myös polttoaineseos sekoittuu ilmaan paremmin. Suurimman virtausvastuksen isoilla nostoilla aiheuttaa venttiiliniestukan ja venttiilinohjaimen väliin jäävä tila, jota kutsutaan venttiilitaskuksi. Imukanavan muutostöitä suorittamaan lähdettäessä kannattaa perehtyä juuri tämän venttiilitaskun muotoiluun. Hyvin virtaava imukanava on muodoltaan suora ja jouhevan muotoinen. Joissakin työntötankomoottoreissa imukanavan alaosassa on kuhmu, joka aikaansaa erittäin suuren virtauseron kanavan ylä- ja alaosan välille. Suurin osa polttoaineseoksesta virtaa kanavan yläosaa pitkin sylinteriin. Tämän tyyppinen imukanava vaatii suuremman halkaisijan kuin jouhevasti muotoiltu kanava. (Bell 2007, 3, 5.)

Sylinterikannen imukanavan kokoon vaikuttaa moni eri tekijä, kuten iskutilavuus, käyntinopeusalue, venttiilikoko ja imukanavien muoto. Katu- ja ralliauton moottoreista puhuttaessa sopiva imukanavan koko on noin 0,81 - 0,83 kertaa

imuventtiilin venttiililautasen halkaisija olettaen, että kanavan muoto on leikkaukseltaan pyöreä. Suorakaiteen ja ovaalin muotoisissa kanavissa sopiva imukanavan poikkipinta-ala on noin 0,67 kertaa venttiililautasen halkaisija. Edellä mainitut mitat koskevat ainoastaan kaksiventtiilirakenteisia sylinterikansia, joissa on yksi imu- ja pakoventtiili sylinteriä kohden. Moniventtiilikansissa kanavat ovat yleensä riittävän suuret jo vakiona. Kanavien koko on kuitenkin hyvä tarkistaa ja sopivana poikkileikkauksen läpimittana voidaan pitää 0,77 - 0,79 kertaa imuventtiilin venttiililautasen halkaisija. (Bell 2007, 3, 5.)

## 2.2 Pakokanava

Sylinterikannen pakokanavien muotoiluun pätevät samat ohjeet kuin imukanavien muotoiluunkin, eli kanavien muodon tulisi olla mahdollisimman jouhea. Katuautossa pakokanavan koolla ei ole juurikaan merkitystä. Sopivana kanavan halkaisijana voidaan pitää pakosarjan liitospinnasta mitattuna 0,95 - 1,00 kertaa venttiililautasen halkaisija olettaen, että kanava on muodoltaan pyöreä. Kulmikkaissa ja suorakaiteen muotoisissa kanavissa pakokanavan poikkipinta-alan tulisi olla 0,81 kertaa venttiililautasen pinta-ala. (Bell 2007, 3, 10.)

Pakokanavaa muokattaessa isommaksi ainetta kannattaa lähteä poistamaan kanavan yläosasta, missä virtaus on suurimmillaan. Kanavan alaosa ei kannata ryhtyä muotoilemaan, koska toimenpiteellä voidaan aikaansaada haitallista turbulenssia pakokaasun virtaukseen. Muotoilussa kannattaa muutenkin käyttää varovaisuutta, sillä lämmönjohtamisen takia pakokanavan seinät ovat yleensä ohuet. Pakokanavan muotoiluun riittää useasti kevyt muotoilu ja ylimääräisten kuhmujen, kuten venttiilinohjainkummun, silottelu. (Bell 2007, 3, 10.)

Testattaessa sylinterikannen pakokanavia kanavien virtaus ilmoitetaan yleensä prosentteina imukanavien virtauksesta. Tarkastellessa tätä prosenttilukua voidaan todeta, tarvitaanko pakokanaviin muutoksia vai riittävätkö kanavat sellaisenaan sylinterikannen riittävän hengityksen aikaansaamiseksi. Katuauton sylinterikannessa sopiva pakokanavien virtaus on 65 - 70 prosenttia imukanavien

virtauksesta ja kilpa-autoissa hieman enemmän, noin 72 - 75 prosenttia. (Bell 2007, 3, 12.)

### **2.3 Imuventtiili**

Suurimman virtausvastuksen isoilla venttiilinnostoilla muodostaa imuventtiili. Uusien autojen moottoreissa käytetäänkin nykyään kahta tai jopa kolmea imuventtiiliä sylinteriä kohden, jotta virtauspinta-ala olisi mahdollisimman suuri. Imuventtiilin virtauspinta-ala saadaan laskettua, kun kerrotaan venttiililautasen ympärystä venttiilinnousun suuruudella. Katuauton virityksessä kannattaa suosia vakio imuventtiileitä halvan hinnan ja hyvän saatavuuden vuoksi. (Bell 2007, 3, 7 - 9.)

Imuventtiilin riittävän suuri koko ja pieni muotoilu on tärkeää virtausvastushäviöiden minimoimiseksi. Vakio imuventtiilin virtausta saadaan parannettu huomattavasti etenkin pienillä nostoilla tekemällä venttiililautaseen tiivistyspinnan yläpuolelle 30 asteen viiste. Tämän lisäviisteen on todettu joissakin moottoreissa parantavan ilmanvirtausta jopa 12 prosenttia keskiuurilla venttiilinnousuilla. Venttiililautasen alaosassa tulee olla suora 90 asteen kulma, joka estää vastavirtaukset pitkiä venttiilien aukioloaikoja käytettäessä. (Bell 2007, 3, 10.)

Venttiilivarren ohentamisella voidaan myös saavuttaa huomattavasti parempi virtaus pienillä venttiilinnousuilla. Ohennuksessa on tärkeää pysyä kohtuudessa, jotta venttiili ei heikkenisi liikaa. Sopiva ohennus onkin maksimissaan yksi millimetri halkaisijasta ja sen tulisi yhtyä jouhevasti venttiilivarren paksumpaan osaan murtumien välttämiseksi. (Bell 2007, 3, 10.)

### **2.4 Pakoventtiili**

Pakokaasun virtausta voidaan hieman parantaa muotoilemalla pakoventtiiliä. Muotoilussa joudutaan yleensä kuitenkin tyytymään ainoastaan venttiililautasen

muotoon. Venttiilinvartta ei voida ohentaa vaikka se haittaisikin virtausta, koska venttiilinvarsi on suunniteltu kestävänsä tarkasti määritellyt rasitukset. Pakoventtiili joutuu kestävänsä kuumia pakokaasuja, jotka aiheuttavat lämpö- ja korroosiorasituksia. Vakio venttiileissä lautanen ja varsi ovat eri kappaleista valmistettuja, joten ohennettaessa venttiiliä saattaisivat kappaleet irrota toisistaan. Sopiva pakoventtiilin lautasen halkaisija on 0,78 - 0,82 kertaa imuventtiilin lautasen halkaisija olettaen, että kannessa on ammeen- tai kiilanmallinen palotila. (Bell 2007, 3, 12.)

Pakoventtiilin virtausta voidaan kuitenkin parantaa tekemällä venttiililautasen tiivistyspinnan yläpuolelle 30 asteen viiste, samanlainen kuten imuventtiiliinkin. Venttiililautasen alaosaan kannattaa tehdä noin 0,8 millin säteellä oleva pyöritys, joka auttaa pakokaasun ulosvirtausta venttiilin ohitse. Pakoventtiilin lautasen tiivistyspintaa ei kannata ohentaa tarpeettoman ohueksi, koska sen tehtävänä on tiivistämisen lisäksi siirtää syntynyttä lämpöä venttiilistä sylinterikanteen. (Bell 2007, 3, 11.)

## 2.5 Venttiilin-istukat

Imu- ja pakoventtiilit tarvitsevat vastinpinnoikseen venttiilin-istukat. Istukkapintojen tehtävänä on toimia tiivistepintana venttiilille, siirtää lämpöä venttiilistä sylinterikanteen sekä mahdollistaa hyvät ilmanvirtausominaisuudet. Venttiileihin syntyvä lämpö siirtyy pääasiassa istukkapintojen kautta sylinterikanteen, joten ne ovat tärkeässä asemassa moottorin kestävyuden kannalta. Nelitahtimoottoreissa käytettävät istukat ovat yleensä monikulmaisia tai pyöreitä eli niin sanottuja venturi-istukoita. (Bell 2007, 3, 14.)

Varsinainen tiivistyspinta on yleensä 45 astetta, niin istukassa kuin venttiilissäkin. Sopiva tiivistyspinnan leveys imupuolella on katukäytössä noin 1,3 - 1,5 millimetriä ja venttiilin istukan tulee olla halkaisijaltaan 0,38 - 0,5 millimetriä pienempi kuin venttiililautasen halkaisija. Pakopuolella käytetään 1,8 - 2,0 millimetriä leveämpää istukkapintaa lämmön siirtymisen tehostamiseksi ja venttiili-istukan sopiva halkaisija on 0,13 - 0,25 millimetriä pakoventtiilin halkaisijaa pienempi. Kapeat

istukkapinnat saattavat jopa heikentää virtausta pienillä nostoilla ja kuluvat leveitä istukoita huomattavasti nopeammin. Kuluminen aiheuttaa venttiilien tiiveysongelmia, jotka johtavat varsinkin pakopuolella venttiilin palamiseen. Venttiilin-istukan palotilan puoleisessa reunassa tulee olla 30 asteen viiste niin imu- kuin pakopuolellakin. Viisteen tulee olla mahdollisimman kapea ja sen tehtävänä on sulattaa istukkapinta jouhevasti sylinterikanteen. Kanavan puolelle istukkapintaan valitaan usein 60 asteen viiste, mutta parhaan virtauksen saavuttamiseksi oikea kulma tulisi etsiä virtauspenkissä. (Bell 2007, 3, 14.)

## 2.6 Palotilat

Sylinterikannen palotilan tulee olla muodoltaan sellainen, että se ei estä tehokasta ilman ja pakokaasun virtausta kanavien ja sylintereiden välillä. Vanhemmissa moottoreissa käytettiin niin sanottuja amme- ja kiilapalotiloja, jotka sallivat tehokkaan virtauksen ainoastaan 40 prosentin alueella virtauspinta-alasta. Nykyaikaisissa moottoreissa palotilojen muotoilua on muutettu parempaan suuntaan johtuen venttiilien lukumäärän lisääntymisestä. Valmistajat ovatkin siirtyneet käyttämään puolipallo ja harjakattopalotiloja, joissa venttiilit on yleensä asennettu vinoon. Palotiloja muokattaessa tulee pitää mielessä puristussuhteen laskeminen ainetta poistettaessa. (Bell 2007, 3, 13.)

Venttiilien sijaitessa yhdessä samassa rivissä, voi palotilan muoto rajoittaa imuilman ja pakokaasun virtausta varsinkin suurennettaessa venttiileitä. Tässä tapauksessa voidaan palotilasta poistaa ainetta venttiilien ympäriltä. Hyväksi todettu etäisyys venttiililautasesta palotilan seinään on 0,9 kertaa venttiilinnousun suuruinen suuremman virtauksen puolella ja 0,65 kertaa venttiilinnousu pienemmän virtauksen puolella. Pakokaasun virtausominaisuuksien takia pakoventtiilin puolella ei tarvita aivan näin isoja etäisyyksiä, joten siellä vastaavat kertoimet ovat 0,7 ja 0,55 kertaa venttiilinnousu. (Bell 2007, 3, 13 - 14.)

## 2.7 Venttiilin virtauspinta-ala

Venttiilin vapaa virtauspinta-ala on venttiilin istukan ja täysin avautuneen venttiilin väliin jäävä kartiomainen pinta-ala. Vertailulaskelmien tekemiseksi on virtauspinta-alle laskettava riittävän tarkka laskennallinen näennäisarvo. Venttiilin vapaa virtauspinta-ala riippuu venttiilin istukkakulmasta, halkaisijasta sekä noususta. (Mauno 2002, 31.)

Vapaan virtauspinta-alan suuruus on likimäärin:

$$A = \pi \times d \times h \times \sin \alpha \quad (1)$$

jossa	A	on	virtauspinta-ala (mm <sup>2</sup> )
	$\pi$	on	3,1416
	d	on	istukan sisähalkaisija (mm)
	h	on	venttiilinnousu (mm)
	$\alpha$	on	istukkakulma (°)

Sijoittamalla kaavaan (1) esimerkiksi Opelin C20NE-moottorin sylinterikannen venttiilin-istukan sisähalkaisija 38 mm, vakio nokka-akselin venttiilinnousun 11 mm ja istukkakulma 45° saadaan sylinterikannen imuventtiilin vapaaksi virtauspinta-alaksi 928,6 mm<sup>2</sup>.

Venttiilin vapaan virtauspinta-alan laskemisen jälkeen voidaan laskea suuntaa antava vertailuarvo kaasun virtausnopeudelle venttiilin lautasen kohdalla. Oikea kaasun virtausnopeus riippuu useista eri tekijöistä. Karkeina likiarvoina kaasun virtausnopeudelle imuventtiilin kohdalla voidaan pitää nopeutta 55 - 85 m/s ja pakoventtiilin kohdalla 70 - 110 m/s. (Mauno 2002, 33.)



Vertailuarvo kaasun virtausnopeudelle lasketaan kaavasta:

$$v = \frac{c \times M}{A} \quad (2)$$

jossa	v	on	virtausnopeus (m/s)
	c	on	männän keskinopeus (m/s)
	M	on	sylinterin poikkipinta-ala (mm <sup>2</sup> )
	A	on	venttiilin virtauspinta-ala (mm <sup>2</sup> )

Kaavan (2) ratkaisemiseksi on ensin selvitettävä männän keskinopeus maksimitehon kierrosluvulla.

