

Esa Pietikäinen

MOOTTORIN
KÄYTTÖOMINAISUUKSIEN JA
HYÖTYSUHTEEN
PARANTAMINEN

Kohdeautona Lada 1700i -96

Opinnäytetyö
Auto- ja kuljetustekniikka


Tammikuu 2011




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>	Opinnäytetyön päivämäärä		
Tekijä(t) Esa Pietikäinen	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Auto- ja kuljetustekniikka		
Nimeke Moottorin käyttöominaisuuksien ja hyötysuhteen parantaminen			
Tiivistelmä <p>Työn tarkoituksena oli tutkia moottorin virittämistä harvemmin nähdystä näkökulmasta, jossa viritys toteutettiin hyötysuhteen ja käyttöominaisuuksien parantamiseksi sekä päästöjen pienentämiseksi. Työn kohteena oli Lada 1700i -henkilöauto, johon tehtiin muutosten suunnittelu ja toteutus sekä muutosten jälkeiset mittaukset.</p> <p>Aluksi selvitettiin muutosten lain vaatimukset ja päästöjen teoriaa. Tämän jälkeen laadittiin tarkka toteutussuunnitelma muutoksille. Muutokset toteutettiin kahdessa vaiheessa siten, että ensin tehtiin moottorin sisäiset muutokset ja tutkittiin niiden vaikutukset suorituskykyyn sekä kulutukseen. Tämän jälkeen toteutettiin muutokset moottorin ruiskutuslaitteistoon ja moottoriin asennettiin mekaaninen ahdin. Tämän jälkeen suoritettiin lopulliset mittaukset.</p> <p>Mittaustulosten perusteella työlle asetetut tavoitteet täyttyivät hyvin. Polttoaineen kulutus laski huomattavasti ja moottorin suorituskyky lisääntyi merkittävästi. Työn edetessä kuitenkin löytyi myös lisää kehitettävää, jota ei opinnäytetyön puitteissa voitu suorittaa.</p>			
Asiasanat (avainsanat) Autotekniikka, ahdinmoottorit, pakokaasut, hyötysuhde			
Sivumäärä 53+2	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Kieli Suomi</td> <td style="width: 50%;">URN</td> </tr> </table>	Kieli Suomi	URN
Kieli Suomi	URN		
Huomautus (huomautukset liitteistä)			
Ohjaavan opettajan nimi Juhani Martikainen	Opinnäytetyön toimeksiantaja		

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the master's thesis	
Author(s)		Degree programme and option	
Esa Pietikäinen		Automotive and Transport Engineering	
Name of the master's thesis			
Engine tuning to improve efficiency and features of use			
Abstract			
<p>The purpose of this thesis was to study the possibilities of engine tuning from an unusual point of view. The object of tuning was to improve car performance and fuel economy not forgetting to reduce emissions. Target vehicle of modifications was Lada 1700i , which was already a low emission vehicle.</p> <p>First the legal possibilities of modifications and theory of emission formation were discussed. Then a detailed plan of modifications was drawn up. The modifications were made in two stages. First inside modifications to the engine were made and the results of the changes were measured. Then was the modification on fuel injection was made and a supercharger was assembled. Then ultimate measurements of performance, emissions and fuel consumption were made.</p> <p>The result of the measurements shows, that the goal was reached successfully. Decreases in fuel consumption and emission were significant. Also increase in performance of engine was great. There also appeared some other needs for development during the measurements that could be developed.</p>			
Subject headings, (keywords)			
Automotive technology, supercharging, exhaust emission, efficiency			
Pages	Language	URN	
53+2	Finnish		
Remarks, notes on appendices			
Tutor		Master's thesis assigned by	
Juhani Martikainen			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	KOHDEAUTO LADA 2107 1700.....	2
3	TYÖN TAVOITTEET JA LAIN VAATIMUKSET	4
3.1	Lain vaatimukset.....	4
3.2	Tavoitteet projektille.....	5
4	PÄÄSTÖT OTTOMOOTTORISSA.....	7
4.1	Seossuhde	8
4.2	Palotapahtuman hallinta ja seoksen muodostus.....	10
4.3	Pakokaasujen jälkikäsittely kolmitoimikatalyysaattorilla	11
4.4	Muiden päästöjen vähentäminen	12
5	MOOTTORIN SISÄISTEN MUUTOSTEN KARTOITUS JA TOTEUTUS	13
5.1	Moottorin sisäiset muutokset.....	14
5.1.1	Sylinterikansi ja venttiilit.....	14
5.1.2	Sylinteriryhmä.....	17
5.1.3	Palotilat ja puristussuhde	19
5.1.4	Voitelujärjestelmä.....	23
5.1.5	Muut muutokset	25
5.2	Muutosten vaikutukset.....	28
6	MOOTTORIN APULAITTEIDEN MUUTOKSET.....	30
6.1	Muutosten suunnittelu ja osien valinta	30
6.1.1	Ruiskutuslaitteisto ja moottorinohjaus.....	30
6.1.2	Ahtolaitteisto.....	33
6.1.3	Polttoainejärjestelmä.....	35
6.1.4	Päästöjen puhdistus	37
6.1.5	Jäähdytysjärjestelmä	39
6.1.6	Muut moottorin apulaitteet	40
6.2	Muutosten toteutus.....	41
6.3	Ruiskun ohjelmointi ja moottorin säätäminen.....	45
7	MITTAUKSET JA TULOKSET	46
8	TULOSTEN ANALYSOINTI.....	48

9	POHDINTA	51
	LÄHTEET.....	53
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Tänä päivänä ajoneuvojen päästöt ovat paljon puhuttu aihe lisääntyneen ympäristöajattelun johdosta. Viimeisen 20 vuoden aikana ajoneuvojen päästöt ovat pudonneet huomasti katalysaattorin ja lisääntyneen elektroniikan käytön ansiosta. Lähivuosina etenkin moottorien hiilidioksidipäästöjen määrä eli moottorin hyötysuhde on noussut keskeisimmäksi aihealueeksi päästöistä puhuttaessa. Tähän on syynä huoli fossiilisten polttoaineiden riittävyydestä tulevaisuudessa ja hiilidioksidin aiheuttama kasvihuoneilmiö.

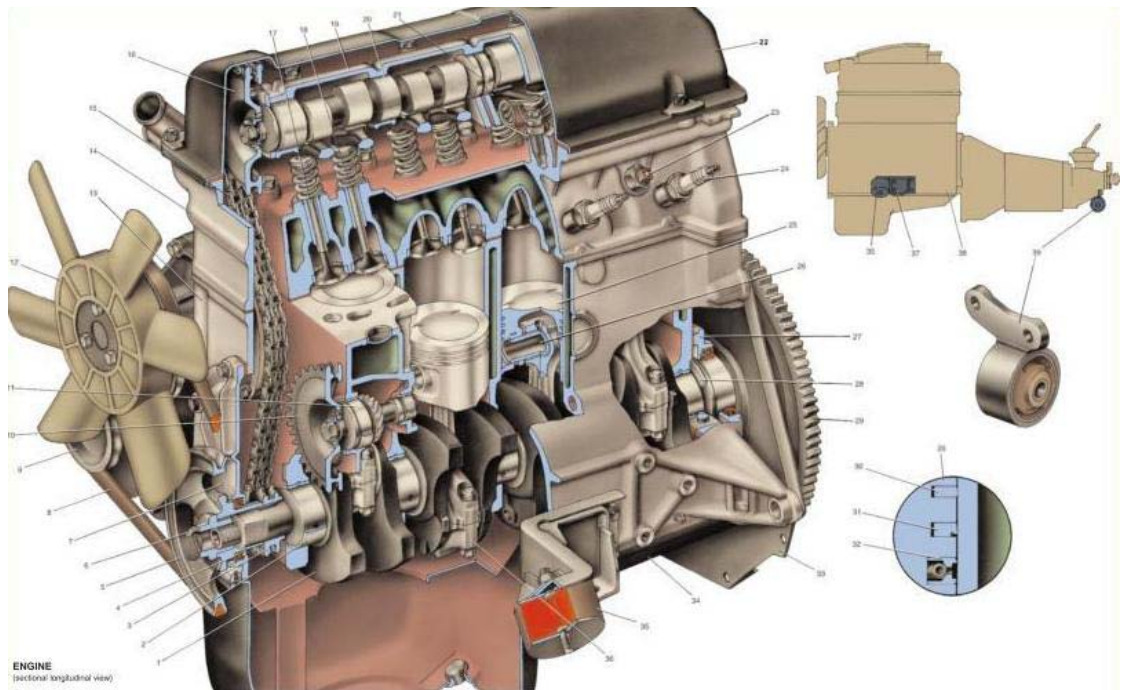
Opinnäytetyössäni haluan perehtyä moottorin virittämiseen uudesta näkökulmasta, jonka tavoitteena on moottorin käyttöominaisuuksien parantamisen lisäksi parempi hyötysuhde ja pienemmät päästöt. Työn kohteena on Lada 1700i -henkilöauto, johon suunnittelen tarvittavat muutokset, toteutan ne ja tutkin niiden vaikutusta käytännössä. Työn kohteena oleva auto on entinen käyttöautoni ja tämän takia autosta on paljon aikaisempaa kokemusta. Käyttökokemukset autosta ovat osoittaneet, että polttoaineen kulutus suorituskykyyn ja auton kokoon nähden on aivan liian suuri. Vanhasta konstruktiosta johtuen myös moottorin huollontarve on suurempi, kuin mitä nykyaikaisissa moottoreissa.

Moottorin toiminnan parantamiseksi siihen tehdään sisäisiä muutoksia sekä ruiskutus- ja polttoainejärjestelmä toteutetaan lähes kaikilta osin uudelleen. Moottoriin asennetaan suorituskyvyn lisäämiseksi myös mekaaninen ahdin. Lisäksi moottorin vaatima huollon tarve pyritään minimoimaan käyttämällä moottorissa enemmän nykyaikaisia ratkaisuja sen rakenteessa.

Työni tarkoituksena on pääasiassa tarkastella moottorin ja ruiskutuslaitteiston muutosten vaikutusta lähtötilanteeseen empiiristen tutkimusten pohjalta. Tämän toteutan kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa tutkitaan ainoastaan moottorin mekaanisten muutosten vaikutusta toimintaan ja kulutukseen auton alkuperäisellä polttoainejärjestelmällä ja apulaitteilla. Tämän jälkeen moottoriin asennetaan uusi polttoainejärjestelmä apulaitteineen sekä mekaaninen ahdin. Näiden lopullisten muutosten vaikutus kulutukseen ja moottorin toimintaan tutkitaan tarkemmin. Moottorin tehon ja väännön muutokset alkuperäiseen verrattuna mitataan dynamometrissä auton takapyöriltä. Samassa yhteydessä mitataan myös päästöt pakokaasuanalyysaattorilla.

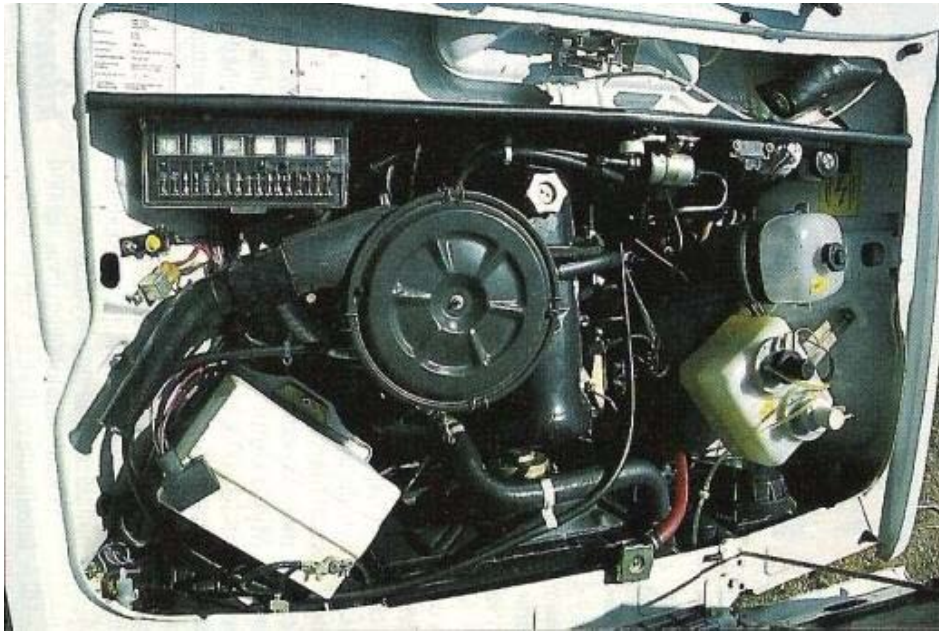
2 KOHDEAUTO LADA 2107 1700

Kohdeautoksi valittu Lada 2107 1700i vuosimallia 1996 edustaa takavetoisen Ladan viimeistä malliversiota, jota on tuotu Suomeen. Sen moottori, tyyppi 21073 (kuva 1), kuuluu samaan moottoriperheeseen kuin muutkin takavetoisien Ladojen moottorit. Samaa moottoriperheeseen kuuluu moottoreita kokoluokassa 1,2 – 1,8 litraa, ja ne eroavat toisistaan lähinnä sylinterin porauksen ja iskunpituuden suhteen. Moottoreiden perussuunnittelu onkin jo 1960-luvulta lähtöisin. Vaikka moottori on melko vanhaa suunnittelua, niin uusimmissa, tällä hetkellä tuotannossa olevissa moottoreissa, on eroa vanhaan oikeastaan vain venttiilikoneiston ja jakopään suhteen. Moottorityyppi 21073 on perusrakenteeltaan hyvin tyypillinen 70-luvun tuote. Se on 4-sylinterinen rivimoottori, jonka nokka-akseli sijaitsee sylinterikannessa (kuva1). /1./



KUVA 1. Moottorin rakenne /2, s.3/

Kohdeauton moottori eroaa vanhemmista moottoreista polttoainejärjestelmän ja sytytyksen osalta. Sen polttoaineen syöttö on varustettu EFI-4 tyyppisellä elektronisella TBI-yksipisteruiskutuksella, jonka valmistaja on GM. Tämä moottorinohjausjärjestelmä ohjaa myös sytytystä hukkakipinäpuolan kautta. Järjestelmään kuuluu lisäksi kampikammiokaasujen puhdistus ja polttoainehöyryjen talteenottojärjestelmä. Pakokaasujen puhdistusjärjestelmä koostuu katalysaattorista ja happitunnistimesta. Näillä eväillä auto on saatu täyttämään sen hetkiset käytössä olleet US-83 päästönormit. Kuvasta 2 nähdään alkuperäisen ruiskutuslaitteiston osien sijoittelu konehuoneeseen. /3./



KUVA 2. Osien sijoittelu alkuperäisessä konehuoneessa

Omakohtaisia kokemuksia Lada 1700i -autoista löytyy useammastakin yksilöstä. Eroja eri yksilöiden välillä ei juuri ole esiintynyt kulutuksessa tai suorituskyvystä. Lisäksi olen haastatellut muita samanlaisilla autoilla ajavia ja kulutuslukemat ovat hyvin vertailukelpoisia omien tuloksieni kanssa. Suoritusarvot ja kulutus ovat hyvin lähellä myös autosta ilmoitettuja arvoja (taulukko 1).

TAULUKKO 1. Tekniset tiedot /3/

Sylinteritilavuus	1690 cm ³
Sylinterin halkaisija x iskunpituus mm	82 mm x 80 mm
Puristussuhde	9,3
Teho max. (5400 rpm)	62 kW / 84 hv
Vääntömomentti max. (3200) rpm	137 Nm
Huippunopeus (mitattu 4. vaihteella)	155 km/h
Teor. huippunopeus 5. vaihteella	≈ 190 km/h
Kiihtyvyys 0 – 100 km/h	13 s
Kulutus:	
90 km/h	6,9 l
120 km/h	9,5 l
kaupunki	9,5 l

Opinnäytetyön kohteena olevalla autolla olen ajanut n. 70000 km vuosien 2002 ja 2010 välillä ja tältä ajalta olen pitänyt tarkkaa päiväkirjaa kulutuksesta. Pienin kesällä mitattu maantiekulutus on ollut 6,5 l/100km, mutta siihen pääseminen on vaatinut todella kevyttä kaasujalkaa ja optimaalisia olosuhteita. Kesäisin maantieajoon painottuva keskikulutus on ollut noin 7,5 l/100km. Kaupunkiajoon painottuvassa sekalaisessa ajossa on kulutus ollut jopa yli 10 l/100km. Talvisin kulutus on yleensä noussut noin 1 l/100km. Kulutuslukemissa ei ole huomioitu matkamittarin virhettä ja tankattu polttoainemäärä on luettu huoltoasemien mittareista, joten aivan tarkkoja mitatut kulutuslukemat eivät tietenkään voi olla. Kuitenkin ne ovat riittävän tarkkoja vertailupohjaksi muutosten jälkeiseen tulosten analysointiin.

3 TYÖN TAVOITTEET JA LAIN VAATIMUKSET

Ensimmäinen tehtävä projektin suunnittelussa oli selvittää lain vaatimukset muutoksille. Tavoitteena oli, että auto on muutosten jälkeen muutoskatsastettavissa yleiseen tieliikenteeseen. Tästä syystä moottorin ja apulaitteiden muutosten täytyy olla lain mukaisesti toteutettu. Myös päästönormeihin liittyvät seikat oli tarkoin selvitettävä, jotta lopputulos on näiltäkin osin lain mukainen. Näiden pohjalta oli helppoa laatia tavoitteet projektille ja tehdä suunnitelmat muutosten suhteen.

3.1 Lain vaatimukset

Lain mukaan ahtimen ja välijäähdyttimen jälkiasennus on aina verrannollinen moottorin vaihtoon ja näin ollen vaatii muutoskatsastuksen. Tästä johtuen moottoria koskevat muutokset määrittelee laki vertailumoottorin käyttämisestä. Lain mukaan autoon saa asentaa sellaisen alkuperäistä moottoria painavamman, tehokkaamman tai iskutilavuudeltaan suuremman moottorin, jonka valmistaja on tarkoittanut käytettävän samassa mallisarjassa, yleiseen tieliikenteeseen tarkoitettussa mallissa./4./

Tässä tapauksessa vertailumoottoriksi käy Ladan 2107 -mallisarjassa käytetty moottori tyyppi VAZ-4132. Sitä on käytetty Ladan versiossa 21079, joka konetta lukuun ottamatta on rakenteeltaan yhtenevä muiden saman mallisarjan autojen kanssa. Tämä vertailumoottoriksi kelpaava moottori on tyypiltään 2-kammioinen wankel-moottori, ja siinä on tehoa 103 kW / 140 hv /5/. Tämän moottorin perusteella saadaan laskettua maksimiteho, joka autossa saa olla muutoskatsastettaessa. Lain mukaan teho saa ylitt-

tää 20 % mallisarjan tehokkainta versiota /4/. Tässä tapauksessa maksimitehoksi tulee 123,6 kW / 168 hv. Moottorin iskuilavuuden muutos saa olla suurimpaan mallisarjan moottoriin verrattuna 25 % suurempi /4/, joten alun perin 1,7 litran moottorilla varustetun Ladan suurin iskuilavuus on lain mukaan 2,1125 litraa.

Työn haastavuutta lisäsi myös se, että kohdeauto on jo alun perin vähäpäästöinen. Tämä tarkoittaa, että lain mukaan polttoainejärjestelmään eikä moottoriin saa tehdä mitään muutoksia ilman todistusta päästötason täyttymisestä muutoksen jälkeen. Käytännössä tämä tarkoittaa, että suihkutussuhteiden muutosten ja ahtimen asennuksen jälkeen auto on käytettävä puolueettomalla tutkimuslaitoksella päästömittauksessa ja auton on täytettävä sen ensimmäisenä käyttöönottoajankohtana Suomessa käytössä olleet päästönormit (taulukko 2). Tämä tarkoittaa, että auton tulee muutosten jälkeen täyttää euro-1 -päästönormi tai US-83 -päästönormi, jolle automalli on alun perinkin testattu tyyppi hyväksyntää varten. /4./

TAULUKKO 2. Päästöjen raja-arvot /6/

Uusien bensiinautojen päästöarvot						
	voimassa alk.	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	HC+NOx (g/km)	PM
Euro I	12/92	2,72	-	-	0,97	-
Euro II	01/97	2,20	-	-	0,5	-
Euro III	01/00	2,30	0,20	0,15	-	-
Euro IV	01/05	1,00	0,10	0,08	-	-
Euro V	09/09	1,00	0,10	0,06	-	0,005*
Euro VI	08/14	1,00	0,10	0,06	-	0,005*

* suoraruiskutus

3.2 Tavoitteet projektille

Moottorin virittäminen on aina kompromissi eri tavoitteiden suhteen. Oma tavoitteeni oli saada moottorista vakio moottoria tehokkaampi ja tämän lisäksi hyötysuhteeltaan parempi. Tärkeä tavoite oli myös, että moottorista tulee kestävä, luotettava sekä helpokäyttöinen. Tarkoituksena ei ollut hakea kilpa-automaista suorituskykyä vaan parantaa moottorin käytettävyyttä normaalissa ajossa. Lisäksi tavoitteena oli, että käytän mahdollisimman paljon uudempien moottoriversioiden osia, joilla huoltokohteita saadaan vähennettyä.

Tavoitteiden saavuttamiseksi päätin tehdä moottorista suhteellisen matalaviritteisen. Matalan viritysasteen tärkeimpänä etuna on se, että moottorin voi kasata käyttäen va-

kio-osia ja siitä huolimatta sen kestävyys ei huonone merkittävästi. Kalliita erikoisosia käyttäen moottoria olisi ollut mahdollisuus virittää enemmän, mutta moottorin hintakin olisi noussut huomattavasti. Matala viritysstaste on parempi myös auton käyttöominaisuuksia ajatellen, koska autosta oli alun perinkin tarkoitus tehdä mukava ja helppo käyttää.

Moottoritehon tavoitteeksi asetin melko matalan 140 hevosvoimaa, joka on sama kuin tehtaan tehokkain mallisarjan versio. Tehoa tärkeämmäksi tavoitteeksi otin vääntömomentin kasvattamisen ja etenkin sen, että käyttökelpoista vääntöä löytyy normaaliarjossa käytetyllä kierroslukualueella. Tavoitteena oli saada vääntö mahdollisimman korkeaksi jo pienillä moottorin pyörintänopeuksilla, koska tämä lisää parhaiten käytännön suorituskykyä ja ennen kaikkea auton käyttömukavuutta. Tästä johtuen päätin varustaa auton mekaanisella ahtimella pakokaasuahdinten sijaan, vaikka pakokaasuahdinten olisikin ollut moottorin hyötysuhteen ja polttoainetalouden kannalta parempi vaihtoehto. Mielestäni mekaaninen ahdin on tästä huolimatta huomattavasti parempi kompromissi käyttöominaisuuksien ja turvallisten ajo-ominaisuuksien suhteen, koska mekaanisen ahtimen tuoma lisäteho on paremmin hallittavissa sen nöyrän luonteen vuoksi. Ahtopaineen tavoitteeksi otin melko matalan 0,5 bar.

Polttoaineen kulutuksen pienentäminen on moottoria viritettäessä hankalaa ja useimmiten se onkin toisarvoinen seikka. Tavoitteeksi projektiini otin, että polttoaineen kulutus putoaisi normaalissa tieliikenteessä ajaessa eli toisin sanoen tavallisessa käytössä. Moottorin koko voimareservin käyttäminen esimerkiksi rata-ajossa suljetulla alueella nostaa tehokkaammalla moottorilla kulutuksen tietenkin korkeammaksi kuin vakio autossa vastaavassa ajossa. Tällä ei kuitenkaan ole auton normaalikäyttöä ajatellen mitään merkitystä, joten tästä syystä kulutusta on tarkkailtu ainoastaan tieliikenteessä ajaen. Tarkkaa prosentuaalista tavoitetta kulutuksen pienentämiseen en osannut asettaa, mutta karkeasti tavoitteena oli, että keskikulutus putoaisi ainakin 1 l/100 km.

Päästöjen osalta tavoitteena oli rakentaa auto täyttämään euro-2 -päästötasoa. Tämä päästötasoa on vaatimuksiltaan tiukempi kuin US-83 -normi, jolle auto alun perin on hyväksytty. Vaatimuksiltaan alkuperäinen US-83 vastaa lähinnä euro-1 -päästöluokkaa. Tulosten vertaaminen alkuperäiseen päästöluokkaan kertoo paljon siitä, kuinka hyvin päästöjen pienentäminen on onnistunut. Tiukempiin euro-normeihin vertaaminen ei kuitenkaan ole mahdollista, koska euro-2 -normin mukaisen mittauk-

sen suoritus poikkeaa niistä monilta osin. Opinnäytetyön aikataulun puitteissa autoa ei voitu viedä kyseiseen mittaukseen, koska mittauksia varten välttämätön ruiskutusjärjestelmän hienosäätö vie todella paljon aikaa ja vaatii säätöä ja mittauksia myös kesäolosuhteissa. Päästöjen muutoksen arvioiminen opinnäytetyön puitteissa tapahtuikin ainoastaan pakokaasuanalysaattorin avulla alustadynamometrissä ja näitä tuloksia verrattiin alkuperäiseen moottoriin.

4 PÄÄSTÖT OTTOMOOTTORISSA

Autossa syntyy ympäristölle haitallisia päästöjä lähinnä kahdella tapaa. Osa päästöistä syntyy polttoaineen ja voiteluaineiden haihtumisen kautta. Nämä päästöt ovat lähinnä hiilivetyjä, ja niiden osuus auton kokonaispäästöistä on nykyisin melko pieni. Suurin osa auton aiheuttamista päästöistä syntyy moottorissa tapahtuvan polttoaineen palamisen seurauksena. Näistä suurin osa menee suoraan pakoputkistoon, mutta osa joutuu ohipuhalluksen takia moottorin öljytilaan.

TAULUKKO 3. Pakokaasujen pääkomponentit /7, s.602/

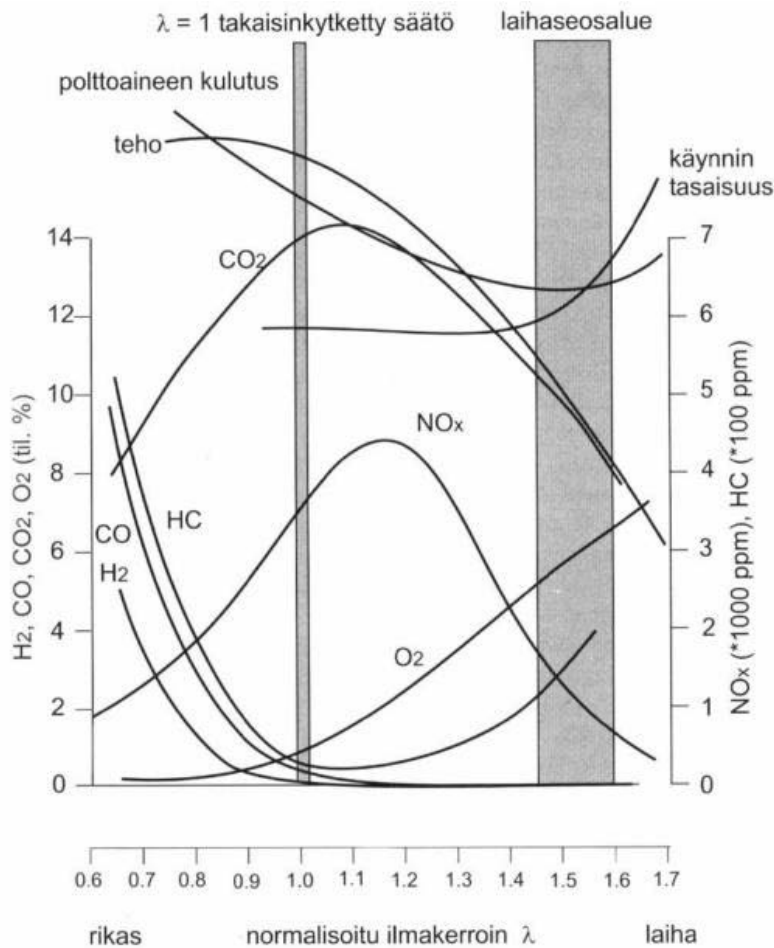
Vaarattomat aineet:	Haitalliset aineet:
Happi O ₂	Hiilivedyt HC
Typpi N ₂	Hiilimonoksidi (häkä) CO
Hiilidioksidi CO ₂	Typen oksidit NO _x (NO + NO ₂)
Vesi H ₂ O	Nokihukkaset C
Vety H ₂	Aldehydit C _n H _m · CHO

Polttoaineen palaminen ihanne olosuhteissa tuottaa ainoastaan vettä ja hiilidioksidia. Tämä edellyttää, että polttoaine on täysin puhdasta hiilivetyä ja sen polttaminen tapahtuu täydellisesti puhtaan hapen kanssa. Auton moottorissa tämä ei tietenkään ole mahdollista, koska polttoaine ei ole täysin puhdasta ja palaminen tapahtuu ilman kanssa. Itse palamistapahtumakaan ei ole täydellinen, vaan aina tapahtuu epätäydellistä palamista. Taulukossa 3 on eriteltynä tyypillisimmät pakokaasujen sisältämät aineet. Näiden lisäksi pakokaasun sisältämistä aineista muodostuu muitakin yhdisteitä. Esimerkiksi veden kanssa reaktiot synnyttävät happoja, kuten hiilihappoa ja typpihappoa. Pakokaasut voivat sisältää myös rikkiyhdisteitä, kuten rikkioksidia ja siitä veden kanssa muodostuvaa rikkihappoa. Rikkiyhdisteiden synty riippuu käytetyn polttoaineen

puhtaudesta ja nykyisin rikkipäästöjen osuus on todella pieni polttoaineen puhtauden ansiosta. /7, s.602./

4.1 Seossuhde

Ottomoottoreissa, joissa käytetään imukanavaruisikutusta, pyritään palamisen kannalta optimaaliseen seossuhteeseen, jota kuvataan lambda-arvolla 1. Tällaista seossuhdetta kutsutaan stökiometriseksi seossuhteeksi, jolloin yhtä polttoaine kilogrammaa kohti poltetaan 14,7 kg ilmaa. Tilavuudessa mitattuna tämä tarkoittaa, että yhtä polttoaine litraa kohti poltetaan 9500 litraa ilmaa. Pakokaasujen jälkikäsittelynkin kannalta on stökiometrisen seossuhteen käyttö tärkeää, koska 3-toimikatalysaattori vaatii hyvin kapean seossuhteen toimiakseen kunnolla. Katalysaattorin kannalta optimaalinen seossuhde eli niin sanottu katalysaattori-ikkuna saavutetaan kun $\lambda = 1 \pm 0,005$. Kuvas- ta 3 käy ilmi seossuhteen vaikutus päästöihin (ennen katalysaattoria) ja moottorin toi- mintaan. Lambdan arvolla ≈ 1 moottori tuottaa parhaan tehon suhteessa päästöihin, mutta huipputeho saavutetaan hieman rikkaammalla seoksella eli $\lambda < 1$. Tämän takia huipputehoa tarvittaessa seosta säädetään rikkaammalle. Päästöjen kannalta rikas seos nostaa hiukan CO- ja HC-päästöjä, mutta toisaalta laskee palamislämpötilaa ja näin ollen vähentää NO_x-päästöjä. Seoksen rikastaminen vähentää myös pakoventtiilien, pakosarjan ja katalysaattorin termistä kuormitusta sekä pienentää nakutusvaaraa. Lai- halle ($\lambda > 1$) mentäessä polttoaineen kulutus, HC- ja CO-päästöt putoavat, mutta NO_x-päästöt nousevat jyrkästi. Typen oksideja syntyykin eniten suurella happiylijää- mällä ja korkeissa palolämpötiloissa. Laihaseosalueen käyttäminen moottorissa vaatii erityiskeinoja NO_x-päästöjen alentamiseksi. Lisäksi laihaseosalueella seoksen muo- dostus ja sytytys vaatii erilaisia keinoja kuin normaalissa stökiometrisellä seossuhteel- la toimivissa moottoreissa. Omassa projektissani laihaseosalueen käyttäminen ei ollut mahdollista, joten käsittelen työssäni ainoastaan stökiometrisellä seoksella toimivaa moottoria. /7, s.562–569./