Männän keskinopeus lasketaan kaavasta:

$$c = 2 \times n \times S \quad (3)$$

jossa	n	on	maksimitehon käyntinopeus (r/s)
	S	on	iskunpituus (m)

Männän keskinopeudeksi maksimitehon kierrosluvulla saadaan 15,48 m/s, kun kaavaan (3) sijoitetaan maksimitehon käyntinopeudeksi 90 r/s ja sylinterin iskunpituudeksi 86 mm.

Seuraavaksi on ratkaistava sylinterin pinta-ala kaavasta:

$$M = \frac{\pi \times D^2}{4} \quad (4)$$

jossa	$\pi$	on	3,1416
	D	on	sylinterin halkaisija (mm)

Sijoittamalla kaavaan (4) sylinterin halkaisija 86 mm, saadaan kaavasta ratkaistua sylinterin pinta-alaksi 5808,8 mm<sup>2</sup>.

Tarvittavien laskelmien jälkeen kaasun virtausnopeus saadaan ratkaistua kaavasta (2). Sijoittamalla kaavaan männän maksiminopeus 15,48 m/s maksimitehon kierrosluvulla, sylinterin pinta-ala 5808,8 mm<sup>2</sup> ja venttiilin vapaa virtauspinta-ala 928,6 mm<sup>2</sup>, saadaan kaasun virtausnopeudeksi imuventtiilin kohdalla 96,8 m/s.

Mauno (2002, 33) määrittelee kirjassaan sopivaksi kaasun virtausnopeudeksi imuventtiilin kohdalla 55 - 85 m/s. Tarkastellessa Opel C20NE-sylinterikannen kaasun virtausnopeutta imuventtiilillä, voidaan huomata nopeuden kasvavan liian suureksi parasta mahdollista hengitystä silmällä pitäen. Suurentamalla venttiilin istukan sisähalkaisija 40 millimetriin ja lisäämällä venttiilinnosto 12 millimetriin, saadaan kaasun virtausnopeudeksi imuventtiilillä 84 m/s, joka olisi virtaushäviöiden kannalta sopiva arvo.

Virtaushäviöiden kasvaminen kaasun virtausnopeuden suurentuessa riippuu kannen virtausominaisuuksista. Myös istukkakulman suureneminen lisää vapaan virtauspinta-alan määrää. Kaasun virtausominaisuudet kuitenkin heikkenevät kaasun joutuessa kulkemaan jyrkemmän mutkan läpi. (Mauno 2002, 35.)

## 3 VIRTAUSMITTAUKSET

### 3.1 Virtauspenkin toimintaperiaate

Sylinterikannen virtausmittauksessa virtauspenkin toiminnalla jäljitellään samaa tilannetta, kuin kannen ollessa moottorissa kiinni. Imukanavien virtausta mitattaessa virtauspenkin tehokkaan puhaltimen avulla imetään ilmaa imukanavan läpi, kun taas pakokanavien mittaustilanteessa asetetaan puhallin puhaltamaan ilmavirtaa sylinteristä kanavaan päin. (SuperFlow SF-110/120-virtauspenkin käyttöohje, 5.)

Sylinterikansi asennetaan virtauspenkkiin alkuperäisen sylinterin kokoa jäljittelevän sovitusslevyn avulla. Venttiilin noston säätöä varten rakennetaan yleensä työkalu, jolla venttiili saadaan avautumaan tarkasti halutun verran. (SuperFlow SF-110/120-virtauspenkin käyttöohje, 7.)

Mittaustulokset muodostuvat laitteiston kammiossa vallitsevasta ilmanpaine-erosta. Kannen virtauspenkissä on kaksi vesipatsasta mittaavaa mittalasia. Mittalasiat ilmoittavat käytössä olevan testauspaineen ja virtausmäärän. Virtaus ilmoitetaan prosentteina valitun mittausalueen arvosta. (SuperFlow SF-110/120-virtauspenkin käyttöohje, 5.)

### 3.2 SuperFlow SF-110/120

SuperFlow on amerikkalaisen SuperFlow Corporation:in tuotemerkki. Yhtiö valmistaa virtauspenkkejä ja tehodynamometrejä Colorado Springs:in tehtaalla. SuperFlow on maailman johtava virtauspenkkien valmistaja. (Pihlaja-Kuhna 2005, 24.)

Seinäjoen Ammattikorkeakoulun autolaboratoriosta löytyvä SuperFlow SF-110/120 on malliston toiseksi pienin malli (Kuvio 1). Se on suunniteltu maksimissaan 87 l/s ilmaa tarvitseviin mittauksiin, ja riittää enimmillään 100 hv / sylinteri tehoille.

Virtauspenkki on kaksisuuntaisesti toimiva, joten sillä voidaan testata imu- sekä pakokanavat. (Pihlaja-Kuhna 2005, 24.)

Tässä työssä mittauksissa käytettyyn virtauspenkkiin on liitetty lisävarusteena saatava FlowCom digitaalinen ohjaus- ja mittayksikkö. Laitteella voidaan ohjata virtauspenkin toimintaa testitilanteessa. FlowCom näyttää tarkat mittaustulokset suoraan digitaalisessa muodossa sekä laskee tarvittavat korjaukset mittauservoihin. (SuperFlow SF-110/120-virtauspenkin käyttöohje, 5.)



Kuvio 1. Opelin C20NE-kansi kiinnitettyä Seinäjoen ammattikorkeakoulun virtauspenkkiin.

## 4 KANNEN MUUTOSTYÖT

### 4.1 Kohdejoneuvo

Opinnäytetyön kokeissa käytettiin Opelin C20NE-moottorin sylinterikannta. Moottorityyppi on ollut käytössä Opel Vectran A-mallisarjassa vuosina 1988 - 1995 (Kuvio 2). Moottori on kahdeksanventtiilinen ja varustettu yhdellä kannen yläpuolisella nokka-akselilla. Sylinterin halkaisija on 86 mm ja sylinterin iskunpituus 86 mm. Iskutilavuutta moottorilla on 1998 cm<sup>3</sup>. Moottorin alkuperäinen puristussuhde on 9,2:1 ja se on varustettu katalysaattorilla. Tehoa moottori luovuttaa vakiona 85 kW (115 hv) vääntömomentin ollessa 170 Nm.



Kuvio 2. Opinnäytetyössä käytetty koeajoneuvo.

## **4.2 Kanavien muotoilu**

Kanavien muutostyöt alkoivat perehtymisellä Opel C20NE-moottorin sylinterikannen kanavien muotoon. Kanavien todettiin olevan tehtaan jäljiltä melkoisen viimeistelemättömät. Kanavien reunoilla oli pahoja valujäämiä, jotka varmastikin vaikuttavat ilman esteettömään virtaukseen. Hyviä kuvia ja ohjeita kanavien muutoksiin löytyi Graham Bellin kirjoittamasta kirjasta Nelitahtimoottorin virittäminen.

### **4.2.1 Vakio imukanavan virtaus**

Imukanavia tutkittaessa huomattiin vakiokanavan olevan todella karkeasti viimeistely. Venttiilin-istukka aiheutti kanavan reunoille virtausta vastustavan pykälän, joka heikensi virtausta todella paljon. Kanavien seinissä valujäljet olivat todella näkyvillä aikaansaaden kanavalle epäjouhean muodon (Kuvio 3). Yhdessä imukanavassa oli tehtaan jäljiltä korkea porras, jonka tarkoituksena on ollut varmistaa imukanavalle riittävä materiaalivahvuus myös kanteen työstetyn reiän kohdalla. Virtauspenkissä suoritettujen virtausmittausten jälkeen kävi selväksi, että kyseinen porras aiheuttaa todella suuret virtaushäviöt kanavaan (Liite 1). Venttiilinohjaimen kohdalla kanavassa oli todella suuri kumpu, jonka epäiltiin vastustavan virtausta omalta osaltaan (Kuvio 4).



Kuvio 3. Vakio imukanava imusarjan puolelta katsottuna.



Kuvio 4. Venttiilinohjaimen kumpu.

#### 4.2.2 Silotettu imukanava

Tarkoituksena oli lähteä varovasti tutkimaan, kuinka imukanavan virtausta saataisiin parannettua. Ensimmäisenä tutkimuskohteena päätettiin pyöristellä kanavan reunoilta pahimmat valujäljet pois, jolloin kanavan muodosta saatiin paljon jouhevampi. Venttiilin istukan sovitus myös kaipasi hieman pyöristämistä. Tehtaalla istukka on asennettu karkeasti koneistettuun pesäänsä, jolloin kanavaan syntyy millimetrin korkuinen porras. Tämä porras koneistettiin jysinterällä pois

kanavan seinälinjan tasalle. Useasti näkee sylinterikannen kanavia viimeisteltäessä, että kanavat kiillotetaan kiiltäväksi parempien virtausten toivossa. Tällaisesta viimeistelystä on kuitenkin enemmän haittaa kuin hyötyä, koska hieman karkeampi imukanavan pinta aiheuttaa sopivasti ilman pyörteilyä, jolloin myös polttoaineseos kerkeää sekoittua paremmin ilmamassaan. Kanavat viimeisteltiin kevyesti hiekkapuhaltamalla, jolloin kanavaan saatiin sopivan karkea pinta. Valujälkien silottelun vaikutus virtaukseen todettiin virtauspenkissä (Liite 2).

#### **4.2.3 Kanavan muodon muuttaminen**

Opel C20NE-moottorin vakio imukanava ei ole muodoltaan aivan ihanteellinen. Imuventtiili asettuu sylinterikannen palotilassa aivan seinään kiinni johtuen venttiilien lukumäärästä johtuneista ratkaisuista. Tästä johtuen kanavan muotoilua lähdeittäessä muuttamaan oli tärkeää miettiä ratkaisuja, jolla ilmavirtausta saataisiin kanavassa käännettyä kohti sylinterin palotilan keskustaa. Palotilassa on malliltaan ammeen muotoinen, vastaavasti taas männän keskiosassa sijaitseva palotila on muodoltaan pyöreä. Ilman olisi tärkeää ohjautua palotilassa sinne, missä palotapahtuma tapahtuu. Imukanavan muotoiluun löydettiin hyvät ohjeet Opel Club Finland harrastajasivustolta. (8V OHC Kannen avarrus[Viitattu 4.4.2011].) Kanavia päätettiin lähteä muokkaamaan näiden ohjeiden avulla samalla tutkien miten eri muutokset vaikuttavat virtaukseen.

Sylinterikannen imukanavien halkaisijaksi imusarjan laipan kohdalta määräytyi 0,84 kertaa venttiilin halkaisija. Kanavien halkaisijan kasvun määräsi imusarjan imuputkien halkaisija, joiden mukaan kannen imukanavat kohdistettiin. Kanavien halkaisijaa ei suurennettu yhtään enempää, kuin oli tarpeen. Tällä haluttiin varmistaa riittävä virtausnopeus myös pienemmillä venttiilinnousuilla.

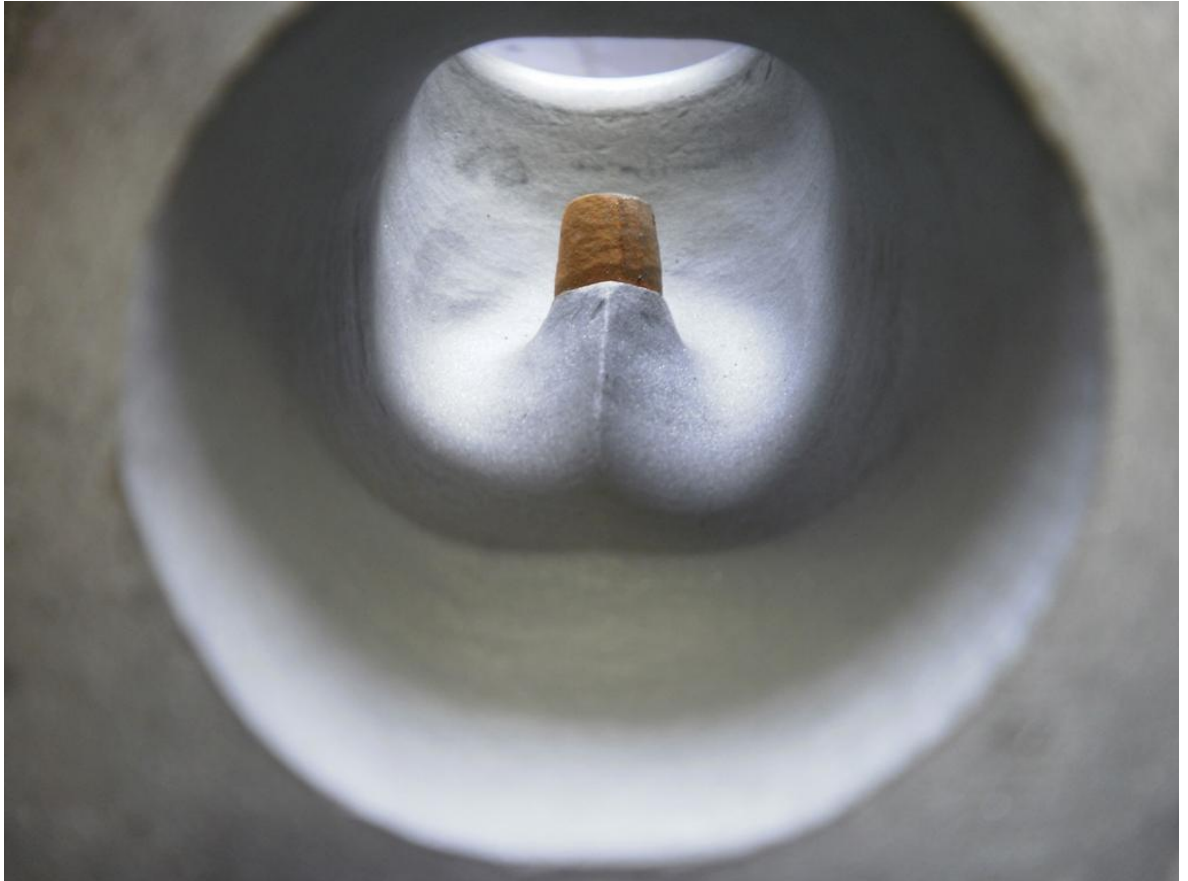
Venttiilinohjaimen kohdalla kanavassa oleva kookas kumpu aiheutti kanavaan haitallista pyörteilyä. Kumpu muotoiltiin reilusti terävän muotoiseksi, jotta ilman ohivirtaus venttiilinohjaimen ohi olisi mahdollisimman jouhevaa. Kummun muotoilu pyrittiin yhdistämään venttiilinohjaimen muotoiluun tarkasti. Venttiilinohjaimet lyhennettiin ja muotoiltiin kevyesti neulan mallisiksi.