KUVA 3. Pakokaasujen pitoisuuksien suhde seossuhteeseen /8, s.167/

Stökiometrisen seossuhteen aikaansaamiseksi moottorin pakokaasujen jäännöshapen määrää mitataan pakoputkistoon ennen katalysaattoria sijoitetulla lambda-anturilla eli happianturilla. Happianturin signaalin perusteella ruiskutus säädetään optimaaliseksi niin, että seos pysyy parhaana mahdollisena moottorin koko käyntialueella. Stökiometristä seosta käytävissä moottoreissa käytetään yleensä zirkoniumoksidi-antureita, eli niin sanottuja kapeakaista-antureita, jotka mittaavat jäännöshapen määrän tarkasti vain aivan seossuhteen lambda-arvon 1 tuntumassa. Näillä antureilla seoksen säätö tapahtuu niin sanotulla kaksipistesäädöllä, jota voidaan tarkentaa katalysaattorin jälkeisellä lambda-anturilla. Tätä kaksipistesäätöä tarkempi säätö on mahdollista toteuttaa käyttämällä happianturina niin sanottua laajakaista-anturia, joka mittaa seoksen todellista muutosta lambda arvosta 1. Laajakaista-anturilla voidaan toteuttaa portaaton seoksen säätö, joka on huomattavasti tarkempi ja nopeampi muutoksen suhteen kuin perinteinen kapeakaista-anturilla toteutettu kaksipistesäätö. /7, s.566–569./

4.2 Palotapahtuman hallinta ja seoksen muodostus

Tarkan seoksensäädön hyödyn edellytyksenä on se, että moottorin seoksen muodostus ja palotapahtuma on hyvin hallittu. Hyvän seoksen muodostuksen tärkein vaatimus on se, että polttoaineen ja ilman seos jaetaan kaikkiin sylintereihin tasaisesti. Tämä onnistuu imusarjaruiskutteisessa moottorissa ainoastaan käyttämällä monipisteruiskutusta, jossa jokaiselle sylinterille on oma ruiskutuslaitteisto. Myös imusarjan muotoilulla on merkitystä, jotta jokainen sylinteri saa jokaisessa käyttötilanteessa yhtä paljon ilmaa ja seos saadaan jokaiseen sylinteriin samanlaiseksi. Lisäksi hyvän imusarjan tulisi osaltaan auttaa seoksen muodostuksessa lisäämällä ilman pyörteilyä, jolloin polttoaine sekoittuu ilmaan paremmin jo ennen kuin se menee sylinteriin. Pakosarjankaan merkitystä seoksen muodostukseen ei pidä unohtaa, sillä sen virtausominaisuudet ja mitoitukset vaikuttavat paljon sylinterien seoksen muodostukseen. Pakosarjaan pätee sama vaatimus kuin imusarjaankin, sen kuuluu hengittää samalla tavalla jokaisen sylinterin osalta. /7, s.563; 9, s.5-15./

Palotila, joka muodostuu kannessa olevasta tilasta ja männänlaesta, on merkittävässä asemassa vaikuttamassa moottorin toimintaan, polttoaineen kulutukseen ja pakokaasupäästöihin. Kerrossyöttöä käyttäviä moottoreita lukuun ottamatta normaalisti moottoreissa on tavoitteena saada muodostumaan mahdollisimman homogeeninen ja hyvin pyörteilevä seos, koska tämä nopeuttaa ja auttaa seoksen täydellistä palamista. Palotilan muotoilu on tärkeää palorintaman etenemisen kannalta ja sytytystulpan sijainti tulisi olla mahdollisimman keskellä palotilaa. Yleensä etenkin vanhempien sarjatuotantoautojen palotilojen muotoilussa on paljon parantamisen varaa, koska niiden suunnittelu on perustunut pääasiassa valmistuksen helppouteen ja alhaisiin valmistuskustannuksiin. /10, luku 3./

Palotiloihin läheisesti liittyvä tärkeä asia on puristussuhde. Termisen hyötysuhteen kannalta on hyväksi käyttää mahdollisimman suurta puristussuhdetta. Puristussuhteen nostamisen ongelmana on palamislämpötilan huomattava kasvaminen ja tästä johtuen korkeat NO_x-päästöt. Korkea puristussuhde edellyttää myös korkeampioktaanisen polttoaineen käyttöä, jotta nakutusta ei pääse esiintymään. Nakutusherkkyyteen kovilla puristussuhteilla vaikuttaa paljon myös palotilan muotoilu. /7, s.563; 10, luku 4./

Korkeaa puristussuhdetta voidaan nykyisin käyttää, kun halutaan hyödyntää sen avulla saavutettava hyvä terminen hyötysuhde moottorin kevyellä kuormituksella. Tämä kuitenkin edellyttää pakokaasujen takaisinkierätyksen eli EGR-järjestelmän käyttöä suuremmalla kuormituksella, jotta palamislämpötilaa saadaan pudotettua. Yleinen käytössä oleva tapa on käyttää pakosarjassa olevaa EGR-venttiiliä kierrättämään osa pakokaasuista takaisin imusarjaan. Venttiiliä ohjataan yleensä alipaineella, ja sitä avataan tarvittaessa tietyillä moottorin arvoilla, käytännössä kovalla kuormituksella. Nykyisin pakokaasujen takaisinkierätys on yhä useammin toteutettu muuttuvan venttiilien ajoituksen avulla, jolloin puhutaan niin sanotusta sisäisestä takaisinkierätyksestä. /7, s.563./

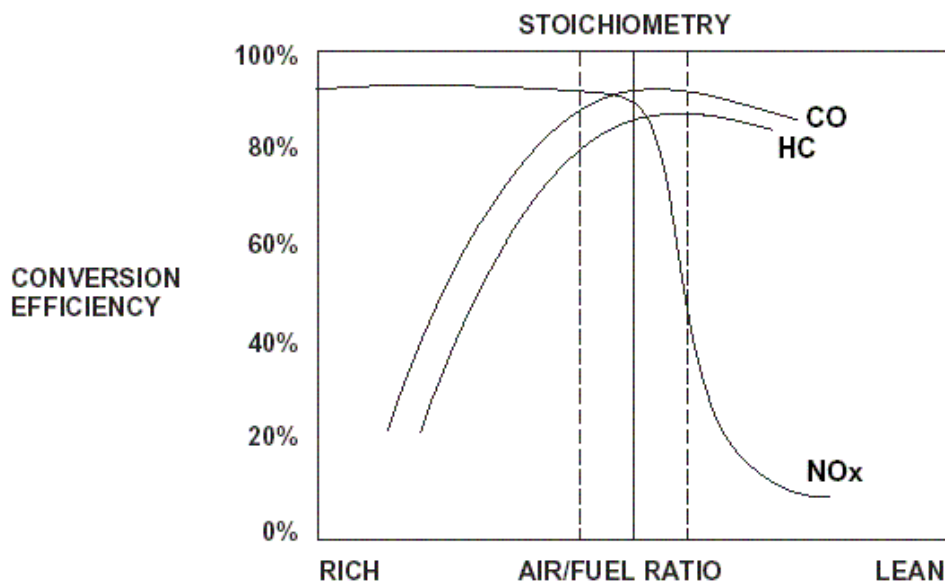
Sytytysjärjestelmän osuus päästöjen vähentämiseen on huomattava, koska sytytysjärjestelmä loppukädessä määrää seoksen syttymisen ja sen oikean hetken. Nykyisin yhä yleisesti käytössä oleva sytytysjärjestelmä on niin sanotulla hukkakipinäpuolalla toteutettu sytytys. Hukkakipinäpuolassa on kahta sylinteriä kohti yksi sytytyspuola, joka antaa kipinän jokaisella moottorin täydellä pyörähdyksellä. Tätä ohjataan yleensä moottorin ohjainlaitteen kautta, jolloin sytytysketkeä voidaan muuttaa tarkasti moottorin eri kuormituksella ja pyörimisnopeudella. Tällainen suorasytytysjärjestelmä mahdollistaa voimakkaan sekä luotettavan kipinän ja mahdollistaa palamisen hyvän hallinnan. /10, luku 8./

4.3 Pakokaasujen jälkikäsittely kolmitoimikatalysaattorilla

Kuten edellä on jo mainittu, oikea seossuhde on myös pakokaasujen jälkikäsittelyn kannalta todella tärkeä. Katalysaattorin käyttäminen pakokaasujen puhdistuksessa on välttämätöntä vähäpäästöisen auton tapauksessa. Kolmitoimikatalysaattorin avulla päästöistä voidaan puhdistaa helposti yli 90 %, nykyaikaisissa tarkasti ohjatuissa moottoreissa puhutaan jopa 98 % puhdistustehosta. Kolmitoimikatalysaattori nimensä mukaisesti puhdistaa pakokaasuista kolmea haitallista pääkomponenttia eli hiilivetyjä, häkää ja typenoksideja. Hapettamalla hiilivedyistä ja hiilimonoksidista tulee hiilidioksidia ja vettä. Pelkistymisen kautta typenoksideista muodostuu typpeä, happea ja hiilidioksidia. /7, s.564–566./

Katalysaattori on yleisesti rakenteeltaan metallikuorinen pakoputkeen sijoitettu läpivirtaava kotelo, jonka sisällä on ulkokuoresta joustavalla aineella eristetty metallinen

tai keraaminen kenno. Kennon pinta on päällystetty huokoisella aineella pinta-alan lisäämiseksi ja pinnoitettu katalyyttisillä aineilla, kuten platinalla, palladiumilla ja rhodiumilla. Reaktioon osallistuva pinta-ala katalysaattorissa on suuruudeltaan jopa 10000 m². Katalysaattori vaatii toimiakseen vähintään 250 °C lämpötilan, joten kylmäkäynnistyksien yhteydessä katalysaattorista ei ole hyötyä. Paras toiminta saavutetaan kun lämpötila on 400 – 800 °C. Katalysaattorin lämpiämistä voidaan nopeuttaa asentamalla se mahdollisimman lähelle pakosarjaa, jotta kuumat pakokaasut lämmitävät sen nopeasti toimintakuntoon. Pakosarjaan asentaminen kuitenkin vaatii moottorilta todella tarkan ruiskutuksen ja sytytyksen ohjauksen, ettei katalysaattori pääse ylikuumentumaan. Katalysaattori kestää jatkuvaa lämpöä noin 900 °C, ja suurin sallittu lämpötila on noin 1000 °C. Tämän takia katalysaattori on useissa tapauksissa asennettu auton alle kauemmas pakoputkistoon, jossa se on viileämmässä paikassa. Tästä huolimatta pakokaasujen lämpötila riittää nostamaan lämpötilan riittäväksi, koska lämmitykseen voidaan käyttää esimerkiksi sytytyksen myöhästämistä. Kuvassa 4 esitellään katalysaattorin puhdistuskyky suhteessa seossuhteeseen. /7, s.564–566./



KUVA 4. Katalysaattorin puhdistuskyky /11/

4.4 Muiden päästöjen vähentäminen

Palamisessa syntyvistä kaasuista osa pääsee ohivuodon takia moottorin kampikammion öljytilaan. Nämä ohivuotokaasut sisältävät melko paljon polttoaineesta peräisin olevia palamattomia hiilivetyjä. Näihin ohivuotokaasuihin sekoittuu lisäksi jonkun verran voiteluaineesta haihtuneita yhdisteitä. Aikaisemmin nämä kampikammion huo-

hotuskaasut ohjattiin suoraan ulkoilmaan, mutta nykyisin ne ohjataan moottorin imusarjaan, jolloin ne joutuvat palotilaan takaisin poltettavaksi eivätkä pääse suoraan ilmakehään aiheuttamaan päästöjä. Tätä järjestelmää kutsutaan kampikammion suljetuksi huohotusjärjestelmäksi. Sitä voidaan kutsua myös nimellä PCV-järjestelmä, joka tulee englannin kielen sanoista *positive crankcase ventilation*. Vaikka PCV-järjestelmä onkin toteutukseltaan yksinkertainen ja huomaamaton, sen vaikutus auton kokonaispäästöihin on todella huomattava. /10, luku7./

Polttoaineen haihtuminen polttoainetankista aiheuttaa hiilivety päästöjä ilmakehään, vaikka autolla ei edes ajeta. Lämpötilan muutokset polttoainetankin sisällä aiheuttavat paineenmuutoksista johtuvan hengitysilmiön, jolloin kaasuuntunutta polttoainetta pääsee ulkoilmaan. Nykyisin tämä on estetty polttoainehöyryjen talteenottojärjestelmällä, jota yleisesti kutsutaan myös EVAP-järjestelmäksi. Nimitys tulee englanninkielisestä järjestelmän nimestä, *evaporative emission control*. Järjestelmä on toteutettu yleensä niin, että tankissa höyrystynyt polttoaine ohjataan erilliseen aktiivihiihisäiliöön, jossa aktiivihiihi imee höyryt itseensä. Korvausilma tankkiin tulee takaiskuventtiilin kautta, joka estää höyryjen pääsyn ulkoilmaan. Talteen otetut höyryt imetään aktiivihiihisäiliöstä moottorin imusarjaan ja poltetaan. Nykyisin aktiivihiihisäiliön huuhtelua ohjataan moottorin ohjainlaitteen avulla sähköisellä magneettiventtiilillä, joka estää seossuhteen muuttumisen sylintereissä huuhtelun aikana. Sähköventtiilillä ohjattu huuhtelu on lisäksi tarkempi, ja se voidaan suorittaa tietyillä moottorin arvoilla. Yleensä huuhtelu suoritetaan moottorin normaalikäyntilämpötilassa ja osakuormituksella. Kuten PCV-järjestelmä, myös EVAP-järjestelmä on autossa huomaamaton, mutta se vähentää huomattavasti auton hiilivetypäästöjä. /10, luku7./

5 MOOTTORIN SISÄISTEN MUUTOSTEN KARTOITUS JA TOTEUTUS

Kuten johdannossa mainitsin, halusin selvittää moottorin sisäisten muutosten vaikutusta auton käyttöominaisuuksiin ja polttoaineen kulutukseen. Tämä toteutettiin niin, että valmiiseen muokattuun moottoriin asennettiin auton alkuperäinen ruiskutuslaitteisto ja mittauksia verrattiin alkuperäiseen moottoriin.

5.1 Moottorin sisäiset muutokset

Moottorin muutosten suunnittelun lähtökohdaksi otin sen tavoitteen, että kaikkiin heikkoihin kohtiin tehdään parannuksia, mikäli mahdollista. Osien valinnassa päätin käyttää niin paljon Ladan omia osia kuin mahdollista ja valita kokoonpanoon mahdollisimman laadukkaat osat. Käytännössä tämä tarkoitti, että kaikki osat ostettiin uutena ja valikoitiin huolella. Etenkin Venäjällä myytävissä varaosissa on osa laadultaan alarvoista ja tämän takia osien valinta kohdistui lähes poikkeuksetta laadukkaiksi osoittautuneisiin alkuperäisosiin.

5.1.1 Sylinterikansi ja venttiilit

Sylinterikansi osoittautui yksittäisistä osista eniten muokkausta vaativaksi, vaikka sekin ostettiin uutena. Venttiilit ja kaikki muutkin kanteen tulevat osat ostettiin myös uutena. Työnlaatu oli kannen osalta sen verran heikkoa, että jo heti uusia osia paikalleen sovittaessa kävi ilmi, että kansi vaatii paljon työtä, ennen kuin se kelpaa omaan projektiin.



KUVA 5. Kanavat alkuperäisenä

Kannen muokkaaminen aloitettiin imu- ja pakokanavia siistimällä ja muotoilemalla, sillä niissä oli paljon parannettavaa, kuten kuva 5 kertoo. Ensin kuitenkin poistettiin venttiilien ohjurit, koska ne olivat jo uutena liian väljät uusien venttiilien kanssa. Ohjurien poistaminen lisäksi helpotti kanavien työstämistä. Kanavien muokkaamisessa

keskityttiin parantamaan virtausta muotoilemalla, en niinkään kanavan sisämittaa suurentamalla. Kanavien halkaisijan kasvattaminen suuressa määrin ei olisi ollut muutenkaan järkevää, koska päätin olla suurentamatta venttiilien kokoa. Aluksi imu- ja pakokanavat puhdistettiin valuhiekan jättämistä epätasaisuuksista hiomakonetta ja erilaisia hiomakiviä käyttäen.

Tämän jälkeen imukanavien venttiilitaskuja levennettiin hieman ja kanavien mutkan sisälaitaa pyöristettiin, jotta ilmanvirtausta saatiin ohjattua paremmin venttiililautasen reunoille. Alun perin myös venttiilien istukat oli asennettu kanavaan huonosti, ja tästä syystä niiden ja kanavan valun yhtymäkohtaan jäi selvä kynnyks. Tämä kynnyks, joka myös näkyy hyvin kuvassa 5, muotoiltiin paremmin virtaavaksi. Tämän jälkeen tarkistettiin, että kaikki imukanavat vastaavat muotoilultaan mahdollisimman hyvin toisiinsa. Lopuksi imukanavat viimeisteltiin hiomalla ne sileiksi, mutta kanavien seinämät jätettiin tarkoituksella hiukan karkeiksi (kuva 6), koska tämä parantaa ilman pyörtelyä ja estää polttoaineen pisaroitumista kanavien seinille /10, luku3/.