Venttiilitasku osoittautui tässä imukanavassa tarkimmin työstettäväksi osaluueksi, koska juurikin tässä osassa kanavaa ilmavirtaus täytyy kääntää kohti palotilan keskustaa (Kuvio 6). Venttiilitaskun seinämää koverrettiin reilusti etenkin palotilan reunan puolelta, jotta ilmavirtaus kääntyisi kohden palotilan keskustaa. Vastakkaiselle puolelle seinää tehtiin pieni koverrus johtuen kanavan seinän materiaalin ohuudesta imu- ja pakokanavien välissä. Kanavien pinnat viimeisteltiin hiekkapuhaltamalla, jotta pinnoista tulisi sopivan karkeat (Kuvio 5).



Kuvio 5. Hiekkapuhaltamalla viimeistelty imukanava.

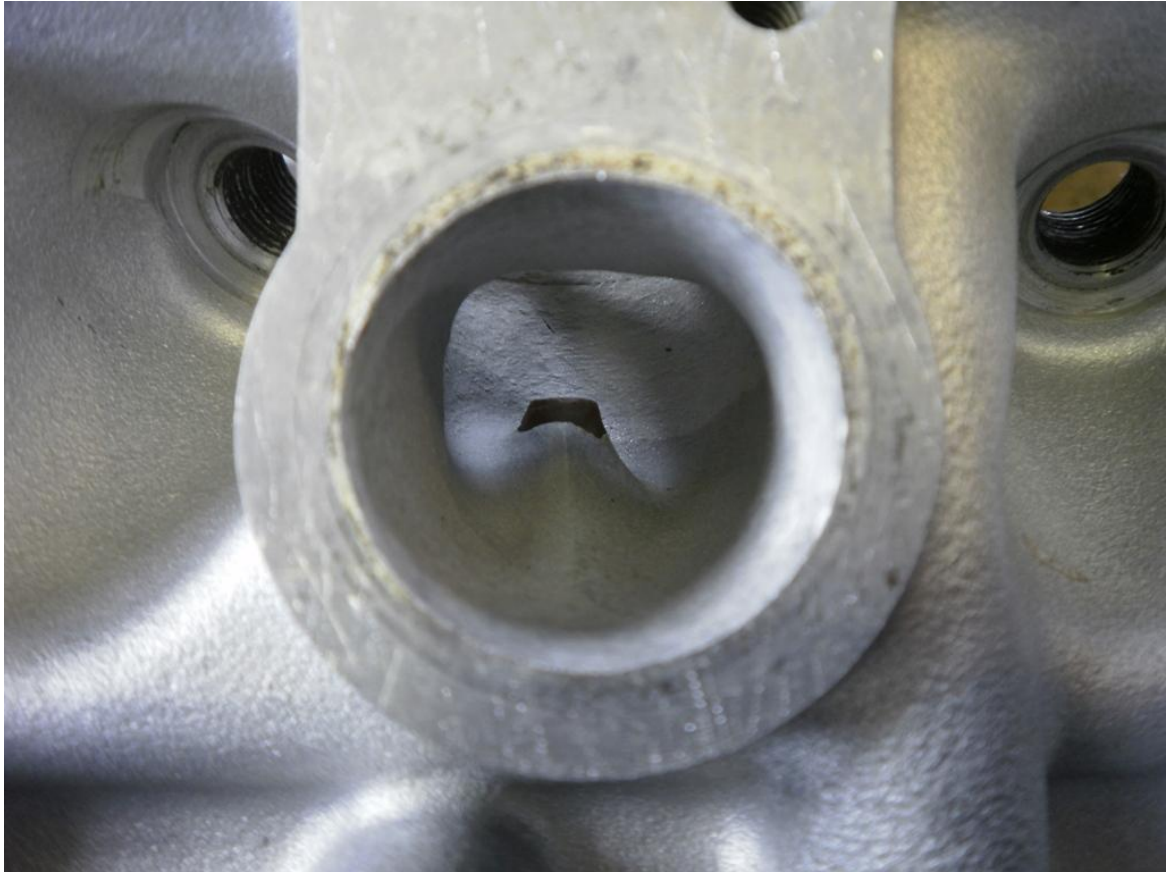


Kuvio 6. Venttiilitaskun muotoilu.

#### 4.2.4 Pakokanavan muotoilu

Sylinterikannen pakokanavien virtausta parannettaessa päätettiin pysyä pienissä muutoksissa. Pakokanavan virtauksen suhde imukanavan virtauksesta haluttiin pitää noin 70 prosentissa. Pakopuolen kanavia työstettäessä työskentely on tarkempaa kuin imupuolella, johtuen kanavien seinämien paksuudesta. Kanavien seinämät on tehty ohuemmiksi, jotta lämpö siirtyisi tehokkaammin kannesta jäähdytinnesteeseen.

Pakokanavien venttiilinohjaimet muotoiltiin kiilamaisiksi, aivan kuten imupuolellakin (Kuvio 7). Kanavien seinämiltä poistettiin valujäljet ja venttiilin-istukan reunat tasoitettiin jouhevasti kanavan pinnan tasalle. Pakosarja jätettiin kohdistamatta sylinterikannen kanaviin, jotta välttyttäisiin haitalliselta pakokaasun takaisin virtaukselta.



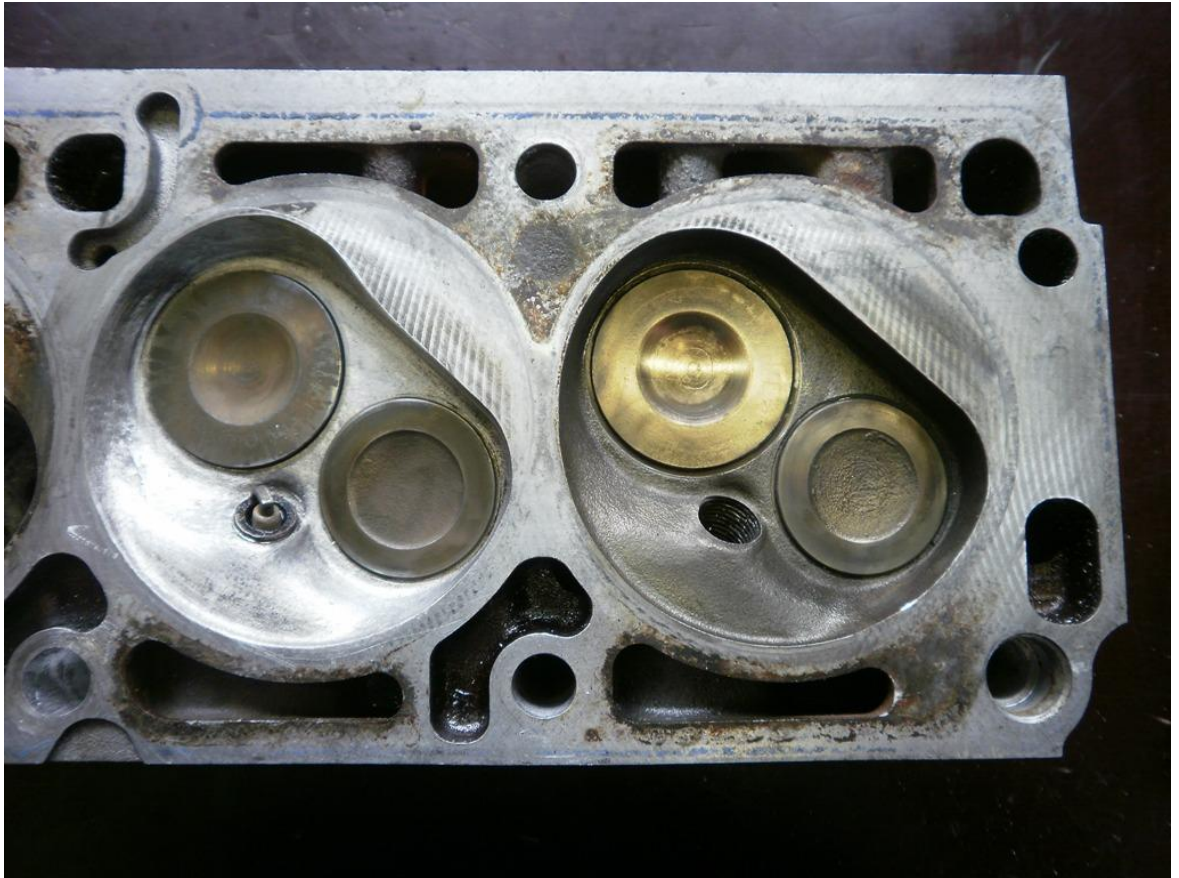
Kuvio 7. Muotoiltu ja viimeistely pakokanava.

### 4.3 Palotilan muotoilu

Työssä tutkimuksen kohteena olevan sylinterikannen palotila oli muodoltaan ammeen mallinen. Tämän malliset palotilat ovat yleisiä hieman vanhemmissa nelitahtimoottoreissa, joissa on yksi imu- ja yksi pakoventtiili sylinteriä kohden. Palotilan mallista johtuen venttiilit sijaitsevat osittain melkein kiinni palotilan seinämissä, joka oleellisesti heikentää ilmanvirtausta etenkin suurilla venttiilin nostoilla.

Palotiloja päätettiin muokata ainoastaan imuventtiilien puolelta, koska poistettaessa materiaalia palotilasta, myös puristussuhde pienenee oleellisesti. Opel C20NE-moottorissa sylinteriputket sijaitsevat erittäin lähellä toisiaan, joten palotilojen välistä ei juurikaan ollut varaa ainetta poistaa. Palotilaa tehtiin tilaa

tulpan vastakkaiselle puolelle niin, että imuventtiilistä palotilan seinään saatiin etäisyydeksi 0,9 kertaa käytössä oleva venttiilinnousu (Kuvio 8).

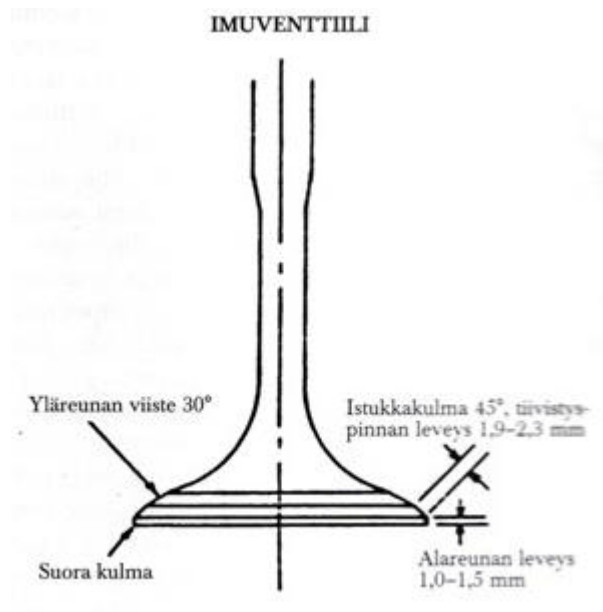


Kuvio 8. Kuvassa vasemmalla muotoiltu palotila.

#### 4.4 Venttiilin muotoilu

Bell (2007, 3, 9 - 10) kertoi kirjassaan venttiiliin tehtävän 30 asteen lisäviisteen parantavan merkittäväällä tavalla kaasujen virtausta sylinterikannessa (Kuvio 9). Viisteen vaikutus päätettiin tutkia virtauspenkissä.

Imuventtiileihin päätettiin koneistaa edellä mainitun kaltainen viiste Seinäjoen ammattikorkeakoulun autolaboratoriosta löytyvällä venttiilinhiontalaitteella. Viiste pyrittiin tekemään mahdollisimman leveäksi. Imuventtiilin tiivistepinnaksi jätettiin 1,5 mm levyinen 45 asteen kulmassa oleva tasainen pinta. Kaikkien venttiilien varsinaiset tiivistyspinnat vielä viimeisteltiin istukoihin tiiviiksi kahden eri karkeuksisen hiomatahnan avulla.



Kuvio 9. Imuventtiin lisäviiste. (Bell 2007.)

## 5 PURISTUSSUHTEEN MUUTTAMINEN

### 5.1 Puristussuhteen nostaminen

Moottorin puristussuhde määrittelee, kuinka pieneen osaan sylinterin imutahdin aikana imetty imuilman ja polttoaineen seos puristetaan alkuperäisestä tilavuudesta ennen seoksen palamista sylinterissä. Puristussuhteen kasvaessa nousee samalla myös sylinterin puristusaine. Puristettaessa sylinterissä oleva polttoaineseos suuripaineiseksi ennen palamista, saadaan palavan polttoaineseoksen paine korkeaksi. Mitä korkeammaksi palavan seoksen paine saadaan, sitä suuremmalla voimalla mäntää työnnetään alaspäin moottoritehon samalla kasvaen. Moottorin puristussuhteen ylärajan määräävät nakutusraja sekä moottorinosien kestävyys (Bell 2007, 4, 1).