KUVA 6. Imukanavat muokattuina

Pakokanaville tehtiin pääpiirteittäin samat toimenpiteet kuin imukanavillekin, mutta niitä suurennettiin enemmän kanavan mutkan ulkolaidalta, koska siellä myös pakokaasujen virtaus on suurinta. Pakokanavat hiottiin huomattavasti tarkemmin kiiltäviksi kuin imukanavat, koska pakopuolella pakokaasujen pyörteilystä on enimmäkseen hait-

taa. Pakokanavan ja pakosarjan liitos kohdistettiin niin, että siihen ei jää pykälää, joka voisi myös aiheuttaa haitallista turbulenssia pakokaasuihin. Kanavien muutokset ovat kuvattuna palotilasta päin katsottuna kuvassa 7.



KUVA 7. Kanavat valmiina

Kun kanavat oli saatu valmiiksi, seuraavana kanteen tehtiin venttiilien sovitukset. Väljät alkuperäiset venttiilien ohjurit poistettiin, ja ne korvattiin BMW:n M10-tyyppisen koneen pronssisista ohjureista muokatuilla. Venttiileiden kokoa ei suurennettu, mutta niihin koneistettiin venttiililautasen yläreunaan 30° viiste virtauksen parantamiseksi (kuvassa 8). Tällaisen viisteen on joissakin moottoreissa todettu parantavan virtausta jopa 12 % /10, luku3/. Venttiilityöt oli hyvä tehdä tässä vaiheessa, koska paikallaan olevat venttiilit helpottivat kannen seuraavaa työvaihetta eli palotilojen tilavuuden mittausta ja muotoilua.



ALKUPERÄISET VENTTIILILAUTASET



VENTTIILILAUTASET 30 ASTEEN VIISTEELLA

KUVA 8. Venttiilien muutokset

5.1.2 Sylinteriryhmä

Sylinteriryhmäksi valittiin uusi alkuperäisen kaltainen 1,7 litran lohko, koska uuteen lohkoon oli helpompi etsiä vällyluokaltaan sopivat uudet männät, eikä sylintereitä tarvinnut porata. Alkuperäiset 1,7 moottorin männät ovat laadultaan heikot virityskäyttöä ajatellen, ja niiden lakeen muotoiltu palotila ei ole kovinkaan hyvä muotoilultaan päästöjen ja moottorin toiminnan kannalta. Tästä johtuen päätettiin käyttää Lada 110 -mallin mäntiä. Ne ovat materiaaliltaan ja työnlaadultaan paremmat ja lisäksi alkuperäisiä mäntiä huomattavasti kevyemmät. Niiden lakeen muotoiltu palotila on myös paremman muotoinen jo valmiina ja helpompi muotoilla kannen palotilojen kanssa pariksi. Kuvassa 9 on vertailun vuoksi alkuperäinen mäntä vasemmalla ja 110 -mallin mäntä oikealla, alapuolella mäntien palotilat kannen palotilaa vasten. Kuvasta nähdään hyvin myös se, että alkuperäisen männän palotila ei muodosta kannen palotilan kanssa järkevän muotoista kokonaisuutta. Palotiloja lukuun ottamatta molemmat männät ovat fyysisiltä mitoiltaan hyvin lähelle samanlaiset.

Männänrenkaiksi valittiin saksalaiset Goetzen valmistamat renkaat, koska niiden laatu kokemuksien mukaan on parempi kuin alkuperäisten. Myös männäntapit vaihdettiin Saksassa valmistettuihin tappeihin, koska niiden välly sattui paremmin mäntiin ja kiertokankiin. Lisäksi ne olivat paljon kevyemmät kuin alkuperäiset männäntapit.



KUVA 9. Mäntien erot

Kiertokangiksi valittiin Ladan alkuperäiset muottiintaotut teräksiset kiertokanget, jotka ovat niin sanotulla uivalla männäntapilla. Kiertokankienkin kohdalla laatuerot tulivat jälleen ilmi, ja tämän takia jouduin ostamaan kaksi uutta sarjaa, joista valittiin parhaiten tasapainossa olevat. Tämän lisäksi valitut neljä kiertokankea tasapainotettiin huolellisesti ylä- ja alapäiden osalta samanlaisiksi. Samalla ne myös tasapainotettiin keskenään täysin saman painoisiksi. Alun perin painoeroa eri kiertokankien kesken oli jopa yli 20 g, mutta lopulta ne saatiin alle 1 g tarkkuuteen. Tasapainottaessa materiaalia hiottiin niin paljon pois kuin kestävyuden kannalta oli turvallista, ja tällä keinolla kiertokangista saatiin huomattavasti alkuperäistä kevyemmät.

Kampiakselia valitessa oli olemassa kaksi eri vaihtoehtoa. Yksi vaihtoehto oli 1,7 litran moottorin alkuperäisen kampiakselin, jonka iskunpituus on 80 mm, käyttäminen. Tämän kampiakselin kanssa lohkon tasoa olisi pitänyt madaltaa sopivan paljeron saamiseksi, koska männänlaki jäi yläkuolokohdassa 1 mm lohkotason alapuolelle. Halusin kuitenkin männän nousevan lohkotason tasalle, jotta paljerako kanteen olisi mahdollisimman pieni. Toisena vaihtoehtona oli Lada Nivan 1,8-litraisen moottorin kampiakseli, joka on iskunpituudeltaan 84 mm. Tämä pidempi-iskuinen kampiakseli

on 2130-moottorityyppiin kuuluva, mutta se käy myös 1,7 litran moottoriin. Loppujen lopuksi tulin siihen tulokseen, että valitsin pidempi-iskuisen kampiakselin sen mukanaan tuomien etujen takia. Pidempi-iskuisella akselilla mäntä nousi 1 mm lohkotason yläpuolelle, joten männistä koneistettiin 0,8 mm laesta pois. Kannentiiviste on puristuessaan tasan 1 mm paksu, joten paljeraoksi männän ja kannen väliin tuli 0,8 mm. Tämä on kokemusten mukaan optimaalinen rako, koska sopiva paljerako on 0,1 mm jokaista moottorin tuhatta minuuttikierrosta kohti. Tästä laskien 0,8 mm paljerako riittäisi jopa 8000 rpm pyörivään moottoriin. Kampiakselin iskupituuden kasvattaminen mahdollisti myös paremmat edellytykset palotilojen muotoiluun ainetta poistamalla, koska puristussuhde kasvaneen iskutilavuuden ansiosta pienenee vähemmän suhteessa palotilan kasvaneeseen tilavuuteen.

Kiertokankien ja kampiakselin laakeroinnin välykset osuivat uusilla laakereilla toleranssin keskivaiheille, joten kampiakseliin teetettiin hiilitypetys eli nitraus kestävyysparantamiseksi. Nitraus parantaa kappaleen lujuutta ja lisäksi muodostaa laakeripintoihin öljyttynä pienikitkaisen pinnan mutta kasvattaa kappaleen ulkomittoja hiukan. Nitrauksen jälkeen kampiakselin suoruus ja tasapainotus tarkistettiin ja todettiin myös laakerivälysten olevan edelleen toleranssien sisällä.

5.1.3 Palotilat ja puristussuhde

Palotilojen muotoilu ja puristussuhde vaikuttaa moottorin toimintaan todella paljon, joten paneuduin niiden muutoksiin huolellisesti. Monesti olen huomannut, että virityspuuhissa unohdetaan männänlaen muodostaman palotilan merkitys palotiloihin kokonaisuutena. Sitä ei kuitenkaan pitäisi unohtaa, koska sillä on paljon vaikutusta moottorin toimintaan.

Palotilojen muutosten suunnittelu aloitettiin mittaamalla vakiopalotilan tilavuus eli kannen palotila ja männän palotila. Tätä tietoa tarvittiin puristussuhteen määrittämiseen. Tavoitteeksi puristussuhteelle otin 9:1, koska se on mielestäni kevyesti ahdettuun moottoriin hyvä kompromissi termisen hyötysuhteen ja NO_x -päästöjen välillä. Palotilat mitattiin injektioruiskua ja Lasolia apuna käyttäen, joten tarkkuus on täysin riittävä kyseiseen mittaukseen. Laskennallisesti määritetyt tilavuudet laskettiin kuitenkin suhteessa mitattuja tarkemmin. Tulokset kerättiin taulukkoon 4 ja eri vaihtoehtojen erot puristussuhteeseen laskettiin käyttäen kaavaa 1.

$$\text{puristussuhde} = \frac{V_i + V_p}{V_p} = \frac{x}{1} \quad (1)$$

jossa V_i on iskutilavuus ja V_p on puristustilavuus.

Taulukkoon kerättiin myös vakiomootorin tiedot, koska niistä saatiin hyvä vertailupohjan muutoksille. Kuten taulukostakin on helppo todeta, pidempi-iskuista kampiakselia käytettäessä palotiloista on mahdollista poistaa materiaalia huomattavasti enemmän puristussuhteen liikaa laskematta kuin vakio kampiakselilla. Taulukossa olevat muutettujen palotilojen tilavuudet kannen ja männän osalta perustuvat mittauksiin, jotka tehtiin vanhoille osille tutkittaessa, kuinka paljon materiaalia on mahdollista turvallisesti poistaa.

Alkuperäisen moottorin ilmoitettu puristussuhde on 9,3:1, mutta todellinen mitattu puristussuhde oli ainoastaan $\approx 9:1$. Omaan tarkoitukseeni moottoriin alkuperäinen puristussuhde olisi ollut sopiva, mutta palotiloja ei olisi voitu muokata juuri lainkaan, vaikka lohkoa olisikin koneistettu 1 mm pois. Tämän takia pidempi-iskuisen kampiakselin käyttö osoittautui hyväksi ratkaisuksi.

TAULUKKO 4. Puristussuhde

Vakio 1,7 moottori			Puristussuhde x
Sylinteritilavuus (V_i)	420 ml	422481 mm ³	$\approx 9,0$
Männän amme	12 ml	12000 mm ³	
Palotila kannessa	30 ml	30000 mm ³	
Mäntä-lohkotaso	5,28 ml	5281 mm ³	
Kannentiiviste (1 mm)	5,28 ml	5281 mm ³	
(Männän amme 110)	15 ml	15000 mm ³	$\approx 8,6$
(+ 1 mm lohkoa pois)			$\approx 9,4$
1,8 kampiakselilla			$\approx 10,3$
Sylinteritilavuus (V_i)	444 ml	443605 mm ³	
Männän amme 110*	12 ml	12000 mm ³	
Palotila kannessa	30 ml	30000 mm ³	
Mäntä-lohkotaso	0 ml	0 mm ³	
Kannentiiviste (1 mm)	5,28 ml	5281 mm ³	
1,8 kampiakselilla + palotiloja muutettu			
Sylinteritilavuus (V_i)	444 ml	443605 mm ³	$\approx 9,0$
Männän amme 110*	15 ml	15000 mm ³	
Palotila kannessa	35 ml	35000 mm ³	
Kannentiiviste (1 mm)	5,28 ml	5281 mm ³	

*Männästä koneistettu 0,8 mm laesta pois.

Kun haluttu puristussuhde oli tiedossa, aloitettiin palotilojen muodon suunnitteleminen. Vakiona sytytystulpan sijainti kannessa on huono, koska se on palotilan laidassa ja lisäksi sen kärki jää osittain piiloon kierteen sisään. Tämän takia palotilasta koneistettiin hiomakivien ja hiomapaperin avulla materiaalia sytytystulpan puolelta niin paljon, että sytytystulppa tuli kunnolla näkyviin ja samalla ”keskemmälle” palotilaa. Palotilaa levennettiin myös venttiilien ympäriltä niin paljon kuin oli kannentiivisteiden puolesta mahdollista. Tällä keinolla saatiin parannettua venttiilien virtausta ja lisäksi palotiloista saatiin poistettua ainetta puristussuhteen laskemiseksi. Sytytystulpan vastainen tasainen puoli palotilasta jätettiin paljealueeksi muodostamaan pyörteilyä ja parantamaan seoksen muodostusta. Kuten aikaisemmin on kerrottu, paljerako jäi 0,8 mm. Tämän pitäisi olla sopiva takaamaan toimivan palje-efektin syntymisen ilman haitallista vaikutusta päästöihin. Kannen palotilojen muutokset ovat esitelty kuvassa 10, jossa vertailun vuoksi myös kuva alkuperäisestä palotilasta. Alkuperäisessä moottorissa oleva ≈ 2 mm paljerako on liian suuri muodostamaan kunnollista palje-efektiä mutta se nostaa päästöjä, koska paljealueelle jää paljon palamatonta seosta.



KUVA 10. Palotilojen muotoilua

Mäntien palotilat muotoiltiin vastaamaan tarkasti kannen palotilaa. Myös mäntien muotoilussa oli tarkoituksena saada sytytystulppa keskemälle palotapahtumaa. Mäntien muotoilu oli kannen palotiloja helpompi toteuttaa, koska männän amme oli Lada 110 -mallin männissä jo alun perin paremman muotoinen kuin alkuperäisissä männissä. Männän palotilan muotoiluksi riitti palotilan kasvattaminen sytytystulpan puolelta ja ammeen laitojen pyöristäminen (kuva 11). Kuvasta nähdään selvästi ero alinna olevaan alkuperäiseen mäntään ja lähtökohtana olleeseen Lada 110 -mallin mäntään.



KUVA 11. Männät vertailussa

Ennen moottorin kasaamista tarkistettiin vielä silmämääräisesti ja mittaamalla, että kaikki palotilat olivat muotoilultaan samanlaisia ja että niiden tilavuus on täsmälleen sama. Mittausten jälkeen mäntien ja kannen palotiloihin tehtiin lopullinen viimeistely,

jotta pinnanlaadusta tuli mahdollisimman hyvä. Tämän jälkeen männät tarkistettiin vielä puntarissa, että ne olivat täsmälleen samanpainoisia.

Sylinterikannen asennuksessa sylinteriryhmään käytettiin mahdollisimman laadukasta kannentiivistettä, joka lisäksi käsiteltiin ohuella kerroksella laadukasta kupariliimaa. Kannen asennuksessa käytettiin uusia pultteja, jotka kiristettiin tarkasti oikeaan momenttiin. Kiristysmomentti tarkistettiin vielä seuraavana päivänä, kun kansi oli saanut olla yön paikallaan oikeassa momentissa.

5.1.4 Voitelujärjestelmä

Ladan voitelujärjestelmä on alun perin painevoitelun osalta heikkotehoinen. Etenkin joutokäynnillä moottorin öljynpaine saattaa laskea huolestuttavan alhaiseksi. Tämä on normaalia, ja tämän takia tehdas on antanut ohjeen, jonka mukaan autoa ei tulisi käyttää joutokäynnillä yli 3 minuuttia. Ensimmäisenä heikosta öljynpaineesta kärsivät nokka-akseli ja keinuvivut, koska nokille tuleva öljy tulee nokka-akselin läpi ainoastaan yhden laakerikaulan kautta. Öljynpaineet eivät kuitenkaan hyväkuntoisessa moottorissa ole ongelma suuremmilla moottorin pyörintänopeuksilla, kun tuottoa on enemmän.

Voitelujärjestelmän muutokset tehtiin moottorin kestävyuden parantamiseksi, koska etenkin viritetyssä moottorissa voitelun on tärkeää toimia moitteettomasti. Voitelun parantamiseksi öljypumppua muokattiin tuoton lisäämiseksi. Tämä tietenkin lisää myös öljynpainetta moottorin alemmilla pyörintänopeuksilla. Öljypumppu on tyypiltään hammaspyöräpumppu, joka on sijoitettu öljypohjaan. Se saa käyttövoimansa apuakselin kautta jakopäältä. Pumpun pohjassa painepuolella on jousikuormitteinen ohivirtausventtiili, joka pitää maksimipaineet 4 bar tasolla. Nykyaikaisia laajan viskositeetin omaavia öljyjä käytettäessä venttiili ei aukea juuri muulloin kuin kylmäkäynnistyksien jälkeen.

Muutokset toteutettiin jatkamalla pumpun hammaspyörät pituudeltaan 1,5-kertaisiksi vakioihin verrattuna. Pumpun runkoon hammaspyörien pesiin tehtiin jatkokappale jatkettujen hammaspyörien pituutta vastaamaan. Myös pumpun pohjan ohivuotoventtiiliä muotoiltiin paremmin virtaavaksi, koska lisääntyneen tuoton takia maksimipai-

neet nousevat liian suuriksi jos venttiilistä ei ehdi virtaamaan tarpeeksi ylimääräistä öljyä läpi. Öljypumpun muutokset ovat esiteltynä kuvassa 12.