Puristussuhteen nostaminen lisää moottorin tehollista keskipainetta, puristusainetta ja tehoa kaikilla moottorin pyörimisnopeuksilla. Kohotettaessa puristussuhdetta moottorin mekaaninen hyötysuhde huononee, koska seoksen puristamiseen tarvitaan enemmän työtä. Indukoitu keskipaine kasvaa kuitenkin enemmän kuin moottorin häviökeskipaine, joka saa aikaan tehollisen keskipaineen kohoamisen (Mauno 2002, 11).

Moottorin lämpö- ja laakerirasitukset sekä sytytysjärjestelmän kuormitus lisääntyvät puristussuhteen noston jälkeen. Eniten puristussuhteen suuruutta rajoittaa kuitenkin moottorin nakutustaipumus. Nakutus tarkoittaa polttoaineseoksen ennen aikaista, hallitsematonta palamista ja se voidaan havaita moottorista kuuluvana kilisevänä äänenä. Pitkäaikainen nakutus aiheuttaa moottorivaurion, kuten esimerkiksi mäntien rikkoontumisen. Puristussuhteen nostamisen aiheuttama nakutus voidaan poistaa yleensä siirtämällä sytytystä myöhäisemmälle, mutta tällöin on otettava huomioon sytytyksen myöhästymisen aiheuttama tehon laskeminen. Nykyaikaiset moottorit on varustettu yleensä nakutuksen estojärjestelmällä, mutta tämäkin pietsosähkötoimiseen nakutusanturiin perustuva järjestelmä ei kykene nostamaan tehoa liian suurta puristussuhdetta käytettäessä. Järjestelmä osaa estää moottoria nakuttamasta

myöhästyttämällä sytytystä, mutta tästäkin toimenpiteestä on seurauksena tehon laskeminen ja moottorin nopeampi kuluminen. Puristussuhteen maksimiarvona voidaan pitää 10,5:1 - 11,0:1 käytettäessä 99-oktaanista bensiiniä (Mauno 2002, 11 - 13, 114).

Sytytysennakkoa voidaan pienentää puristussuhdetta nostettaessa. Seoksen tiheyden ollessa pieni, on myös seoksen palamisnopeus pieni, jolloin tarvitaan paljon sytytysennakkoa. Tiheys vaikuttaa suoraan seoksen palamisnopeuteen, jolloin on selvää, että korkeampi puristussuhde nopeuttaa palamista (Mauno 2002, 112).

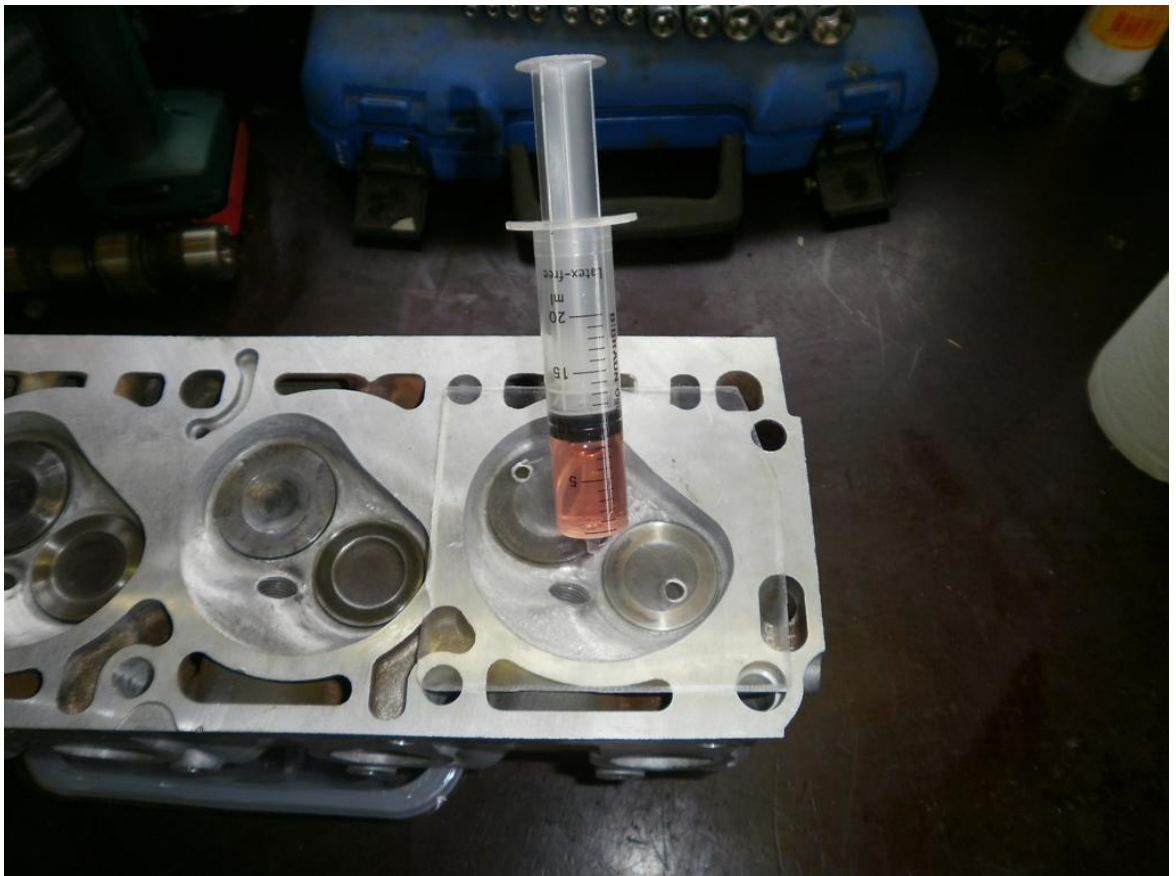
Puristussuhteen nostamiseksi on olemassa useita keinoja. Helpon puristussuhtetta saadaan kasvatettua poistamalla ainetta sylinterikannen tai sylinterilohkon tiivistepinnasta. Tiivistepintoja madallettaessa kannattaa kuitenkin olla tarkkana, että venttiileille jää riittävästi tilaa liikkua myös operaation jälkeen. Venttiilien ja männän välisen raon tulisi olla pienimmillään noin 2 millimetriä. Ellei moottorin puristussuhdetta saada kohoamaan tiivistepintojen madaltamisella halutulle tasolle, voidaan moottoriin vaihtaa korkeampipuristeiset männät. Korkeampipuristeisiä mäntiä voi löytää myös saman moottorinvalmistajan eri moottoriversioista (Mauno 2002, 13 - 14).

## **5.2 Puristussuhteen tekijöiden mittaaminen**

Moottorin puristussuhteen laskemiseksi vaaditaan puristussuhteeseen vaikuttavien tekijöiden selvittämistä. Iskunpituus ja sylinterin halkaisija löytyvät yleensä ajoneuvon teknisistä tiedoista huoltokirjasta. Kaikkia tarvittavia arvoja ei ole kuitenkaan moottoreille ilmoitettu, joten esimerkiksi palotilojen tilavuudet männissä ja sylinterikannessa joudutaan mittaamaan erikseen.

Palotilojen tilavuus mitattiin tässä projektissa käyttämällä tarkalla asteikolla varustettua lääkeruiskua. Venttiilit tiivistettiin vaseliinin avulla istukoihinsa, jotta neste ei pääsisi virtaamaan kanavaan kesken mittauksen ja näin vääristämään mittaustuloksia. Palotilan päälle asennettiin vaseliinilla tiivistäen ohut pleksilevy,

johon porattiin muutama reikä nesteen lisäämiseksi palotilaan (Kuvio 10). Asentamalla palotilan päälle tasainen levy saadaan nesteen pinta ikään kuin tasattua ja mittaustulokset ovat tarkkoja. Nesteenä mittauksissa käytettiin polttoöljyä, joka osoittautui hyvin havaittavaksi värinsä puolesta. Mittaus suoritettiin täyttämällä lääkeruisku polttoöljyllä ja valuttamalla sitä niin paljon palotilaan, että nesteen pinta ulottui pleksilevyssä olevien reikien tasalle. Lopuksi lääkeruiskun mitta-asteikolta luettiin palotilaan valutetun nesteen määrä. Mäntien palotilojen tilavuudet mitattiin samaa menetelmää käyttäen kuten sylinterikannessakin.



Kuvio 10. Sylinterikannen palotilan tilavuuden mittaaminen.

Kannentiivisteiden vahvuus määrittää oman osansa palotilan tilavuudesta. Tiivisteiden palotilan tilavuuden tarkaksi määrittämiseksi vahvuus mitattiin kokoonpuristuneesta kannentiivisteestä, jotta tuloksista saataisiin luotettavia. Männän ja sylinterikannen väliin jäävä paljerako muodostaa myös osan palotilasta. Paljeraon korkeus mitattiin asentamalla suora viivoitin sylinterilohkon päälle, josta mitattiin etäisyys männänlakeen männän ollessa yläkuolokohdassa.



### 5.3 Uuden puristussuhteen laskenta

Puristussuhde ilmoittaa sylinterin palotilan ja iskutilavuuden summan suhteen palotilan tilavuuteen. Palotilan tilavuudet sylinterikannesta ja männästä saadaan mittaamalla. Sylinteriputken ja kannentiivisteiden palotilat on kuitenkin helpoin selvittää laskemalla.

Palotilojen tilavuus saadaan kaavasta:

$$V = \frac{\pi \times D^2 \times H}{4000} \quad (5)$$

jossa	V	on	tilavuus (cm <sup>3</sup> )
	D	on	sylinterin halkaisija (mm)
	H	on	palotilan korkeus (mm)

Sijoittamalla kaavaan (5) sylinterin halkaisija 86 mm ja sylinterin palotilan korkeus 0,2 mm, saadaan sylinterin palotilan tilavuudeksi 1,16 cm<sup>3</sup>.

Kannentiivisteiden palotilan tilavuudeksi saadaan 6,97 cm<sup>3</sup> sijoittamalla kaavaan (5) palotilan korkeudeksi kokoonpuristuneen kannentiivisteiden paksuus 1,2 mm.

Taulukko 1. Palotilojen tilavuudet sylinterissä.

Palotila	Tilavuuden määrittäminen	Tilavuus cm <sup>3</sup>
Sylinterikansi	Mittaus	38
Kannentiiviste	Laskenta	6,97
Sylinteri	Laskenta	1,16
Mäntä	Mittaus	10
<b>Kokonaispalotila</b>		<b>56,13</b>

Sylinterin kokonaispalotila  $56,13 \text{ cm}^3$  saadaan laskemalla yhteen kaikkien palotilojen tilavuudet (Taulukko 1).

Sylinterin uusi puristussuhde saadaan kaavasta:

$$CR = \frac{CV + CCV}{CCV} \quad (6)$$

jossa	CR	on	puristussuhde
	CV	on	sylinterin iskutilavuus ( $\text{cm}^3$ )
	CCV	on	sylinterin puristustilavuus ( $\text{cm}^3$ )

Uudeksi puristussuhteeksi saadaan 9,9:1, sijoittamalla kaavaan (6) yhden sylinterin iskutilavuus  $499,5 \text{ cm}^3$  ja sylinterin puristustilavuus  $56,13 \text{ cm}^3$ .

## 6 NOKKA-AKSELI

### 6.1 Nokka-akselin toiminta

Venttiilin nousun suuruuden ja aukioloaikojen pituuden määrittää nokka-akselin nokkien muoto. Karkeasti voidaan sanoa, että mitä pitempiä ovat venttiilien aukioloajat ja mitä suurempia ovat nousut, sitä suurempi on huippukierroksilla saatava moottorin maksimiteho. Toisaalta taas pitkät aukioloajat ja suuret nousut huonontavat moottorin suorituskykyä ja polttoainetaloutta alemmilla käyntinopeuksilla. (Mauno 2002, 35.)

Moottorin nokka-akselin imunokka alkaa avata imuventtiiliä jo hieman ennen männän saapumista pakotahdin yläkuolokohtaan, jotta imuventtiili olisi tarpeeksi avoimena männän lähtiessä alaspäin imutahdin alkaessa. Imutahdin lopussa imuventtiilin sulkemista hieman viivytetään alakuolokohdan ylitse, jolloin männän lähtiessä ylöspäin sylinteriin virtaa vielä suurella nopeudella imuilmaa parantaen täytöstä. Nokka-akselin pakonokka puolestaan alkaa avata pakoventtiiliä työtahdin loppuvaiheessa männän vielä liikkeessä alaspäin, jotta pakoventtiili olisi riittävästi avautunut heti männän ohittaessa alakuolokohdan. Pakoventtiilin ennakoitu avaaminen estää mäntää joutumasta tekemään turhaa työtä puristaessaan pakokaasuja pakokanavaan. Pakoventtiiliä pidetään myös jonkin aikaa avoimena männän ohitettua pakotahdin yläkuolokohdan, johtuen pakokaasun virtauksen hitaudesta. Pakokanavaan virtaava pakokaasu ikään kuin imee sylinteristä loputkin jäljellä olevat pakokaasut ulos sylinteristä. Pakotahdin yläkuolokohdassa nokka-akselin imunokka avaakin jo taas imuventtiiliä, jolloin syntyy tilanne, jossa sylinterin imu- ja pakoventtiili ovat hetken yhtäaikaisesti avoimena. Yleisin nimitys tälle tilanteelle on englanninkielestä lainattu ”overlap”. Yhtäaikaisesta avautumisesta johtuen pakokanavassa vaikuttava pieni alipaine saa sylinteriin virtaamaan lisää tuoretta polttoaineseosta imukanavasta, jolloin tämä overlap on hyvinkin tärkeä tekijä moottorin ominaisuuksien ja luonteen kannalta. (Bell 2007, 5, 2.)

## 6.2 Nokka-akselin nosto ja venttiilien aukiolo

Nokka-akselin muotoja suunniteltaessa on otettava huomioon lukuisia erilaisia tekijöitä. Nokan perusympyrä on muodoltaan pyöreä ja sen keskipiste on sama kuin koko nokka-akselilla. Venttiilinpainimen ollessa nokan perusympyrän pinnalla on venttiili täysin sulkeutunut. Ennen venttiiliä avaavaa nokan kylkialuetta nokassa on aina niin sanottu esinokka-alue, jonka tehtävänä on poistaa venttiilikoneiston välykset ja aloittaa venttiilin avaaminen pienellä kiihtyvyydellä. Nokan kylkialue avaa venttiilin hyvin nopeasti kärkialueelle saakka, jossa venttiilin avautumista aletaan hidastaa pysähtymiseen saakka. Saavutettuaan maksiminoston aloittaa nokka venttiilin sulkemisen päinvastaisessa järjestyksessä. (Bell 2007, 5, 4.)

## 6.3 Nokka-akselin valinta

Opel C20NE-moottoriin on saatavilla useilla eri valmistajilla erilaisia nokka-akseleita katukäytöstä aina kilpakäyttöön saakka. Katukäyttöön tarkoitetut nokka-akselit vaativat yleensä aina kaverikseen jäykemmät venttiilinjouset. Suurilla overlap-asteilla varustettu nokka-akseli voi myös aiheuttaa epätoivottua polttoaineseoksen karkaamista suoraan palamattomana pakokanavaan, jolloin myös polttoaineen kulutus ja saastepäästöt kasvavat.

Taloudellisista syistä johtuen moottorin nokka-akseliksi valittiin Opel 18E-moottorin nokka-akseli, joka sopii pienellä muutoksella C20NE-moottoriin. Edellä mainittu nokka-akseli on jyrkin vakio nokka-akseli, joka sopii suoraan C20NE-moottorin nokka-akselipukkiin. Nokka-akselin päähän koneistettiin sopivat kierteet, joihin virranjakajan pyörijä kiinnitettiin. Muita muutoksia nokka-akseli ei vaatinut, vaikka kyseessä onkin eri mallisarjan moottori.

Nokka-akseleiden arvoja vertailtaessa suurimmat erot näyttävät olevan akseleiden ajoituksissa. 18E-moottorin nokka-akselin venttiilien aukioloajan kesto on huomattavasti pitempi kuin vakio akselin. Myös imu- ja pakoventtiilin yhtäaikainen aukiolojakso eli overlap on 15° pitempi kuin C20NE-moottorin nokka-akselilla. Venttiilinnostoja tutkittaessa huomataan myös 18E-akselin noston olevan noin 0,5 mm suurempi kuin C20NE-akselin (Taulukko 2).

Taulukko 2. Nokka-akseleiden arvot (More lift on camshaft 2011).

Arvot	C20NE Nokka-akseli	18E Nokka-akseli
Imuventtiili avautuu	23° EYKK	28° EYKK
Imuventtiili sulkeutuu	71° JAKK	89° JAKK
Aukioloajan kesto	274°	297°
Pakuventtiili avautuu	60° EAKK	72° EAKK
Pakuventtiili sulkeutuu	35° JYKK	45° JYKK
Aukioloajan kesto	275°	297°
Overlap	58°	73°
Nosto	11,00 mm	11,526 mm

#### 6.4 Säädettävä nokka-akselin hihnapyörä

Säädettävän nokka-akselin hihnapyörän valmistus lähti tarpeesta, joka syntyi kun moottorin puristussuhteen nostamiseksi kannen tiivistyspintaa päätettiin koneistaa matalammaksi. Sylinterikantta madallettaessa nokka-akselin ja kampiakselin hihnapyörät lähentyvät toisiaan. Jakohihnan kiristin on sijoitettu jakopäässä sivulta katsoen vasemmalle puolelle, joka aiheuttaa hihnapyörien lähentyessään toisiaan moottorin venttiilinajoituksen sekä sytytysennakon siirtymisen myöhäiselle.

Säädettävä hihnapyörä päätettiin rakentaa alkuperäisestä nokka-akselin hihnapyörästä. Hihnapyörän päälle sorvattiin tarkasti sovitettu kiekko ruostumattomasta teräksestä. Kiekkoon ja hihnapyörään porattiin kiinnitys reiät ulko- ja sisäkehälle, yhteensä 14 kappaletta. Hihnapyörän reikiin koneistettiin kierteet, jotta kiekko saataisiin kiinnitettyä tukevasti hihnapyörään. Uutena hihnapyörän runkona toimivaan kiekkoon jyrssiin ulkokehälle pitkän malliset reiät, joiden avulla hihnapyörän keskiön ja kehän asemaa saadaan muutettua toisiinsa nähden. Lopuksi alkuperäisen hihnapyörän keskiö ja kehä irrotettiin sorvissa toisistaan, uutena runkona toimii nykyään ruostumattomasta teräksestä sorvattu kiekko (Kuvio 11).



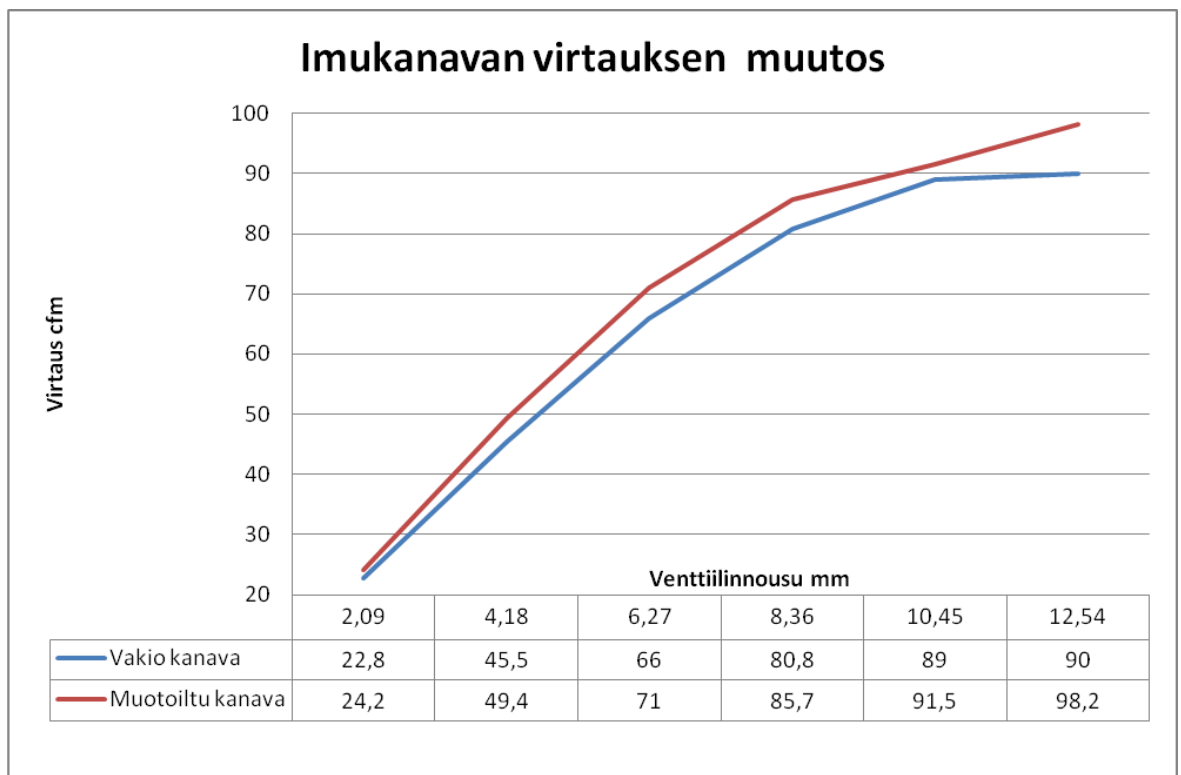
Kuvio 11. Omavalmisteinen säädettävä nokka-akselin hihnapyörä.

## 7 MITTAUSTULOKSET

### 7.1 Imukanavan ja palotilan muotoilun vaikutus

Mittaustuloksien perusteella voidaan havaita sylinterikannen imukanavien virtauksien parantuneen muotoilun ansiosta huomattavasti (Taulukko 3). Suurimmat muutokset virtauksessa ovat keskisuurilla venttiilinnousuilla. Vakio imukanavan virtaus pysähtyi suoritettujen mittausten perusteella noin 10 millimetrin venttiilinnousulla. Muokatun imukanavan virtaus sen sijaan kasvoi tasaisesti jopa 14 millimetrin venttiilinnousuille saakka. Näin suuria venttiilinnousuja on käytännössä mahdoton käyttää rakenteen puolesta tutkimusten kohteena olleessa koekannessa, mutta mittaustulokset antavat suuntaa siitä, kuinka kanavien virtausominaisuudet paranivat merkittävästi. Muokatun imukanavan huippuvirtaukseksi saatiin 14 millimetrin venttiilinnousulla 100,8 cfm, mikä tarkoittaa kannen virtaavan 173,4 hevosvoimaa 10” testipainetta käytettäessä.

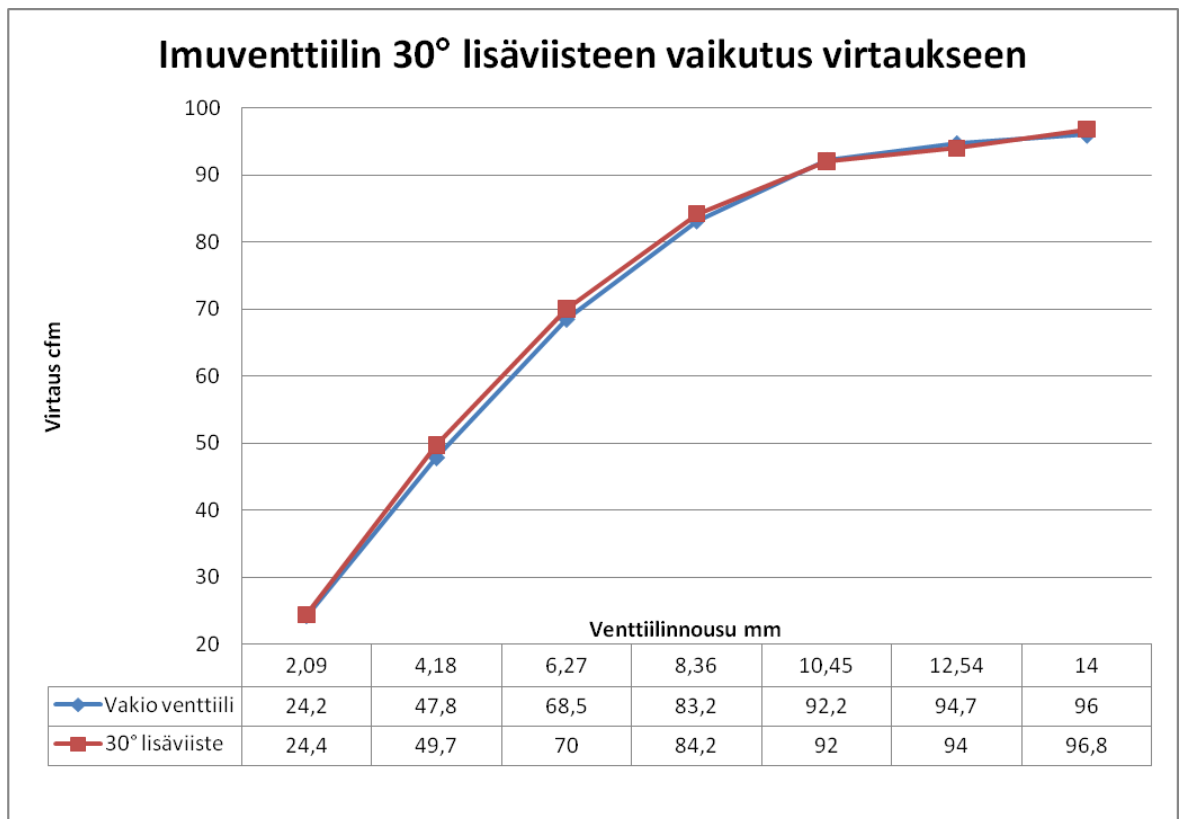
Taulukko 3. Imukanavan virtauksen muutos. (Liite 1, Liite 5)



## 7.2 Imuventtiin 30° lisäviiste

Imuventtiin tiivistyspinnan yläpuolelle koneistetun ylimääräisen lisäviisteen vaikutukset virtaukseen osoittautuivat työmäärään nähden merkittäviksi. Verrattaessa kaaviosta saman imukanavan virtausta vakioventtiilillä ja muotoillulla venttiilillä, huomataan venttiin pienen lisäviisteen vaikuttavan ilman virtaukseen huomattavasti pienillä ja keskisuurilla venttiilinnousuilla (Taulukko 4).