KUVA 12. Öljypumpun muutokset

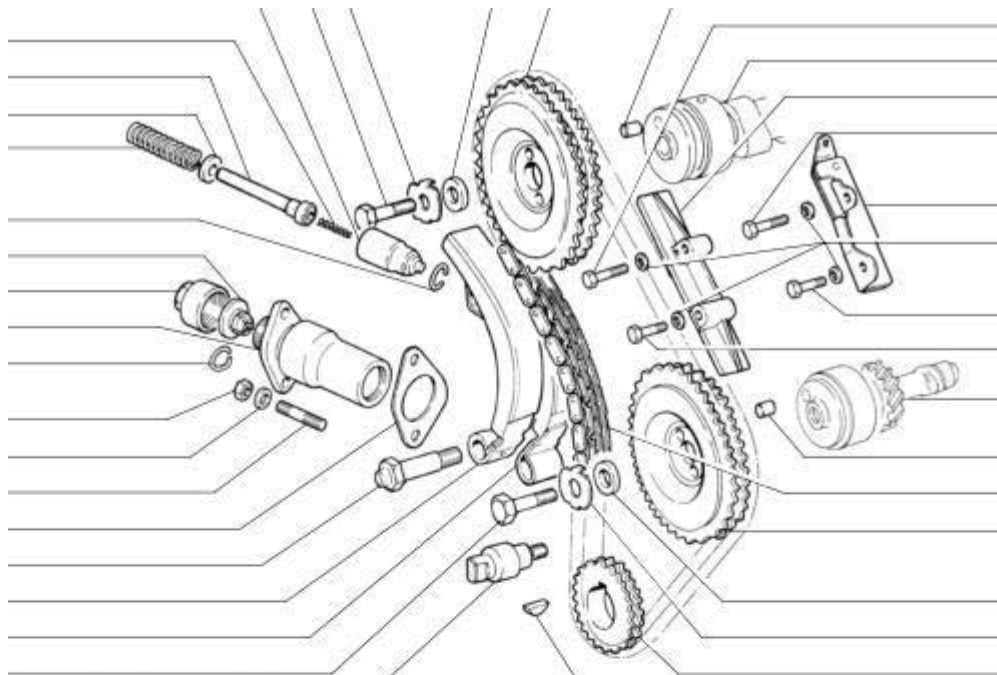
Öljypumpun kasvaneen korkeuden takia öljypohjaan jouduttiin tekemään korotuspala, koska muuten öljypumpun imujalka olisi ottanut öljypohjaan kiinni. Korotuksen käytettiin kahta uuta öljypohjaa siten, että toisesta leikattiin alaosa pois ja se hitsattiin toiseen öljypohjaan 1,5 cm korkeammalle. Öljypohjan korkeuden muutos nähdään kuvassa 13. Öljypohjan muutoksen ansiosta moottorin öljytilavuus kasvoi alkuperäisestä 3,7 litrasta 4,5 litraan. Tästä on etua etenkin öljyn lämpötilan hallinnan kannalta, koska suurempi öljymäärä ei kuumene rankassakaan ajossa niin helposti. Suurempi öljytilavuus mahdollistaa lisäksi pidemmän huoltovälin, koska öljy ei ole niin kovalla rasituksella.



KUVA 13. Öljypohja korotettuna

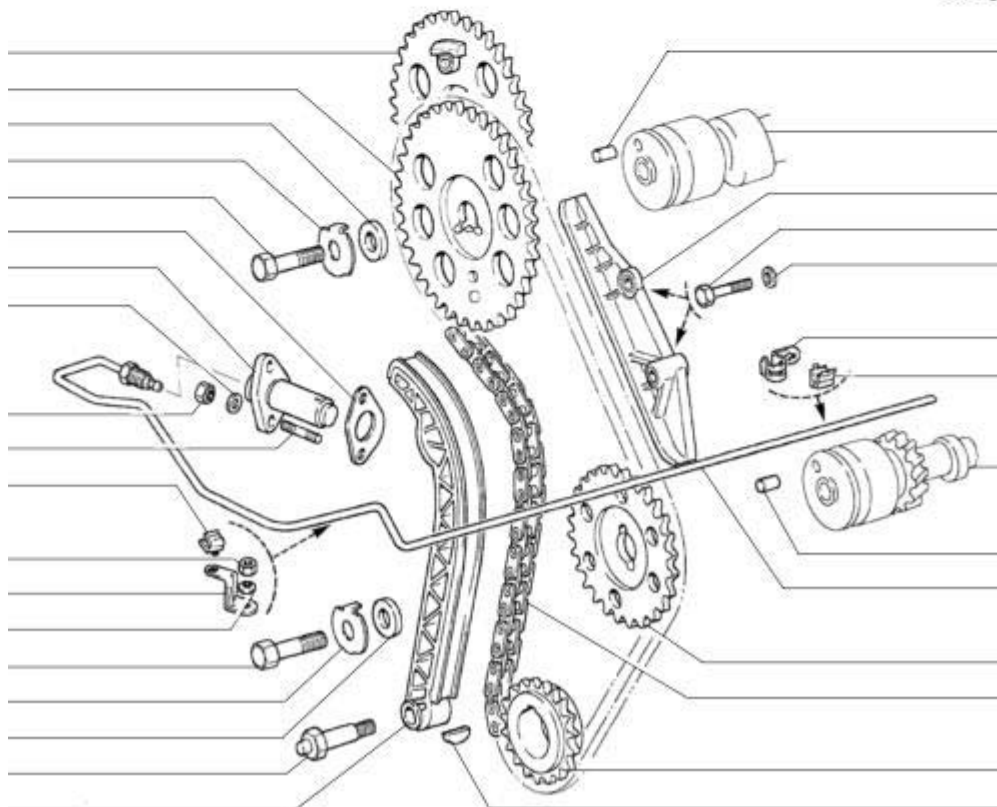
5.1.5 Muut muutokset

Muut moottoriin tehdyt muutokset tehtiin kestävyuden parantamiseksi ja huoltokohteiden vähentämiseksi. Huoltokohteista mekaanisesti säädettävä jakoketju oli mahdollista korvata käyttämällä uuden Lada Nivan hydraulisella kiristimellä olevaa jakopäätä. Uuden mallin jakopää on vanhemmasta poiketen toteutettu 1-rivisellä rullaketjulla, joka on aikaisempaa hiljaisempi käyntiääneltään ja myös paljon kestävämpi. Erot vanhaan jakopäähän käyvät ilmi kuvasta 14. Tärkeimpänä ominaisuutena kuitenkin pidän hydraulisen kiristimen mahdollistavaa huoltovapaata rakennetta.



**Ylemmässä kuvassa alkuperäinen jakopää
Alemmassa kuvassa hydraulisesti kiristytävä jakopää**

Catalogu

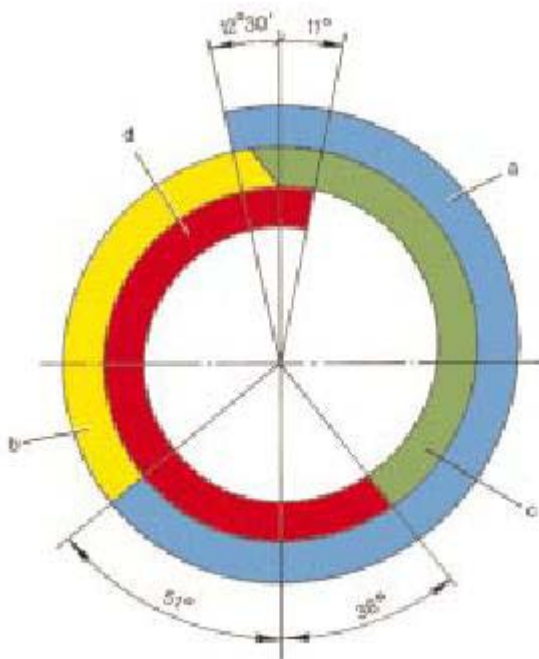


KUVA 14. Jakopäiden erot /12/

Toinen muutos, joka toteutettiin huollontarpeen vähentämiseksi, oli mekaanisesti säädettävien venttiilinnostajien korvaaminen uuden Nivan hydraulisilla nostajilla. Nämä uudemman mallin nostajat olivat helposti sovellettavissa myös vanhaan moottoriin,

mutta muutos vaati myös nokka-akselin vaihtamisen hydraulisille nostajille tarkoitettuun.

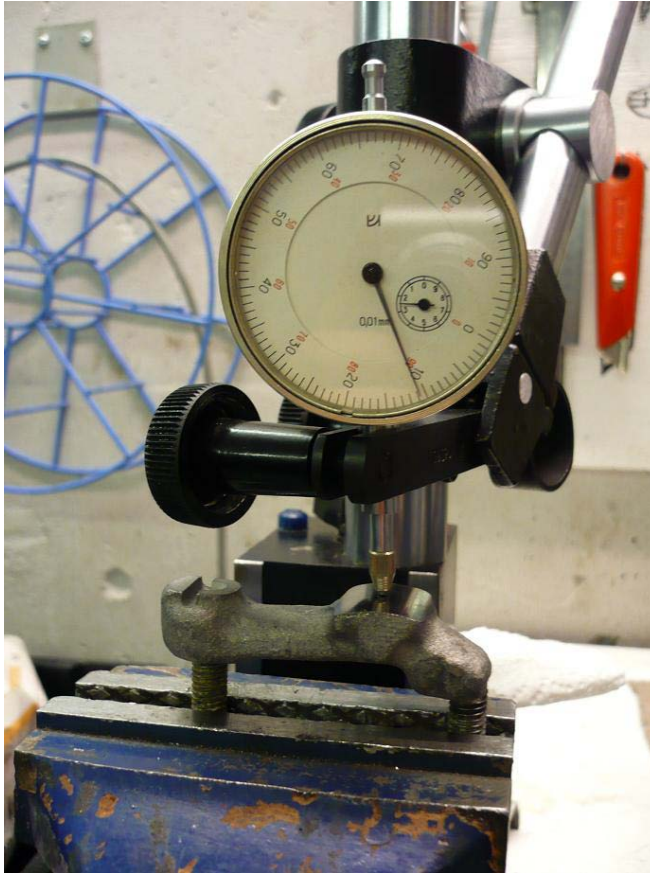
Nokka-akseliksi valittiin hydraulisten venttiilinnostajien takia uuden Nivan vakio nokka-akseli. Mielestäni se on muutenkin ominaisuuksiltaan hyvä kompromissi tavoitellun tehon ja päästöjen välillä. Kyseisen nokka-akselin arvot (kuva 15) sopivat sellaisenaan melko hyvin ahdettuunkin moottoriin. Suurentuneen sylinteritilavuuden takia olisi voinut olla perusteltua käyttää suurempia venttiilin avautumia, mutta päätin silti pysyä vakiossa akselissa. Vakion nokka-akselin käyttö on siinäkin mielessä perusteltua, että moottorista ei ollut tarkoitus tehdä ”kierroskonetta”, vaan nöyrästi toimiva moottori käyttöautoon. Uuden nokka-akselin teettäminen olisi kuitenkin ollut hakuammuntaa hyödyn ja päästöjen suhteen, eikä varmasti olisi onnistunut ensimmäisellä yrityksellä.



KUVA 15. Nokka-akselin ajoitus /2, s.4/

Uusi nokka-akseli ja keinuviivut nitrattiin kestävyiden ja liukuominaisuuksien lisäämiseksi. Nitrauksen muodostamasta liukkaasta pinnasta on hyötyä etenkin kohteissa, joissa voitelukalvo saattaa hetkellisesti pettää. Näissä paikoissa nitrattu pinta ei välttämättä leikkaa kiinni niin nopeasti. Uusien keinuviivujen mitoituksessa oli todella suuria eroja, joten niistä jouduttiin valikoimaan parhaat yksilöt kahdesta uudesta sarjasta. Mittaeroja oli etenkin nokan vastinpinnan muodossa ja korkeudessa (kuva 16).

Nämä mittaerot kuitenkin vaikuttavat niin paljon venttiilien aukeamisaikoihin, että eroa ei saisi paljon olla. Muuten sylinterien täytös helposti eroaa liikaa toisistaan.



KUVA 16. Keinuvipujen mittaus

5.2 Muutosten vaikutukset

Kuten aiemmin olen kertonut, moottorin muutosten mittaukset suoritettiin auton alkuperäisellä ruiskutuslaitteistolla. Tällä tavoin saatiin parhaiten vertailukelpoisia tuloksia moottorin sisäisten muutosten vaikutuksesta alkuperäiseen moottoriin verrattuna. Samalla sain suoritettua uuteen moottoriin kunnollisen sisäänajon. Tämä olisi ollut uudella säätämättömällä ruiskutuslaitteistolla vaikeaa, koska ruiskun säätö olisi pitänyt tehdä sisäänajon aikana. Tämä ei olisi ollut hyväksi moottorin kestävyyttäkään ajatellen.

Mittauksilla halusin selvittää muutosten vaikutusta polttoaineen kulutukseen ja moottorin toimintaan sekä käyttöominaisuuksiin. Mittaukset toteutettiin ajamalla sekalaista ajoa normaali liikenteessä noin 2000 kilometriä. Heti ensimmäisillä käyttökerroilla kävi ilmi, että moottori toimii hyvin ja käy huomattavasti siistimmin kuin alkuperäi-

nen moottori. Yleensä Ladan moottorissa on selvästi kuultavissa jakopään ketjun rallatus ja venttiilikoneiston ääni mutta näiltäkin osin moottorista tuli hiljainen.

Polttoaineen kulutus muutosten jälkeen sekalaisessa ajossa oli 7,6 l/100km, joten aikaisempiin kokemuksiin verrattuna kulutus putosi jonkun verran. Pelkästään maantieajoon kohdistuneella testilenkillä kulutus oli 6,3 l/100km, joka on vähemmän kuin mitä ikinä aikaisemmin olen itse mitannut. Näiden tulosten perusteella päätin kulutuksen pudonneen ainakin 0,5 l/100km. Kulutus oli myös siihen nähden pieni, että sisäänajon aikana en edes yrittänyt ajaa mahdollisimman taloudellisesti, vaan moottoria pyrittiin käyttämään koko ajan vaihtelevilla kierroksilla ja kuormituksilla.

Kulutukseen saattoi osaltaan vaikuttaa myös se, että alkuperäinen ruisku ei pystynyt syöttämään moottorille tarpeeksi polttoainetta ainakaan kovemmilla kuormituksilla. Etenkin täyskaasulla kiihdytettäessä seos meni pahasti laihalle ja veto heikkeni. Osa-kaasulla ajettaessa seos pysyi mittarin mukaan normaalina mutta saattoi silti olla tavallista laihemmalla. Moottorista ei kuitenkaan missään vaiheessa kuulunut nakutusta, mikä taas kertoo nakutusherkkyyden vähentymisestä palotilojen muutosten ansiosta. Alkuperäisen ruiskun kapasiteetin riittämättömyys voidaan osittain selittää myös kasvaneella sylinteritilavuudella.

Moottorin käyttöominaisuudet paranivat muutoksien ansiosta huomattavasti lukuun ottamatta täyden kuormituksen aluetta. Moottorin vääntö etenkin matalilla kierroksilla nousi selvästi. Varsinaista tehon nousua ei kuitenkaan pystytty arvioimaan alkuperäisen ruiskun rajoitteiden vuoksi.

Ilman katalysaattoria tehty päästömittaus osoitti, että pakokaasupäästöt olivat pudonneet etenkin joutokäynnin osalta. Alkuperäisellä moottorilla joutokäynnillä HC-päästöt olivat yli 300 ppm, mutta muutosten jälkeen ne putosivat 200 ppm tuntumaan. Vastaava muutos oli huomattavissa myös häkäpäästöjen osalta. Suuremmilla moottorin pyörintänopeuksilla päästöjen ero alkuperäiseen moottoriin ei ollut niin selkeästi havaittavissa.

6 MOOTTORIN APULAITTEIDEN MUUTOKSET

Sisäänajon jälkeen alkuperäiset ruiskutus- ja sytytysjärjestelmät poistettiin kokonaisuudessaan. Myös alkuperäiset PCV- ja EVAP-järjestelmät poistettiin. Ennen seuraavien muutosten toteuttamista tehtiin lisäksi valmistelevana toimenpiteenä moottorin öljynvaihto ja tarkistettiin vielä kertaalleen sylinterikannenpulttien tiukkuus.

6.1 Muutosten suunnittelu ja osien valinta

Muutosten suunnittelun lähtökohtana oli alustava suunnitelma komponenttien valinnasta ja sijoittelusta. Tarkoituksena oli käyttää lambda-ohjattua 4-pisteruiskutusta, jota ohjataan täysin säädettävällä moottorinohjaimella. Pakokaasujen jälkikäsitteilyyn päätettiin käyttää auton alle sijoitettua kolmitoimikatalysaattoria. Ahdin päätettiin asentaa ennen kaasuläppää ja välijäähdytintä, samalla tavalla kuten pakokaasuahdinkin yleensä asennetaan. Tämä osien järjestely kuitenkin edellyttää niin sanotun bypass-venttiilin käyttöä, joka estää ahtimen tekemää kaasuläppään kohdistuvaa paineiskua siinä tilanteessa, kun kaasuläppä suljetaan. Venttiilin avulla saadaan myös ahtimen hyötysuhdetta parannettua, koska ahtimen ei tarvitse pyöriä painetta vastaan kevyessä ajossa pelkällä alipaineella ajettaessa.

Ennen muutosten lopullista toteutusta tein konehuoneessa alustavaa osien paikalleen soveltamista, jotta näin, mitä muutoksia koriin ja muihin rakenteisiin joudutaan tekemään. Tässä vaiheessa piti tarkkaan ottaa huomioon osien mahtuminen paikalleen, koska tilaa konehuoneessa ei liikaa ollut.

6.1.1 Ruiskutuslaitteisto ja moottorinohjaus

Moottorin ohjainlaitteen valinta oli ensimmäinen toimenpide ruiskutusjärjestelmän suunnittelussa, koska se määrää huomattavan paljon käytettävien komponenttien valintaa. Moottorinohjaimista selvitettiin eri valmistajien laitteistojen ominaisuudet tarkkaan. Vaatimukseksi ominaisuuksien suhteen asetin tiettyjä ehtoja, kuten sen, että moottorin ohjain on täysin ohjelmoitavissa ruiskutuksen ja sytytyksen osalta. Toinen tärkeä vaatimus oli laajakaista-lambdan käyttämisen mahdollisuus. Halusin myös, että moottorinohjaimen saa mahdollisimman täydellisenä pakettina sopivien antureiden ja komponenttien kanssa. Selvitin myös Internetin keskustelupalstoilta kokemuksia eri

moottorinohjaimien luotettavuudesta ja toiminnasta, koska käyttäjien mielipiteet erosivat monesti mainosten totuudesta.

Ruiskun ohjainlaitteeksi valikoitui lopulta ehdettuihin moottoreihin tarkoitettu KMS-moottorinohjausjärjestelmä, koska se oli kaikkien asetettujen vaatimusten mukainen. Valintaan vaikutti myös se tärkeä seikka, että kyseistä järjestelmää on käytetty Suomessa laajasti ja sen säätöön perehtyneitä virityspajoja löytyi useita. Taulukossa 5 luetteloituna kaikki moottorinohjaimen mukana tulleet osat ja anturit.

TAULUKKO 5. KMS MP-25 -ruiskupaketin sisältö

ECU (ohjainlaite)
Suutinajuri
Laajakaistalambda + ohjain + näyttö
Moottorin lämpötila-anturi
Imuilman lämpötila-anturi
MAP-anturi (imusarjan paine)
Kaasuläpänasentoanturi
Kampiakselin pyörintänopeusanturi
Suorasytytyspuola
Joutokäynninsäätömoottori
Johtosarja + liittimet

Ohjainlaitteen hankinnan jälkeen muiden ruiskutuksen ja sytytyksen komponenttien valinta oli helpompaa. Hankintalistalle jäi vielä sytytystulpan johdot, polttoainesuuttimet, imusarja, kaasuläppäkotelot ja kampiakselin hihnapyörään tuleva niin sanottu triggeripyörä.

Imusarjaksi valittiin Chevrolet Nivan imusarja, jossa oli myös valmiina polttoainetuki ja paikat neljälle 74 mm pitkälle suuttimelle. Suuttimet valikoitiin tarkasti moottorin tehotavoitteen mukaisesti. Suuttimien valintaan käytettiin myös erilaisia Internetistä löytyviä laskureita, joiden mukaan 150 hv moottori vaatii suurin piirtein 24 lbs/h virtaavat suuttimet /13/. Loppujen lopuksi päädyin Ford Mustangin suuttimiin, jotka ovat virtauskapasiteetiltaan 24 lbs/h. Niiden tuotto riittää hyvin 200 hv saakka ja on optimaalinen 150 hv tuottavaan moottoriin. Suuttimien oikea koko on erityisen tärkeä, koska liian pienet suuttimet toimivat ylikuormitettuna ja liian suuret suuttimet taas

vaikeuttavat tarkkaa polttoaineen annostelua joutokäyntialueella. Tämän takia suuttimien merkitys etenkin joutokäyntipäästöihin on suuri. Mustangin suuttimet ovat tyypiltään niin sanotut nelireikäsuuttimet, joissa polttoainesuihku muodostetaan neljän pienen reiän avulla, mikä parantaa polttoaineen sekoittumista ilmaan jo imusarjassa.

Kaasuläppäkotelona käytettiin vesilämmitteistä Lada Nivan koteloa, koska se kävi suoraan imusarjaan kiinni ja sen läpän vaijerikäyttö sopi kaasupolkimen välityksen kanssa hyvin yhteen. Siinä kaasuläpän halkaisija riittää virtaukseltaan mainiosti myös omaan projektiin. Kaasuläppäkotelossa oli valmiina myös paikka kaasuläpänasentotunnistimelle eli TPS-anturille. Kaasuläppäkoteloon oli myös helppo toteuttaa letkumlähdöt KMS:n mukana tulleelle joutokäynninsäätömoottorille.

Moottorinohjauksen oleellisin anturi on kampiakselin pyörintänopeustunnistin. Sen perusteella moottori saa tiedon pyörintänopeudesta sekä kampiakselin asennosta ja tämän perusteelle lasketaan myös sytytyshetki. Induktiivinen anturi lukee pyörintänopeustiedon kampiakselin päässä olevan hihnapyörän hammastetusta kehästä ja anturisignaali saadaan ulos sinimuotoisena vaihtosähköä. Hammaskehä on tyypiltään 60 - 2 eli hampaita kehällä on 58 ja välissä 2 hampaan aukko. Tämän aukon kohdalla anturisignaalissa tapahtuu muutos, josta moottorinohjainlaite laskee kampiakselin asennon ja sytytyshetken.

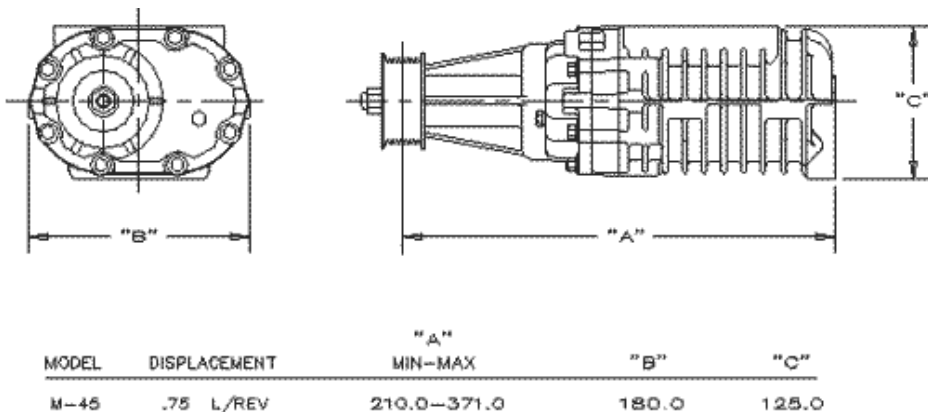
Sopiva kampiakselinhihnapyörä löytyi valmiina Chevrolet Nivasta. Nivan hihnapyörä oli moniurahihnalle tehty alkuperäisen kiilahihnan sijaan mutta tästä oli vain hyötyä. Samalla saatiin muutettua kaikki hihnan käyttämät apulaiset vähemmän huoltoa vaativalle moniurahihnalle. Pyörintänopeusanturin kiinnitys sylinteriryhmään on tärkeä, koska se ei saa väristä missään tilanteessa ja sen kärjen on oltava ≈ 1 mm päässä hammaskehästä (kuva 17). Anturitelinetekniikka tehtiin alumiinista ja kiinnitettiin lohkon tiukasti pulteilla.



KUVA 17. Kampiakselin pyörintänopeusanturin teline

6.1.2 Ahtolaitteisto

Ahtimen valintaan vaikutti eniten sen tuotto, mutta myös ahtimen fyysiset mitat oli pakko ottaa huomioon, koska moottoritulassa ei ollut kovin paljon ylimääräistä tilaa. Sopivan pieni mekaaninen ruuviahdin löytyi Mini Cooper S -mallista. Ahdin on tyyppiä Eaton M45 (kuva 18), ja se on suunniteltu sylinteritulavuudeltaan 1-2 litran henkilöautoihin. Niiden saatavuus Englannista oli hyvä, koska monesti tämä pienempi ahdin korvataan heti uutena suuremmalla ahtimella.



KUVA 18. Ahtimen mitat

Ahdin saa käyttövoimansa moniurahihnan välityksellä kampiakselilta. Ahtopaineet määräytyvät lähes täysin ahtimen välityssuhteen eli pyörintänopeuden mukaan. Sopivan välityssuhteen laskeminen tietylle ahtopaineelle on hankalaa, koska niin moni asia vaikuttaa lopulliseen ahtopaineeseen. Tämän takia sopivaa välityssuhdetta ei edes yritetty laskea, vaan päätin kokeilla ensin arvioimalla laskettua välityssuhdetta. Ahtimen sallittu maksimipyörintänopeus on 14000 rpm, mutta koska ahtopaineiden tavoite oli ainoastaan 0,5 bar, päätettiin ahtimen maksimipyörintänopeudeksi sovittaa 12000 rpm, kun moottorin pyörintänopeus on 6000 rpm.

Tämä tarkoittaa, että ahtimen käyttöhihnapyörien välityssuhteen pitää olla 0,5:1. Ahtimen hihnapyörän halkaisijan ollessa 65 mm kampiakselin hihnapyörän tulee olla halkaisijaltaan 130 mm. Sopivaa moniurahihnapyörää ahioksi etsittäessä huomattiin, että Lada Samaran hihnapyörän halkaisija on 137 mm. Tämä oli niin lähellä tavoitetta, että sitä päätettiin käyttää aihiona. Samaran hihnapyörä yhdistettiin Nivan hihnapyörään ruuvikiinnityksellä, joka mahdollistaa ahdinta käyttävän hihnapyörän vaihtamisen tarpeen vaatiessa. Ahtimen käyttöhihnan kiristinrullaksi valittiin Lada 110 -mallin jakopäänkiristinrulla ja ohjainrullaksi sopiva löytyi Chevrolet Nivan apulaitehihnan taittorullasta.

Ahtaminen lämmittää imuilmaa aina. Lämmön nousu riippuu ahtopaineesta, mutta myös ahtimen tyyppi vaikuttaa. Mekaaninen ahdin ei lämmitä ilmaa niin paljon kuin kuumana käyvä pakokaasuahdin, mutta tästä huolimatta välijäähdytintä päätettiin käyttää imuilman jäähdyttämiseen. Välijäähdytin myös omalta osaltaan vähentää päästöjä ja parantaa moottorin tehoa sekä pienentää nakutusriskiä. Välijäähdyttimeksi valittiin pienikokoinen, alumiininen bar-and-plate-rakenteella toteutettu jäähdytin.

Ahtimen hyötysuhteen parantamiseksi järjestelmään asennettiin bypass-venttiili, kuten turbolla varustetuissa autoissakin monesti on. Ahdinhan pyörii koko ajan suhteessa moottorin pyörintänopeuteen, ja tämän takia tekee koko ajan painetta kaikissa tilanteissa kaasuläpän asentoa huomioimatta. Suurimman osan ajasta moottori kuitenkin toimii alipainealueella ilman ahtopainetta. Tämän takia bypass-venttiili on järjestelmässä hyödyllinen, koska se kierrättää ahtimen puhaltaman ilman takaisin ahtimen imupuolelle, kun ahtopainetta ei tarvita. Tämä parantaa moottorin hyötysuhdetta, koska ahtimen ei tarvitse pyöriä koko ajan painetta vastaan. Venttiili myös estää kaasulä-

pälle ja ahtoputkistoon muodostuvan paineiskun, joka syntyisi, kun kovilla kierroksilla kaasuläppä suljetaan äkkiä. Paineisku kyseisessä tapauksessa voisi jopa halkaista välijäähdyttimen tai ahtopaineletkuja.

Bypass-venttiiliksi valittiin Synapse-Engineering -merkkinen venttiili (kuva 19), koska siitä löytyi paljon hyviä kokemuksia ja se oli virtaukseltaan riittävän suuri omaan käyttöön. Venttiiliä ohjataan imusarjan alipaineella. Alipaineella venttiili aukeaa ja purkaa ahtopaineen ahtimen imupuolelle. Kun alipaine imusarjassa laskee tarpeeksi paljon, venttiili sulkeutuu ja ahtopaine pääsee kaasuläpän kautta imusarjaan. Venttiili sijoitettiin ahtoputkeen mahdollisimman lähelle kaasuläppää.



KUVA 19. Bypass-venttiili

Ilmansuodattimeksi valittiin Lada Samaran ilmansuodatin koteloineen, koska se oli juuri sopivan kokoinen asennettavaksi konehuoneeseen ahtimen viereen. Ilmansuodatinkotelossa oli alun perin kiinni ilmamassamittari, jonka tilalle tehtiin sovituskappale ahtimen imuletkulle. Suodatinkotelon ilmanotto on kotelon pohjasta, joten siihen asennettu imuletku suunnattiin keulaa kohti viileämmän imuilman takia.

6.1.3 Polttoainejärjestelmä

Alkuperäinen polttoainejärjestelmä olisi ollut virityskäyttöön alimitoitettu etenkin polttoainepumpun osalta. Alkuperäisessä järjestelmässä polttoaineen paine on liian pieni uusille polttoainesuuttimille ja mikäli painetta olisi nostettu, olisi myös tuotto varmuudella loppunut kesken.

Uusittu ruiskutuslaitteisto vaatii polttoaineen paineeksi 3,5 bar, joten uudeksi pumpuksi valittiin tuotoltaan varmasti riittävän suuri yleismallin Bosch polttoainepumppu. Alkuperäinen polttoainepumppu on sijoitettu tankin sisälle, mutta uusi pumppu ei olisi sopinut sinne ilman suuria muutoksia. Tämän ongelman ratkaistiin tekemällä takakonttiin erillisen ≈ 3 litran säiliön, johon alkuperäinen pumppu syöttää polttoainetta. Tästä säiliöstä tehokkaampi pumppu imee polttoaineen ja syöttää polttoainelinjaan kohti konehuonetta. Alkuperäisen pumpun tuotto riittää mainiosti siirtopumpun tehtävään. Molempien pumppujen sähköt kytkettiin releen kanssa, jonka ohjaus tulee moottorinohjainlaitteelta. Takakonttiin asennettu polttoainejärjestelmän lisäsäiliö ja pumppu nähdään kuvassa 20.



KUVA 20. Lisätankki ja pumppu asennettuna takakontissa

Konehuoneeseen polttoaine tulee alkuperäistä polttoainelinjaa pitkin ja menee suoraan polttoainesuodattimelle. Suodattimelta paineenalainen polttoaine menee suutintukille. Suutintukilla polttoaineen paineen tulee olla täsmälleen oikea kaikissa moottorin käyttötilanteissa. Tämä tarkoittaa, että paineen suuttimilla on oltava aina vakio imusarjan paineeseen verrattuna. Imusarjassa oleva painehan vaihtelee alipaineen ja ylipaineen välillä, joten suutintukilta lähtevään polttoaineenpaluuputkeen asennettiin paineensäädin, joka säätelee polttoaineenpaineen suhteessa imusarjan sisäisen paineen mukaan. Paineensäätimeksi ostettiin sellainen, jossa on vakiona painemittari. Tämä helpottaa

huomattavasti paineiden säätöä ja tarkkailua. Polttoaineen paluulinja konehuoneesta menee takakontissa olevaan välisäiliöön.