Taulukko 4. Imuventtiin 30° lisäviisteen vaikutus virtaukseen. (Liite 3, Liite 4)



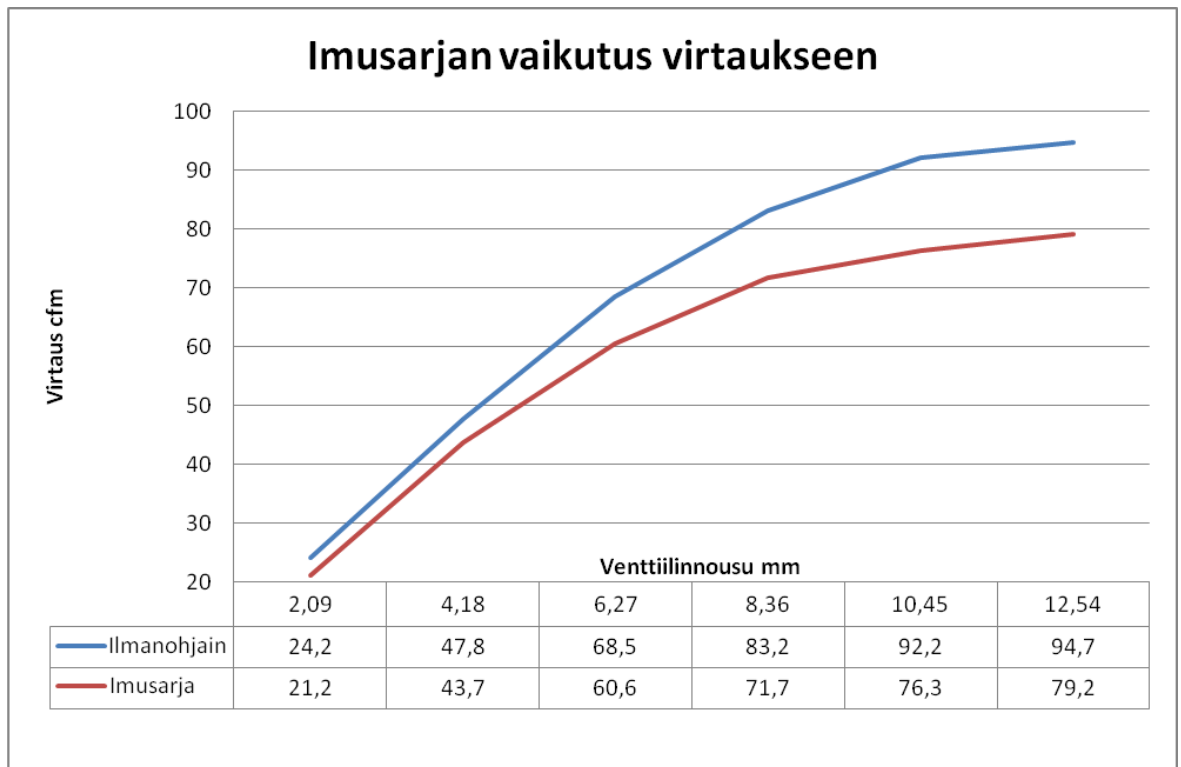
## 7.3 Imusarjan vaikutus virtaukseen

Kanavien virtauksia tutkittaessa käytettiin sylinterikannen imukanavissa vahasta valmistettua ilmanohjainta. Ilmanohjain olisikin ihanteellisin vaihtoehto imukanavan suulle ohjaamaan sylinteriin maksimaalisen ilmavirtauksen. Todellisuudessa kuitenkin sylinterikannessa on imusarja paikallaan vaikuttamassa imuilman



virtaukseen. Imusarjan tiedettiin alun perin ahdistavan sylintereissä tapahtuvaa kaasunvaihtoa, mutta vaikutus haluttiin todeta mittaamalla. Mittaustulokset osoittavatkin imusarjan ahdistavan selvästi sylinteriin imettävän ilman kulkua. Avarammalla ja paremmin virtaavalla imusarjalla saataisiinkin muotoiltujen imukanavien mahdollistama parempi ilmanvirtausmäärä käyttöön. Taulukkoa (Taulukko 5) tutkimalla voidaan havaita imusarjan ahdistavan virtausta etenkin suurilla venttiilinnousuilla jopa 15 cfm.

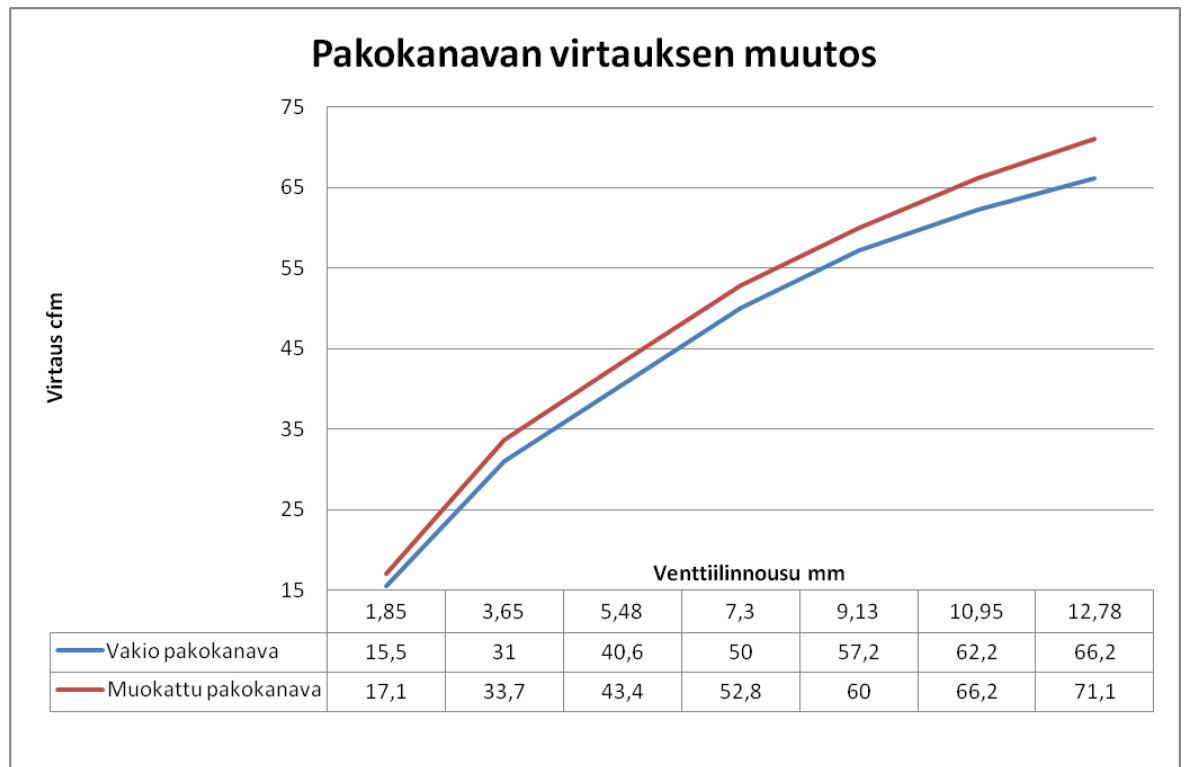
Taulukko 5. Imusarjan vaikutus sylinterikannen virtaukseen. (Liite 3, Liite 6)



#### 7.4 Pakokanavan virtauksen muutos

Pakokanavan virtaus parantui riittävästi pienellä uudelleenmuotoilulla (Taulukko 6). Kanavaa ei tarkoituksella lähdetty muokkaamaan mahdollisimman paljon virtaavaksi, koska pakopuolen virtauksen suhteen imupuolen virtaukseen haluttiin pysyvän hyväksi havaituissa rajoissa. Mittauspöytäkirjaa tutkimalla havaitaan pakokanavan virtaavan 70,54 % imukanavan virtauksesta, mikä on juuri sopiva suhde.

Taulukko 6. Pakokanavan virtauksen muutos. (Liite 1, Liite 5)



### 7.5 Moottorin tehon ja vääntömomentin lisääntyminen

Ensitutumat paremmin virtaavan kannen ajoneuvoon paikalleen asennuksen jälkeen olivat miellyttävät. Moottorin huomattiin kuitenkin kaipaavan säätöä nokka-akselin ajoitukseen ja polttoaineenseokseen, jotta moottori saataisiin toimivaan mahdollisimman miellyttävästi jokapäiväisessä käytössä. Säädöt suoritettiin Seinäjoen ammattikorkeakoulun alustadynamometrissä. Nokka-akselin ajoitus haettiin kohdalleen vähän kerrallaan ennakkoa lisäten. Polttoaineseosta rikastettiin ilmamäärämittarin josta kaksi pykälää löysentämällä. Toimenpiteellä saadaan moottori olettamaan sylintereihin virtaavaan todellista enemmän ilmaa, jolloin myös polttoainetta suihkutetaan sylintereihin hieman enemmän.

Säätöjen ollessa kohdallaan parhaaksi moottoritehoksi saatiin 97,9 kW kierroksilla 5530 r/min (Liite 6) ja vääntömomentiksi 177,7 Nm kierroksilla 4550 r/min (Liite 7). Moottoritehon reilu kasvu yllätti, koska moottoriin syötettävää polttoainemäärää ei muutettu merkittävästi. Maantieajossa ajoneuvon moottorin käytöksen todettiin parantuneen todella paljon lisääntyneen väännön ansiosta.

Vääntömomenttikuvaajaa tutkimalla voidaankin huomata vääntökäyrän olevan melkoisen tasainen noin 2000 r/min kierroksesta aina 6000 r/min asti. Taulukkoa (Taulukko 7) tutkimalla ja vertaamalla voidaan kuitenkin huomata maksimivääntömomentin siirtyminen 2000 r/min ylemmäksi.

Taulukko 7. Moottorin ominaisuuksien muuttuminen.

<b>Tekniset tiedot</b>	<b>C20NE Vakio</b>	<b>C20NE Evo 1</b>
<b>Iskutilavuus</b>	1998 cm <sup>3</sup>	1998 cm <sup>3</sup>
<b>Sylinterin halkaisija</b>	86 mm	86 mm
<b>Iskunpituus</b>	86 mm	86 mm
<b>Puristussuhde</b>	9,2:1	9,9:1
<b>Teho</b>	85 kW (115 hv) @ 5400 r/min	97,9 kW (133 hv) @ 5530 r/min
<b>Vääntömomentti</b>	170 Nm @ 2600 r/min	177,7 Nm @ 4550 r/min

## 8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä sylinterikannen ilmavirtauksiin vaikuttaviin tekijöihin. Tavoitteet saatiin täytettyä hyvin tutkimustuloksien perusteella. Tutkimuksen kohteena toimineeseen koekanteen suoritettut mittaukset osoittavat teoriassa esitettyjen ratkaisujen toimivan myös käytännössä sylinterikannen virityksessä. Työn suoritus sujui ongelmitta lukuun ottamatta kirjallista osuutta, jonka suoritukseen kului aikaa. Opinnäytetyö vaati laajaa opiskelua viritystekniikan perusteista, mutta se ei tuottanut ongelmia johtuen mielenkiinnosta aihetta kohtaan. Pienillä muutoksilla sylinterikanteen saatiin käyttöauton luonnetta muutettua entistä parempaan suuntaan. Moottorista saatiin vääntävämpi ja tehokkaampi, polttoainetalouden kärsimättä. Päinvastoin käytössä suoritettut mittaukset osoittavat polttoaineen kulutuksen jopa hieman vähentyneen puristussuhteen kohottamisen ansiosta.

Onnistuneiden tutkimustulosten ansiosta moottorin suorituskyvyn parantamista olisi tarkoitus lähteä jatkamaan asentamalla moottoriin varastosta löytyvä vapaammin hengittävä imusarja. Tutkimuksissa kävi ilmi vakioimusarjan heikentävän sylinterikannen ilmavirtausta niin paljon, että asiaan kannattaa kiinnittää seuraavaksi huomiota. Myös moottorinohjaus kaipaisi säätömahdollisuutta, jotta moottorin toiminta saataisiin optimoitua mieleiseksi muuttuneiden ominaisuuksien takia. Alustadynamometrissä suoritettujen mittausten perusteella moottorin tehoa ja vääntöä tullaan lähiaikoina parantamaan säädettävällä polttoaineen paineensäätimellä.

## LÄHTEET

Bell, G. A. 2007. Nelitahtimoottorin virittäminen. Suomentaja Esko Mauno. Helsinki: Alfamer Oy.

Mauno, E. 2002. Virittäjän käsikirja 1: Nelitahtimoottorit. 4. painos. Helsinki: Alfamer Kustannus Oy.

More lift on camshaft. 6.4.2005. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 31.3.2011]. Saatavissa: <http://www.migweb.co.uk/forums/engines-transmission/191748-more-lift-camshaft.html>

Pihlaja-Kuhna, E. 2005. Sylinterikannen virtausmittaukset. Seinäjoen Ammattikorkeakoulu. Tekniikan yksikkö, Mekatroniikan koulutusohjelma, Auto ja työkonetekniikan suuntautumisvaihtoehto. Opinnäytetyö. Julkaisematon.

SuperFlow SF-110/120 virtauspenkin käyttöohje

8V OHC Kannen avarrus. 19.7.2010. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 4.4.2011]. Saatavissa: <http://www.opelclubfinland.fi/forum/viewtopic.php?f=36&t=186889>

## LIITTEET

Liite 1. Virtauspöytäkirja vakio kansi

Liite 2. Virtauspöytäkirja silotetut kanavat

Liite 3. Virtauspöytäkirja muotoillut kanavat

Liite 4. Virtauspöytäkirja venttiilin 30° lisäviiste ja muotoillut kanavat

Liite 5. Virtauspöytäkirja muotoillut kanavat ja palotila

Liite 6. Imusarjan vaikutus virtaukseen

Liite 7. Moottoritehon kuvaaja

Liite 8. Moottorin vääntömomenttikuvaaja

## LIITE 1. Virtauspöytäkirja vakio kanssi

<b>SuperFlow SF-110/120FC Virtauspöytäkirja</b>		Testipvm:	22.02.11	Testi:	1
Testattava kanssi:	Opel C20NE	Omistaja:	Ylitalo	Testaaja:	Ylitalo
Kannen versio:	Vakio	Palotilan muoto	M	M=Muu, K=Kiila	

Sylinterin halkaisija:	86,0 mm	Iskun pituus:	86,0 mm	Sylinterien lkm:	4
Tilavuus / sylinteri	30,5 in3	Sylinteri tilavuus:	122 in3		

Testin asetukset					
	Halkaisija	Varsi	Noston lisäys	Venttiilin nettoala	Venttiilit
Imuventtiili	41,8 mm	7 mm	2,090 mm	2,066 in2	1
Pakovenntiili	37 mm	7 mm	1,850 mm	1,606 in2	1

Virtausalue	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ylätulpat	1	2	1+2	1+3	1+2+3	1+3+4	1+2+3+4	1+2+3+5	1+2+3+4+5
Korjattu alue (imu)	9,3	18,0	29,0	39,4	58,3	81,8	102,4	138,0	182,5
Korjattu alue (pako)	9,3	18,2	30,7	41,6	61,5	86,3	105,8	138,2	183,8

Imupuolen testaustiedot									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Testin numero	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2 Testipaine "	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3 Venttiilin nosto (oletus)	2,09	4,18	6,27	8,36	10,45	12,54	14,63	16,72	18,81
Venttiilin nosto (oma mm)	2,09	4,18	6,27	8,36	10,45	12,54			
4 Virtausalue	4	6	7	8	8	8			
Virtausalueen arvo	39,4	81,8	102,4	138,0	138,0	138,0	0,0	0,0	0,0
5 Mitattu virtaus	22,8	45,5	66,0	80,8	89,0	90,0			
6 Testivirtaus cfm/in2	11,0	22,0	31,9	39,1	43,1	43,6	0,0	0,0	0,0
7 Optimaalinen virtaus	16,0	29,9	41,5	50,7	57,6	62,1	64,2	63,9	63,9
8 % Optimaalisesta	69,0 %	73,6 %	77,0 %	77,1 %	74,8 %	70,1 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
9 L/D suhde	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
10 Purkautumiskerroin Cd	0,13	0,25	0,37	0,45	0,49	0,50	0,00	0,00	0,00

Keskiarvo virtaus: 65,7 Maksimi virtaus: 90 cfm

Pakupuolen testaustiedot									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Testin numero	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2 Testipaine	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3 Venttiilin nosto (oletus)	1,85	3,65	5,48	7,30	9,13	10,95	12,78	14,80	16,65
Venttiilin nosto (oma mm)	1,85	3,65	5,48	7,30	9,13	10,95	12,78		
4 Virtausalue	3	5	6	6	7	7	7		
Virtausalueen arvo	30,7	61,5	86,3	86,3	105,8	105,8	105,8	0,0	0,0
5 Mitattu virtaus	15,5	31,0	40,6	50,0	57,2	62,2	66,2		
6 Testivirtaus cfm/in2	9,7	19,3	25,3	31,1	35,6	38,7	41,2	0,0	0,0
7 Optimaalinen virtaus	16,0	26,8	39,0	48,5	56,0	60,9	64,0	63,9	63,9
8 % Optimaalisesta	60,3 %	72,0 %	64,8 %	64,2 %	63,6 %	63,6 %	64,4 %	0,0 %	0,0 %
9 L/D suhde	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
10 Purkautumiskerroin Cd	0,11	0,22	0,29	0,36	0,41	0,44	0,47	0,00	0,00

Keskiarvo virtaus: 46,1 Maksimi virtaus: 66,2 cfm

Laskennallinen teho / sylinteri:	28,5 kW	38,7 hv	Pako- / imuvirtauksen suhde:	73,56 %
Laskennallinen teho::	113,9 kW	154,8 hv	Parhaan tehon kierrokset:	5905

## LIITE 2. Virtauspöytäkirja silotetut kanavat

<b>SuperFlow SF-110/120FC Virtauspöytäkirja</b>		Testipvm:	22.02.11	Testi:	1
Testattava kansi:	Opel C20NE	Omistaja:	Ylitalo	Testaaja:	Ylitalo
Kannen versio:	Silotetut kanavat	Palotilan muoto	M	M=Muut, K=Kiila	

Sylinterin halkaisija:	86,0 mm	Iskun pituus:	86,0 mm	Sylinterien lkm:	4
Tilavuus / sylinteri	30,5 in3	Sylinteri tilavuus:	122 in3		

Testin asetukset					
	Halkaisija	Varsi	Noston lisäys	Venttiilin nettoala	Venttiilit
Imuventtiili	41,8 mm	7 mm	2,090 mm	2,066 in2	1
Pakovenntiili	37 mm	7 mm	1,850 mm	1,606 in2	1

Virtausalue	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ylätulpat	1	2	1+2	1+3	1+2+3	1+3+4	1+2+3+4	1+2+3+5	1+2+3+4+5
Korjattu alue (imu)	9,3	18,0	29,0	39,4	58,3	81,8	102,4	138,0	182,5
Korjattu alue (pako)	9,3	18,2	30,7	41,6	61,5	86,3	105,8	138,2	183,8

Imupuolen testaustiedot									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Testin numero	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2 Testipaine "	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3 Venttiilin nosto (oletus)	2,09	4,18	6,27	8,36	10,45	12,54	14,63	16,72	18,81
Venttiilin nosto (oma mm)	2,09	4,18	6,27	8,36	10,45	12,54			
4 Virtausalue	4	6	7	8	8	8			
Virtausalueen arvo	39,4	81,8	102,4	138,0	138,0	138,0	0,0	0,0	0,0
5 Mitattu virtaus	22,2	46,5	68,7	84,0	89,6	93,5			
6 Testivirtaus cfm/in2	10,7	22,5	33,2	40,7	43,4	45,2	0,0	0,0	0,0
7 Optimaalinen virtaus	16,0	29,9	41,5	50,7	57,6	62,1	64,2	63,9	63,9
8 % Optimaalisesta	67,1 %	75,3 %	80,1 %	80,2 %	75,3 %	72,9 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
9 L/D suhde	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
10 Purkautumiskerroin Cd	0,12	0,26	0,38	0,47	0,50	0,52	0,00	0,00	0,00

Keskiarvo virtaus: 67,4 Maksimi virtaus: 93,5 cfm

Pakupuolen testaustiedot									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Testin numero	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2 Testipaine	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3 Venttiilin nosto (oletus)	1,85	3,65	5,48	7,30	9,13	10,95	12,78	14,80	16,65
Venttiilin nosto (oma mm)	1,85	3,65	5,48	7,30	9,13	10,95	12,78		
4 Virtausalue	3	5	6	6	7	7	7		
Virtausalueen arvo	30,7	61,5	86,3	86,3	105,8	105,8	105,8	0,0	0,0
5 Mitattu virtaus	15,5	30,2	41,0	50,5	58,0	64,6	68,3		
6 Testivirtaus cfm/in2	9,7	18,8	25,5	31,4	36,1	40,2	42,5	0,0	0,0
7 Optimaalinen virtaus	16,0	26,8	39,0	48,5	56,0	60,9	64,0	63,9	63,9
8 % Optimaalisesta	60,3 %	70,2 %	65,5 %	64,8 %	64,5 %	66,0 %	66,4 %	0,0 %	0,0 %
9 L/D suhde	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
10 Purkautumiskerroin Cd	0,11	0,22	0,29	0,36	0,41	0,46	0,49	0,00	0,00

Keskiarvo virtaus: 46,9 Maksimi virtaus: 68,3 cfm

Laskennallinen teho / sylinteri:	29,6 kW	40,2 hv	Pako- / imuvirtauksen suhde:	73,05 %
Laskennallinen teho::	118,3 kW	160,8 hv	Parhaan tehon kierrokset:	6135



### LIITE 3. Virtauspöytäkirja muotoillut kanavat

<b>SuperFlow SF-110/120FC Virtauspöytäkirja</b>		Testipvm:	22.02.11	Testi:	1
Testattava kansi:	Opel C20NE	Omistaja:	Ylitalo	Testaaja:	Ylitalo
Kannen versio:	Muotoillut kanavat	Palotilan muoto	M	M=Muut, K=Kiila	

Sylinterin halkaisija:	86,0 mm	Iskun pituus:	86,0 mm	Sylinterien lkm:	4
Tilavuus / sylinteri	30,5 in3	Sylinteri tilavuus:	122 in3		

Testin asetukset					
	Halkaisija	Varsi	Noston lisäys	Venttiilin nettoala	Venttiilit
Imuventtiili	41,8 mm	7 mm	2,090 mm	2,066 in2	1
Pakovenntiili	37 mm	7 mm	1,850 mm	1,606 in2	1

Virtausalue	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ylätulpat	1	2	1+2	1+3	1+2+3	1+3+4	1+2+3+4	1+2+3+5	1+2+3+4+5
Korjattu alue (imu)	9,3	18,0	29,0	39,4	58,3	81,8	102,4	138,0	182,5
Korjattu alue (pako)	9,3	18,2	30,7	41,6	61,5	86,3	105,8	138,2	183,8

Imupuolen testaustiedot									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Testin numero	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2 Testipaine "	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3 Venttiilin nosto (oletus)	2,09	4,18	6,27	8,36	10,45	12,54	14,00	16,72	18,81
Venttiilin nosto (oma mm)	2,09	4,18	6,27	8,36	10,45	12,54	14,00		
4 Virtausalue	4	6	7	8	8	8	9		
Virtausalueen arvo	39,4	81,8	102,4	138,0	138,0	138,0	182,5	0,0	0,0
5 Mitattu virtaus	24,2	47,8	68,5	83,2	92,2	94,7	96,0		
6 Testivirtaus cfm/in2	11,7	23,1	33,2	40,3	44,6	45,8	46,5	0,0	0,0
7 Optimaalinen virtaus	16,0	29,9	41,5	50,7	57,6	62,1	63,5	63,9	63,9
8 % Optimaalisesta	73,2 %	77,4 %	79,9 %	79,4 %	77,5 %	73,8 %	73,2 %	0,0 %	0,0 %
9 L/D suhde	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,33	0,40	0,45
10 Purkautumiskerroin Cd	0,13	0,27	0,38	0,46	0,51	0,53	0,53	0,00	0,00

Keskiarvo virtaus: 72,4 Maksimi virtaus: 96 cfm

Pakupuolen testaustiedot									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Testin numero	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2 Testipaine	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3 Venttiilin nosto (oletus)	1,85	3,65	5,48	7,30	9,13	10,95	12,78	14,80	16,65
Venttiilin nosto (oma mm)	1,85	3,65	5,48	7,30	9,13	10,95	12,78		
4 Virtausalue	3	5	6	6	7	7	7		
Virtausalueen arvo	30,7	61,5	86,3	86,3	105,8	105,8	105,8	0,0	0,0
5 Mitattu virtaus	17,1	33,7	43,4	52,8	60,0	66,2	71,1		
6 Testivirtaus cfm/in2	10,6	21,0	27,0	32,9	37,4	41,2	44,3	0,0	0,0
7 Optimaalinen virtaus	16,0	26,8	39,0	48,5	56,0	60,9	64,0	63,9	63,9
8 % Optimaalisesta	66,5 %	78,3 %	69,3 %	67,8 %	66,7 %	67,7 %	69,2 %	0,0 %	0,0 %
9 L/D suhde	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
10 Purkautumiskerroin Cd	0,12	0,24	0,31	0,38	0,43	0,47	0,51	0,00	0,00

Keskiarvo virtaus: 49,2 Maksimi virtaus: 71,1 cfm

Laskennallinen teho / sylinteri:	30,4 kW	41,3 hv	Pako- / imuvirtauksen suhde:	74,06 %
Laskennallinen teho::	121,4 kW	165,1 hv	Parhaan tehon kierrokset:	6299

## LIITE 4. Virtauspöytäkirja venttiilin 30° lisäviiste ja muotoillut kanavat

<b>SuperFlow SF-110/120FC Virtauspöytäkirja</b>		Testipvm:	08.03.11	Testi:	
Testattava kansi:	Opel C20NE	Omistaja:	Ylitalo	Testaaja:	Ylitalo
Kannen versio:	Lisäviiste+muotoillut kanavat	Palotilan muoto	M	M=Muu, K=Kiila	

Sylinterin halkaisija:	86,0 mm	Iskun pituus:	86,0 mm	Sylinterien lkm:	4
Tilavuus / sylinteri	30,5 in3	Sylinteri tilavuus:	122 in3		

Testin asetukset					
	Halkaisija	Varsi	Noston lisäys	Venttiilin nettoala	Venttiilit
Imuventtiili	41,8 mm	7 mm	2,090 mm	2,066 in2	1
Pakovenntiili	37 mm	7 mm	1,850 mm	1,606 in2	1

Virtausalue	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ylätulpat	1	2	1+2	1+3	1+2+3	1+3+4	1+2+3+4	1+2+3+5	1+2+3+4+5
Korjattu alue (imu)	9,3	18,0	29,0	39,4	58,3	81,8	102,4	138,0	182,5
Korjattu alue (pako)	9,3	18,2	30,7	41,6	61,5	86,3	105,8	138,2	183,8