6.1.4 Päästöjen puhdistus

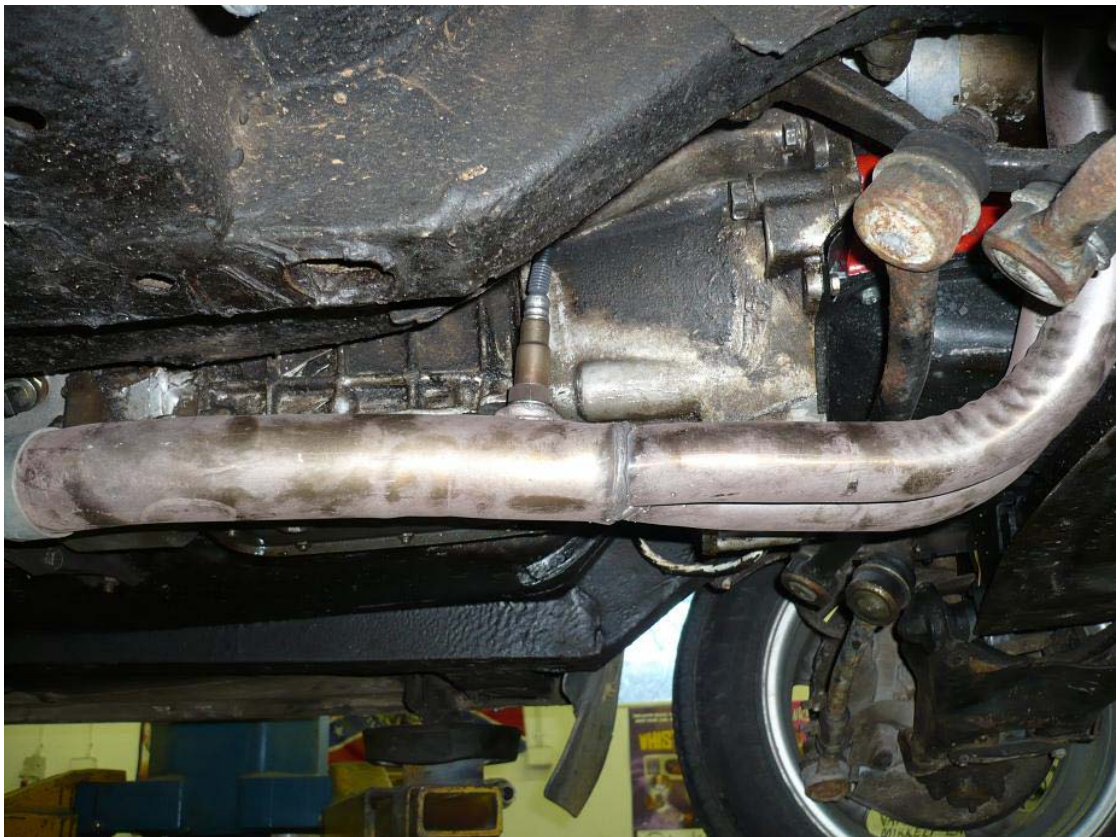
Pakokaasut ohjataan palotiloista pakosarjaan ja siitä auton alle katalysaattorille. Alkuperäinen pakosarja ja etupakoputki muodostavat tyypiltään 4-2-1 -pakoputkiston. Tämä on mielestäni riittävän hyvä virtaukseltaan kevyesti viritettyyn autoon, kun nokka-akselikin säilyy alkuperäisenä. Aluksi pakosarjaksi kaavailtiin niin sanottua peltipakosarjaa, jonka mitoitus on tehty tarkemmin moottorin hengitystä parantamaan. Luovuin kuitenkin ajatuksesta, koska pidin sen käyttöä tavoitteisiin nähden turhana.

Pakokaasupäästöjen puhdistukseen päätettiin käyttää auton alle sijoitettua kolmitoimikatalysaattoria. Katalysaattorin asennus välittömästi pakosarjan lähelle ei olisi ollut mahdollista konehuoneen ahtauden takia. Sen olisi juuri ja juuri voinut saada mahtumaan konehuoneeseen, mutta sen kuumenemisesta olisi voinut aiheutua pahoja ongelmia, koska muun muassa startti ja imusarja ovat niin lähellä. Sijoitus auton alla on katalysaattorille myös turvallisempi paikka termisen kuormituksen takia, kuin jos se olisi välittömästi kiinni pakosarjassa. Katalysaattoriksi valittiin käytössä laadukkaaksi osoittautunut Lada 110 -mallin alkuperäinen keraamikennollinen katalysaattori (kuva 21).



KUVA 21. Katalysaattori

Kuten jo aikaisemmin kerroin, happianturina käytettiin laajakaista-anturia. Se asennettiin auton alle etupakoputken kollektorin jälkeen ennen katalysaattoria. Kyseinen asennuspaikka on tässä tapauksessa paras, koska näin jokaisen sylinterin pakokaasujen jäännöshappi tulee mitatuksi. Asennuspaikka olisi voinut olla myös kuumemmassa paikassa lähempänä sylinterikantta, mutta anturin tehokkaan lämmitysvastuksen ansiosta sijainnilla ei ollut suurempaa merkitystä. Anturin asennolla on kuitenkin paljon merkitystä, sillä sen täytyy olla mahdollisimman pystyssä (kuva 22), ettei pakoputkessa oleva vesi jää seisomaan anturin sisään.



KUVA 22. Lambda-anturin asento

Alkuperäistä kampikammion huohotuskaasujen puhdistukseen käytettyä PCV-järjestelmää ei voitu käyttää sellaisenaan. Alun perin kaasuläpän ollessa auki kampikammiohöyryt ohjataan pääasiassa paksumpaa letkua pitkin ilmansuodatinkoteloon kaasuläpän eteen. Kaasuläpän ollessa kiinni höyryt ohjataan imusarjaan kaasuläpän toiselle puolelle, jossa vallitsee suuri alipaine. Omassa projektissani paksumpi letku liitettiin ahtimen imupuolelle. Ohuempi letku liitettiin imusarjaan, mutta tähän letkuun asennettiin takaiskuventtiili, koska välillä imusarjassa on ylipaine. Ilman takaiskuventtiiliä imusarjan ylipaine pääsisi kampikammioon päin ja voisi sylkäistä öljynmittatikun pois paikaltaan.

Polttoainehöyryjentalteenotto- eli EVAP-järjestelmän toteutettiin lähes alkuperäisellä tavalla, mutta siihenkin täytyi tehdä tiettyjä muutoksia. Alun perin aktiivihiihisäiliön huuhtelu tapahtuu magneettiventtiilin avulla ohjattuna ja huuhtelu tapahtuu suoraan imusarjaan kaasuläpän luokse. Tämä tapa ei kuitenkaan toimi ahdetussa moottorissa, jossa imusarjassa on välillä ylipaine. Aktiivihiihisäiliö jouduttiin siirtämään konehuoneessa oikealle puolelle ajovalon taakse, koska se ei mahtunut olemaan alkuperäisellä paikallaan vasemmalla lokasuojassa. Huuhtelu toteutettiin alkuperäisestä poiketen ilman magneettiventtiiliä, mutta huuhteluletkun asensin ahtimen imupuolelle. Siellä alipaine on niin pieni, että ohjaavaa venttiiliä ei tarvitse olla hitaamman huuhtelun ansiosta.

6.1.5 Jäähdytysjärjestelmä

Ahdinta paikalleen sovitettaessa kävi ilmi, että alkuperäinen jäähdyttimenkenno ja jäähdytyspuhallin eivät voi mitenkään mahtua paikalleen. Kennossa ylävesiletkun lähtö osui suoraan ahtimen hihnapyörään. Jäähdyttimen puhallin oli lisäksi niin paksu, että se olisi osunut ahtimen hihnavetoon. Ratkaisuksi löytyi uuden Lada 2105 -mallin alumiininen jäähdytin. Siinä ylävesiletkun lähtö on toisesta päästä kennoa, joten ahtimen käyttöhihnan vaatima tila jäi vapaaksi. Kyseisen jäähdyttimen käytössä oli sekin etu, että sen kanssa sopi käytettäväksi alkuperäiset 2105-mallin vesiletkut. Jäähdyttimen puhaltimeksi jouduttiin etsimään mahdollisimman ohuen mallin tilan ahtauden vuoksi. Sopiva puhallin löytyi lopulta yleismallin tarvikeosana (kuva 23).



KUVA 23. Kennot ja puhallin

Riittävän jäähdystystehon varmistamiseksi keulaan tehtiin ilmanvirtausta ohjaavat pelit (kuva 23), jotka ohjaavat mahdollisimman paljon ajoviimaa kennoille. Ilmanohjaimet tehtiin myös jäähdytinkennon ylä- ja alapuolelle, jotta kennoon kohdistuisi ajo- viiman muodostamaa patopainetta.

Alkuperäinen jäähdytinnesteen paisuntasäiliö ei uudessa kokoonpanossa mahtunut paikalleen, joten se poistettiin kiinnikkeineen. Uusi pienempi paisuntasäiliö tehtiin ruostumattomasta teräsputkesta, ja se asennettiin alkuperäistä säiliötä hiukan ylemmäs, johon se sopivasti mahtui.

6.1.6 Muut moottorin apulaitteet

Kuten aikaisemmin jo kerroin, moottoriin haluttiin tehdä mahdollisimman paljon muutoksia huoltokohteiden vähentämiseksi. Moottorin ulkoisista muutoksista tärkein oli mielestäni apulaitteiden muuttaminen moniurahihnalle. Alun perin laturi ja vesi-

pumppu toimivat kiilahihnan välityksellä. Kiilahihnan ongelma on siinä, että sitä joutuu kiristämään melko useasti ja se pitää olla kireämmällä luistamisen estämiseksi kuin moniurahihna. Tämä rasittaa etenkin vesipumpunlaakereita, ja yleistä onkin, että vesipumppu joudutaan uusimaan suurin piirtein 60 000 kilometrin välein.

Kuten edellä mainitsin, kampiakselinpäässä käytettiin Chevrolet Nivan hihnapyörää, joka on jo alun perin moniurahihnalle tehty. Tämä hihnapyörä siten määräsi hihnan aseman ja suunnan, koska en halunnut alkaa muokata muuten valmista hihnapyörää. Tämän takia laturi ja vesipumppu hihnapyörineen täytyi muuttaa moniurahihnalle sopivaksi.

Vesipumppuna ei voitu käyttää alkuperäistä pumppua, koska hihnan keskikohta ei olisi osunut pumpun laakerien kohdalle. Hihnan asema laakereihin nähden on tarkka niiden kestävyuden kannalta, koska hihnan kuormituksen täytyy osua juuri oikealle kohdalle. Pumpuksi jouduttiin valitsemaan Chevrolet Nivan vesipumpun pumppuosa, jossa on valmiina sopiva hihnapyörä. Pumpun pohjaosa ei kuitenkaan käynyt erilaisen letkulähtöjen vuoksi, joten Chevroletin pumppuosa jouduttiin yhdistämään alkuperäiseen pumpunpohjaan.

Laturiin olisi ollut helppoa asentaa uusi hihnapyörä moniurahihnalle, mutta alkuperäinen laturi oli jo paljon ajettu ja teholtaan huono. Sen latausvirta oli ainoastaan 60 A. Tämän vuoksi laturi vaihdettiin uuteen Lada Prioran laturiin, joka on teholtaan 90 A. Laturi vaati kuitenkin uudet kiinnikkeet lohkoon ja uuden kiristysraudan, koska kiinnitys alkuperäiseen verrattuna oli täysin erilainen. Laturiin jouduttiin vaihtamaan myös kapeampi hihnapyörä, koska Prioran hihnapyörä oli leveämmälle hihnalle tarkoitettu.

6.2 Muutosten toteutus

Muutosten toteutus suunnitelmien pohjalta oli melko helppoa aloittaa, koska lähes kaikille komponenteille oli jo suunniteltu oma paikkansa. Myös osa komponenteista oli tässä vaiheessa siirretty omalle paikalleen ja tehty niiden vaatimat kiinnikkeet ja muutokset.

Koriin tehtävät muutokset aloitettiin poistamalla konehuoneesta alkuperäinen akkute-line, koska akku ei olisi mahtunut olemaan alkuperäisellä paikallaan ahtoputkiston viemän tilan takia. Akku sijoitettiin takakonttiin, jossa sille on enemmän tilaa ja sijoi-tus on auton painojakaumankin kannalta parempi. Konehuoneeseen jouduttiin teke-mään lisää tilaa myös välijäähdyttimelle leikkaamalla keulan peltejä. Tämän lisäksi moottorin jäähdyttimen kennoa jouduttiin siirtämään hiukan taaksepäin, jotta väli-jäähdytin mahtui paikalleen. Kun kaikki muutokset koriin oli tehty, konehuone maa-lattiin uudelleen.

Seuraavaksi moottoriin ja konehuoneeseen asennettiin kaikki suurimmat osat, jotka määräävät muiden osien sijoittelun. Kyseessä oli lähinnä imu- ja pakosarjojen sekä ahtimen asennus. Imusarjan yhteydessä asennettiin myös suuttimet ja polttoainelinjat paineensäätimiseen. Polttoainejärjestelmän asennuksen jälkeen polttoaineen paine säädettiin 3,2 bar paineeseen ja samalla tuli koeponnistettua polttoainejärjestelmän liitokset. Ahtimen asennus moottoriin oli työnä yksi vaikeimmista, koska sille ei ollut mitään kiinnikkeitä valmiina ja kaikki piti alusta alkaen tehdä itse. Ahtimen asennus-paikan valinta oli kuitenkin helppo, koska se käytännössä mahtui tasan yhteen paik-kaan. Pelivaraa eri puolilla oli alle 1 cm. Haastavinta asennuksessa oli saada ahtimen käyttöhihnan linja sattumaan samaan linjaan kampiakselin hihnapyörän kanssa. Asen-nus kuitenkin onnistui niin hyvin, että mittatarkkuuden puitteissa ei voitu havaita lain-kaan heittoa.

Ahtimen käyttöhihnan reittiä jouduttiin muuttamaan, koska muuten hihna olisi osunut kampi-akselin pyörintänopeustunnistimeen. Tämä toteutettiin käyttämällä välitaitto-pyörää. Taittopyörästä on hyötyä myös siinä mielessä, että hihnan sai kiertämään suu-remman astemäärän ahtimen hihnapyörällä. Tämä lisää hihnan pitoa ja vähentää tar-vittavaa hihnan kiristysvoimaa. Hihnan kiristin asennettiin hihnan löysälle puolelle sellaiseen paikkaan, josta kiristys on helppo toteuttaa huoltoa ajatellen. Ahtimen käyt-töhihna ja kiristimet ovat kuvassa 24.



KUVA 24. Ahdin ja imusarja asennettuna

Kun suurimmat ja eniten tilaa vievät osat olivat paikallaan, tehtiin ruiskutusjärjestelmän johtosarja valmiiksi. Tässä vaiheessa se oli helppoa, koska kaikki anturit olivat jo paikallaan ja konehuoneessa oli vielä tilaa askarrella. Johtosarja vietiin rintapellin läpi kojelaudan alle, jonne asennettiin myös ohjainlaite. Ahtimen viemän tilan takia sytytystulpanjohdot jouduttiin rakentamaan mittojen mukaan aihioista, joissa sytytystulpan päässä on 90° kulma. Sytytyspuola sijoitettiin vasempaan lokasuojaan ahtimen alle, koska muualle se ei olisi mahtunut. Tulpanjohdot jouduttiin tekemään täysin mittojen mukaan ja ne täytyi niputtaa siten, että ne mahtuvat kulkemaan juohevasti eivätkä ota kiinni ahtimen kiinnitysrautoihin (kuva 25).



KUVA 25. Sytytystulpan johdot

Vesiletkujen asentaminen oli helppoa, koska alkuperäiset ylä- ja alavesiletkut kävivät lyhentämisen jälkeen sellaisenaan paikalleen. Myös alkuperäinen termostaatti sopi paikalleen ilman muutoksia. Tämän jälkeen ahtoputkisto tehtiin valmiiksi ja ilmansuodatin asennettiin omalle paikalleen. Bypass-venttiilin kierrätysletkulle tehtiin yhdistyskappale ahtimen imupuolen ja ilmansuodattimen väliin. Ahtoputkistoon käytettiin teräsputken lisäksi silikoniletkuja. Niiden avulla saatiin estettyä moottorin heilumisesta aiheutuvia liikkeitä kohdistumasta osiin, jotka eivät saa liikkua.

Viimeisenä konehuoneeseen asennettiin PCV- ja EVAP-järjestelmien osat sekä loput muut komponentit. Tuulilasinpesurin säiliö oli alun perin sijoitettu konehuoneessa vasempaan lokasuojaan ajovalon taakse. Tälle paikalle tuli kuitenkin ilmansuodattinkotelo, joten pesunestesäiliö jouduttiin siirtämään oikealle puolelle konehuonetta sulakerasian eteen. Alkuperäinen isokokoinen säiliö ei olisi mahtunut paikalleen siihenkään, joten sen tilalla käytettiin pienempää Lada Nivan pesunestesäiliötä. Auton alkuperäinen äänimerkinantolaite oli kaksiaäninen paineilmatorvi, joka jouduttiin korvaamaan pienemmällä maskin taakse asennetulla torvella.