Imupuolen testaus tiedot									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Testin numero	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2 Testipaine "	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3 Venttiilin nosto (oletus)	2,09	4,18	6,27	8,36	10,45	12,54	14,00	16,72	18,81
Venttiilin nosto (oma mm)	2,09	4,18	6,27	8,36	10,45	12,54	14,00		
4 Virtausalue	4	6	7	8	8	8			
Virtausalueen arvo	39,4	81,8	102,4	138,0	138,0	138,0	0,0	0,0	0,0
5 Mitattu virtaus	24,4	49,7	70,0	84,2	90,2	94,0	96,8		
6 Testivirtaus cfm/in2	11,8	24,1	33,9	40,7	43,7	45,5	46,8	0,0	0,0
7 Optimaalinen virtaus	16,0	29,9	41,5	50,7	57,6	62,1	63,5	63,9	63,9
8 % Optimaalisesta	73,8 %	80,4 %	81,6 %	80,4 %	75,8 %	73,3 %	73,8 %	0,0 %	0,0 %
9 L/D suhde	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,33	0,40	0,45
10 Purkautumiskerroin Cd	0,14	0,28	0,39	0,47	0,50	0,52	0,54	0,00	0,00

Keskiarvo virtaus: 72,8 Maksimi virtaus: 96,8 cfm

Pakupuolen testaus tiedot									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Testin numero	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2 Testipaine	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3 Venttiilin nosto (oletus)	1,85	3,65	5,48	7,30	9,13	10,95	12,78	14,80	16,65
Venttiilin nosto (oma mm)	1,85	3,65	5,48	7,30	9,13	10,95	12,78		
4 Virtausalue	3	5	6	6	7	7	7		
Virtausalueen arvo	30,7	61,5	86,3	86,3	105,8	105,8	105,8	0,0	0,0
5 Mitattu virtaus	17,1	33,7	43,4	52,8	60,0	66,2	71,1		
6 Testivirtaus cfm/in2	10,6	21,0	27,0	32,9	37,4	41,2	44,3	0,0	0,0
7 Optimaalinen virtaus	16,0	26,8	39,0	48,5	56,0	60,9	64,0	63,9	63,9
8 % Optimaalisesta	66,5 %	78,3 %	69,3 %	67,8 %	66,7 %	67,7 %	69,2 %	0,0 %	0,0 %
9 L/D suhde	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
10 Purkautumiskerroin Cd	0,12	0,24	0,31	0,38	0,43	0,47	0,51	0,00	0,00

Keskiarvo virtaus: 49,2 Maksimi virtaus: 71,1 cfm

Laskennallinen teho / sylinteri:	30,6 kW	41,6 hv	Pako- / imuvirtauksen suhde:	73,45 %
Laskennallinen teho::	122,5 kW	166,5 hv	Parhaan tehon kierrokset:	6351

## LIITE 5. Virtauspöytäkirja muotoillut kanavat ja palotila

<b>SuperFlow SF-110/120FC Virtauspöytäkirja</b>		Testipvm:	08.03.11	Testi:	1
Testattava kansi:	Opel C20NE	Omistaja:	Ylitalo	Testaaja:	Ylitalo
Kannen versio:	Muotoillut kanavat+palotilat	Palotilan muoto	M	M=Muut, K=Kiila	

Sylinterin halkaisija:	86,0 mm	Iskun pituus:	86,0 mm	Sylinterien lkm:	4
Tilavuus / sylinteri	30,5 in3	Sylinteri tilavuus:	122 in3		

Testin asetukset					
	Halkaisija	Varsi	Noston lisäys	Venttiilin nettoala	Venttiilit
Imuventtiili	41,8 mm	7 mm	2,090 mm	2,066 in2	1
Pakovenntiili	37 mm	7 mm	1,850 mm	1,606 in2	1

Virtausalue	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ylätulpat	1	2	1+2	1+3	1+2+3	1+3+4	1+2+3+4	1+2+3+5	1+2+3+4+5
Korjattu alue (imu)	9,3	18,0	29,0	39,4	58,3	81,8	102,4	138,0	182,5
Korjattu alue (pako)	9,3	18,2	30,7	41,6	61,5	86,3	105,8	138,2	183,8

Imupuolen testaustiedot									
1 Testin numero	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2 Testipaine "	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3 Venttiilin nosto (oletus)	2,09	4,18	6,27	8,36	10,45	12,54	14,00	16,72	18,81
Venttiilin nosto (oma mm)	2,09	4,18	6,27	8,36	10,45	12,54	14,00		
4 Virtausalue	4	6	7	8	8	9			
Virtausalueen arvo	39,4	81,8	102,4	138,0	138,0	138,0	182,5	0,0	0,0
5 Mitattu virtaus	24,2	49,4	71,0	85,7	91,5	98,2	100,8		
6 Testivirtaus cfm/in2	11,7	23,9	34,4	41,5	44,3	47,5	48,8	0,0	0,0
7 Optimaalinen virtaus	16,0	29,9	41,5	50,7	57,6	62,1	63,5	63,9	63,9
8 % Optimaalisesta	73,2 %	80,0 %	82,8 %	81,8 %	76,9 %	76,5 %	76,8 %	0,0 %	0,0 %
9 L/D suhde	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,33	0,40	0,45
10 Purkautumiskerroin Cd	0,13	0,27	0,39	0,48	0,51	0,55	0,56	0,00	0,00

Keskiarvo virtaus: 74,4 Maksimi virtaus: 100,8 cfm

Pakupuolen testaustiedot									
1 Testin numero	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2 Testipaine	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3 Venttiilin nosto (oletus)	1,85	3,65	5,48	7,30	9,13	10,95	12,78	14,80	16,65
Venttiilin nosto (oma mm)	1,85	3,65	5,48	7,30	9,13	10,95	12,78		
4 Virtausalue	3	5	6	6	7	7	7		
Virtausalueen arvo	30,7	61,5	86,3	86,3	105,8	105,8	105,8	0,0	0,0
5 Mitattu virtaus	17,1	33,7	43,4	52,8	60,0	66,2	71,1		
6 Testivirtaus cfm/in2	10,6	21,0	27,0	32,9	37,4	41,2	44,3	0,0	0,0
7 Optimaalinen virtaus	16,0	26,8	39,0	48,5	56,0	60,9	64,0	63,9	63,9
8 % Optimaalisesta	66,5 %	78,3 %	69,3 %	67,8 %	66,7 %	67,7 %	69,2 %	0,0 %	0,0 %
9 L/D suhde	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
10 Purkautumiskerroin Cd	0,12	0,24	0,31	0,38	0,43	0,47	0,51	0,00	0,00

Keskiarvo virtaus: 49,2 Maksimi virtaus: 71,1 cfm

Laskennallinen teho / sylinteri:	31,9 kW	43,3 hv	Pako- / imuvirtauksen suhde:	70,54 %
Laskennallinen teho::	127,5 kW	173,4 hv	Parhaan tehon kierrokset:	6614

## LIITE 6. Virtauspöytäkirja imusarjan vaikutus virtaukseen

<b>SuperFlow SF-110/120FC Virtauspöytäkirja</b>		Testipvm:	08.03.11	Testi:	
Testattava kansi:	Opel C20NE	Omistaja:	Ylitalo	Testaaja:	Ylitalo
Kannen versio:	Muotoillut kanavat+imusarja	Palotilan muoto	M	M=Muut, K=Kiila	

Sylinterin halkaisija:	86,0 mm	Iskun pituus:	86,0 mm	Sylinterien lkm:	4
Tilavuus / sylinteri	30,5 in3	Sylinteri tilavuus:	122 in3		

Testin asetukset					
	Halkaisija	Varsi	Noston lisäys	Venttiilin nettoala	Venttiilit
Imuventtiili	41,8 mm	7 mm	2,090 mm	2,066 in2	1
Pakovenntiili	37 mm	7 mm	1,850 mm	1,606 in2	1

Virtausalue	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ylätulpat	1	2	1+2	1+3	1+2+3	1+3+4	1+2+3+4	1+2+3+5	1+2+3+4+5
Korjattu alue (imu)	9,3	18,0	29,0	39,4	58,3	81,8	102,4	138,0	182,5
Korjattu alue (pako)	9,3	18,2	30,7	41,6	61,5	86,3	105,8	138,2	183,8

Imupuolen testaustiedot									
1 Testin numero	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2 Testipaine "	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3 Venttiilin nosto (oletus)	2,09	4,18	6,27	8,36	10,45	12,54	14,63	16,72	18,81
Venttiilin nosto (oma mm)	2,09	4,18	6,27	8,36	10,45	12,54			
4 Virtausalue	4	6	7	8	8	8			
Virtausalueen arvo	39,4	81,8	102,4	138,0	138,0	138,0	0,0	0,0	0,0
5 Mitattu virtaus	21,2	43,7	60,6	71,7	76,3	72,2			
6 Testivirtaus cfm/in2	10,3	21,1	29,3	34,7	36,9	34,9	0,0	0,0	0,0
7 Optimaalinen virtaus	16,0	29,9	41,5	50,7	57,6	62,1	64,2	63,9	63,9
8 % Optimaalisesta	64,1 %	70,7 %	70,7 %	68,4 %	64,1 %	56,3 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
9 L/D suhde	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
10 Purkautumiskerroin Cd	0,12	0,24	0,34	0,40	0,42	0,40	0,00	0,00	0,00

Keskiarvo virtaus: 57,6 Maksimi virtaus: 76,3 cfm

Pakupuolen testaustiedot									
1 Testin numero	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2 Testipaine	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3 Venttiilin nosto (oletus)	1,85	3,65	5,48	7,30	9,13	10,95	12,78	14,80	16,65
Venttiilin nosto (oma mm)	1,85	3,65	5,48	7,30	9,13	10,95	12,78		
4 Virtausalue	3	5	6	6	7	7	7		
Virtausalueen arvo	30,7	61,5	86,3	86,3	105,8	105,8	105,8	0,0	0,0
5 Mitattu virtaus	17,1	33,7	43,4	52,8	60,0	66,2	71,1		
6 Testivirtaus cfm/in2	10,6	21,0	27,0	32,9	37,4	41,2	44,3	0,0	0,0
7 Optimaalinen virtaus	16,0	26,8	39,0	48,5	56,0	60,9	64,0	63,9	63,9
8 % Optimaalisesta	66,5 %	78,3 %	69,3 %	67,8 %	66,7 %	67,7 %	69,2 %	0,0 %	0,0 %
9 L/D suhde	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
10 Purkautumiskerroin Cd	0,12	0,24	0,31	0,38	0,43	0,47	0,51	0,00	0,00

Keskiarvo virtaus: 49,2 Maksimi virtaus: 71,1 cfm

Laskennallinen teho / sylinteri:	24,1 kW	32,8 hv	Pako- / imuvirtauksen suhde:	93,18 %
Laskennallinen teho::	96,5 kW	131,2 hv	Parhaan tehon kierrokset:	5006

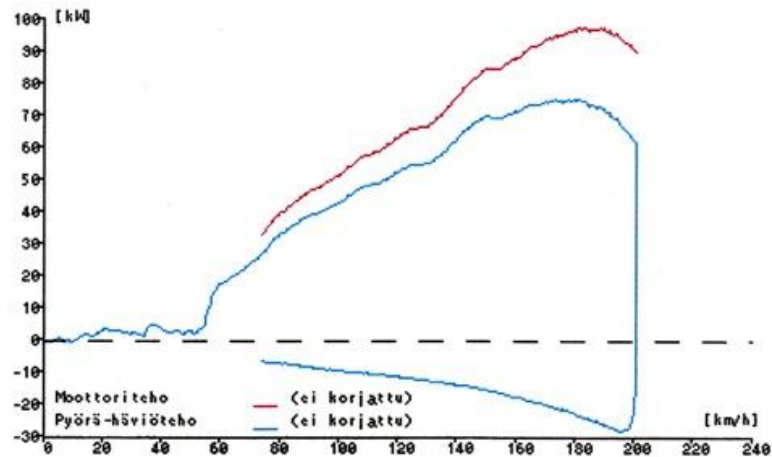
## LIITE 7. Moottoritehon kuvaaja

FLA - 206 Software-versio 4.1 G

30.03.2011  
 SeAMK / Tekniikka / Autolaboratorio  
 Törnäväntie 26  
 60200 SEINÄJOKI  
 puh 020-1245300

### Moottoriteho

Pnim. = 85 kW	n tod. = 5200 1/min	v max = 200 km/h
Pmoot. = 94.7 kW	bei n = 5220 1/min	v = 172.0 km/h
Ptol. = 11.4 %	Ppyörä = 75.0 kW	Phäviö = 19.7 kW
Pmax = 97.9 kW	bei v = 182.0 km/h	n = 5530 1/min
Ptol. = 15.1 %	Ppyörä = 75.4 kW	Phäviö = 22.5 kW
Lämp. = 11 C	Paine = *** hPa	Ei korjausta
Henkilöauto	Man.vaihteisto	Etuveto
4-taht.toisio		



## LIITE 8. Moottorin vääntömomenttikuvaaja

FLA - 206 Software-versio 4.1 G

30.03.2011  
 SeAMK / Tekniikka / Autolaboratorio  
 Törnäväntie 26  
 60200 SEINÄJOKI  
 puh 020-1245300

### Vääntömomentti

Mmax = 177.7 Nm	bei n = 4550 1/min	v = 150.0 km/h
Pnim. = 85 kW	n tod. = 5200 1/min	v max = 200 km/h
Pmoot. = 94.7 kW	bei n = 5220 1/min	v = 172.0 km/h
Ptol. = 11.4 %	Ppyörä = 75.0 kW	Phäviö = 19.7 kW
Pmax = 97.9 kW	bei v = 182.0 km/h	n = 5530 1/min
Ptol. = 15.1 %	Ppyörä = 75.4 kW	Phäviö = 22.5 kW
Lämp. = 11 C	Paine = *** hPa	Ei korjausta
Henkilöauto	Man.vaihteisto	Etuveto
4-taht.toisio		