Loppujen lopuksi kaikkien muutosten toteutus konehuoneeseen onnistui yllättävän hyvin, vaikka ylimääräistä tilaa ei juuri ollut. Kuvista 26 ja 27 käy ilmi valmiin moottorin osien sijoittelu ja komponentit.



KUVA 26. Konehuone valmiina



KUVA 27. Konehuone valmiina

6.3 Ruiskun ohjelmointi ja moottorin säätäminen

Ennen moottorin käynnistämistä täytyi moottorin ohjainlaitteeseen tehdä alustava ohjelmointi. Ohjainlaitteeseen ohjelmoin alustavat sytytyksen ja ruiskutuksen arvot, jotta sain koneen käyntiin. Myös anturit kalibroitiin tässä vaiheessa tai ohjelmoitiin niiden arvot järjestelmään. Ohjelmointi tapahtuu tietokoneelle asennettavan ohjelman avulla. Tämän ohjelman tiedot lähetetään lopuksi sarjaporttiliitännän avulla moottorin ohjainlaitteeseen ja ohjainlaite lukitaan.

Kun olin saanut moottorin käyntiin, tarkennettiin arviosta ohjelmoituja arvoja lambda-anturin signaalin perusteella eri tilanteissa. Kovin tarkka näin suoritettu säätö ei kuitenkaan ole, mutta mahdollistaa autolla ajamisen. Ajossa tarkkailtiin moottorin ja apulaitteiden yleistä toimintaa, jotta mahdolliset viat olisi saatu paljastettua. Tämä testausajo olikin periaatteessa vain valmistautumista dynamometrissä tehtävään säätämiseen.

Varsinainen ruiskunsäädön alustadynamometrissä suoritti AMV Dyno Service Lappeenrannassa, koska kyseisellä yrityksellä oli hyvä aiempi kokemus KMS-ruiskujen säädössä. Dynamometrissä suoritettu säätö (kuva 28) mahdollisti moottorin kuormit-

tamisen erilaisia käyttötilanteita simuloiden ja näin moottori saatiin toimimaan optimaalisesti kaikissa tilanteissa. Samalla voitiin seurata päästöjä pakokaasuanalysaattorilla erilaisilla kuormituksilla ja säätöä vaativat tilanteet havaittiin. Dynamometrissä saatiin haettua myös optimaaliset sytytysennakon arvot, koska mahdollinen nakutus olisi havaittu kuulokkeiden avulla. Tällä tavalla moottori saatiin toimimaan maksimaalisilla sytytysennakoilla mutta silti turvallisesti nakutusrajan alapuolella.



KUVA 28. Säätö alustadynamometrissä

Säätöjen jälkeen auto todennäköisesti jo läpäisisi tavoitellun euro-2 -päästönormin mukaisen päästömittauksen. Kuitenkin jo olemassa olevia säätöjä on mahdollista hienosäätää tarkemmiksi erilaisissa käyttöolosuhteissa ennen lopullista päästömittausta. Nyt auto on säädetty talviolosuhteissa, joten sen toimintaa on syytä tarkkailla myös kesällä kuumissa olosuhteissa. Näiden eri olosuhteissa saatujen tietojen pohjalta voidaan suorittaa lopullinen säätö, jonka jälkeen auto on valmis päästömittaukseen.

7 MITTAUKSET JA TULOKSET

Myös tehomittauksen suoritti AMW Dyno Service sen jälkeen, kun ruiskun säädöt oli saatu tehtyä. Tehomittauksen tulokset olivat samansuuntaisia, kuin mitä olin asettanut

tavoitteeksi (liite 1). Tavoitteeksi asettamani 140 hv ylittyi hiukan huipputehon ollessa 143 hv moottorin pyörintänopeudella 5443 rpm. Huipputeho nousi siis alkuperäiseen moottoriin verrattuna lähes 60 hv. Tuloksissa täytyy kuitenkin ottaa huomioon kasvanut sylinteritilavuus, joten osa lisääntyneestä tehosta tuli sitä kautta.

Vääntömomentin huippuarvo 217 Nm saavutettiin moottorin pyörintänopeudella 3923 rpm, joka on alkuperäiseen moottoriin verrattuna 80 Nm enemmän. Huippuvääntöä ratkaisevampaa kuitenkin on vääntökäyrän muoto. Vääntöä oli tasaisesti joutokäynti- kierroksilta aina moottorin suurimmille pyörintänopeuksille.

Mittausten aikana selvisi myös moottorin ahtopaine (liite 2). Tavoitteena ahtopaineelle ollut 0,5 bar saavutettiin yllättävän tarkasti, vaikka ahtimen hihnavälitys oli tehty arviolta. Ahtopaine koko kierrosalueella pysyi 0,4 – 0,6 bar alueella, joka moottoriin toiminnan kannalta osoittautui juuri sopivaksi. Ahtopaine olisi voinut olla hiukan pienempikin, mutta säätämisen olisi joutunut tekemään muuttamalla ahtimen välityssuhdetta, joka olisi ollut liian iso työ hyötyyn nähden.

Päästöjä tarkasteltiin mittausten aikana pakokaasuanalysaattorin avulla. Mahdollisimman tarkkojen tulosten saamiseksi katalysaattori ei ollut asennettuna paikoilleen. Joutokäynnillä HC- ja CO-päästöt olivat hyvät, lähes koko ajan reilusti alle 200 ppm. Suurimman osan ajasta joutokäynnin HC-arvo oli suurin piirtein 170 ppm, joka on todella hyvä tulos. Joutokäynnin CO-pitoisuus oli noin 0,7 %. Myös analysaattorin laskennallinen lambda-arvo pysyi hienosti kapealla alueella stökiometrisen seoksen tuntumassa. Suuremmilla moottorin pyörintänopeuksilla HC- ja CO-päästöt olivat myös erinomaisen pienet.

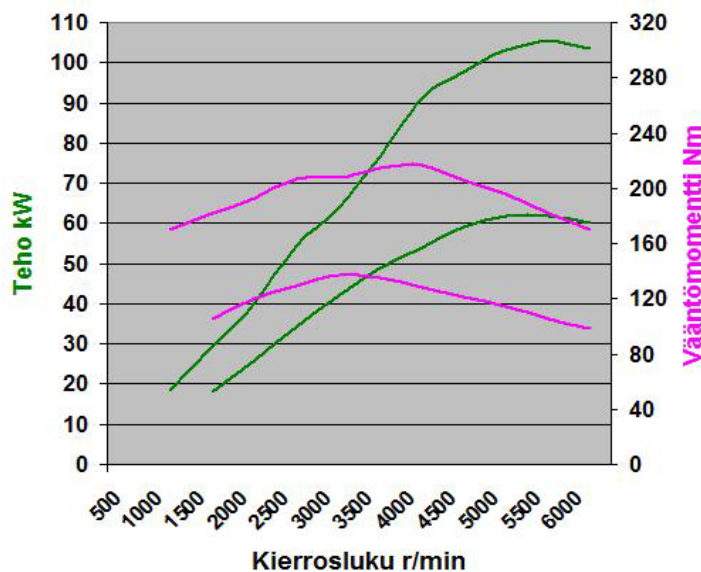
Katalysaattori paikalleen asennettuna sen lämpiämisaikaa ja lämpiämisen aikaisia päästöjä mitattiin myös. Päästöt olivat heti käynnistyksen jälkeen melko korkeat, kuten lähes kaikissa autoissa on ennen katalysaattorin ja lambda-anturin lämpiämistä. Anturi kuitenkin lämpiää todella nopeasti toimintalämpötilaan tehokkaan sisäisen vastuksen ansiosta. Tämän jälkeen anturi alkaa välittömästi säätää seosta oikeaksi ja päästöt putoavat. Ruiskun hienosäädöllä heti käynnistyksen jälkeen syntyvät päästöt voidaan saada putoamaan lähes tälle tasolle. Katalysaattorin lämmentyä pakokaasuvarvot olivat reilusti alle OBD-autoilta vaadittujen katsastuksen raja-arvojen, jotka ovat tällä

hetkellä tiukimmat katsastuksen raja-arvot. Välillä analysaattori näytti HC- ja CO-päästöjen osalta jopa nollaa.

Polttoaineenkulutusta mitattiin samalla tavalla kuin moottorin sisäisten muutosten yhteydessä. Autolla ajettiin yli 2000 kilometriä sekalaista ajoa erilaisissa olosuhteissa, ja tältä ajalta laskettiin kulutus. Yksi tankillinen ajettiin pelkästään kaupunkiajoa, jonka kulutukseksi saatiin 9,8 l/100km. Maantieajossa kulutus oli ainoastaan 6,7 l/100km. Keskikulutukseksi koko 2000 km testiajolle mitattiin 7,3 l/100km, jossa ajo jakautui melko tasaisesti maantie- ja kaupunkiajoon. Tuloksissa täytyy ottaa huomioon se, että testiajon aikana oli poikkeuksellisen kylmää lämpötilan ollessa välillä jopa alle -20 °C.

8 TULOSTEN ANALYSOINTI

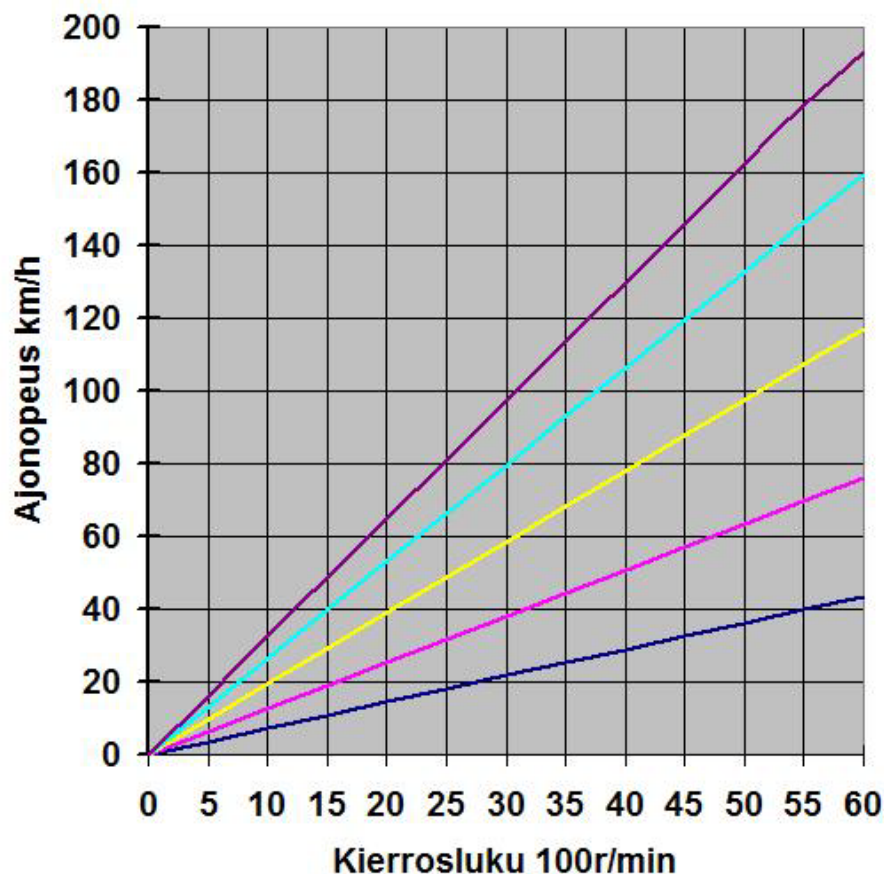
Tehomittausten perusteella moottori on luonteeltaan vääntävä, ei niinkään kierroskone. Vääntökäyrän muoto on bensiinimoottorille epätavallinen. Käyrä vastaa pikemminkin turbodieselmoottoreita. Alkuperäiseen moottoriin verrattuna suorituskyky muuttui todella tuntuvasti. Tavoitteet suorituskyvyn suhteen täytyivät kirokkaasti. Mitattu teho 143 hv oli juuri sitä suuruusluokkaa, kuin mitä asetin tavoitteeksi. Vääntömomentin nousulle en osannut alun perinkään asettaa tarkkaa tavoitetta, mutta mitattu vääntö oli huomattavasti suurempi, kuin mitä olin osannut odottaa. Alkuperäisten ja muutoksen jälkeisten suoritusarvojen konkreettinen muutos on helppoa havaita kuvasta 29.



KUVA 29. Suoritusarvot vertailussa

Käytännön ajotilanteissa suorituskyvyn muutokset olivat yhtä dramaattiset, kuin mitä tehomittauksen tulokset antavat olettaa. Käyttöominaisuudet paranivat huomattavasti normaalia käyttöä ajatellen. Mekaanisen ahtimen tuottaman suoraviivaisen ahtopaineen ansiosta voima on helposti hallittavissa ja ajaminen on suuren väännön takia helpompaa kuin vakiomootorilla. Tarvittaessa suorituskykyä löytyy riittävästi nyt myös ohitustilanteisiin ja ripeämpään etenemiseen. Tästä huolimatta Ladan alkuperäinen alustarakente ja jarrujärjestelmä riittävät hyvin parantuneen suorituskyvyn kanssa.

Suorituskyvyn mittaus oli tarkoitus suorittaa myös kiihtyvyyssarvojen osalta. Se ei kuitenkaan onnistunut talvikelin liukkauden takia. Alkuperäisiin arvoihin tuli varmasti paljon parannusta, vaikka tuloksia en saanutkaan määritettyä. Käytännön voiman perusteella 0 – 100 km/h kiihdytykseen kuluvan ajan pitäisi helposti alittaa 10 sekuntia. Toisaalta Ladan välityssuhteiden takia kyseinen kiihdytysmittaus on melko epäkiitollinen suorittaa, koska toinen vaihde ei riitä 100 km/h nopeuteen saakka (kuva 30). Tästä johtuen kolmannelle vaihteelle vaihtamiseen kuluva aika näkyy myös kiihdytysarvoissa.



KUVA 30. Teoreettiset nopeudet eri vaihteilla

Päästöjen suhteen tulokset olivat hyvät ja tavoitteiden mukaiset. Hyvät päästöarvot ovat eniten tarkan seoksen säädön ansiota. Laakakaista-anturi reagoi nopeasti seoksen muutokseen kaikissa ajotilanteissa, ja tarkan 4-pisteruiskun ansiosta seos pysyy oikeana jokaisessa sylinterissä. Alkuperäiseen järjestelmään verrattuna seoksen säätötarkkuus parani huomattavasti. Stökiometrisestä seoksesta poikkeaminen laihalle näkyisi etenkin NO_x-päästöissä välittömästi. Seoksen poikkeaminen rikkaalle taas näkyisi kasvaneina CO- ja HC-päästöinä. Näillä mitatuilla päästöillä euro-2 normin -päästömittauksen läpäiseminen ei ole ongelma.

Päästöjen ja kulutuksen kannalta olisi ollut mielenkiintoista tehdä päästömittaus alustadynamometrissä kemilumenesenssianalysaattorin kanssa, jolla saataisiin mitattua NO_x-päästöt. Tämä ei valitettavasti ollut työn puitteissa mahdollista, koska mittauspaikkoja on Suomessa harvassa. Tällä tavalla saataisiin optimoitua kulutus suhteessa NO_x-päästöihin. Nyt moottorin seossuhde jouduttiin säätämään typenoksidien parhaan mahdollisen teoreettisen puhdistustehon takia hiukan rikkaalle kaikissa olosuhteissa. Todennäköisesti kevyellä kuormalla ajamisen seosta voisi laihentaa ilman merkittävää NO_x-päästöjen kasvamista. Tästä olisi hyötyä moottorin polttoaineenkulutuksen kannalta, joka voisi pudota jopa huomattavasti.

Lopulliset mitatut kulutuslukemat olivat alkuperäiseen moottoriin verrattuna kuitenkin hyvät. Mittausten kylmät olosuhteet huomioon ottaen mitattu kulutus on varmasti pudonnut lähtötilanteesta. Tarkkaa eroa alkuperäiseen on vaikea arvioida näin suppeiden mittausten pohjalta, mutta pudotusta keskikulutuksessa on ainakin 1 l/100km. Tämä on mielestäni hyvä saavutus, koska moottorin hyötysuhde on selvästi parantunut lisääntyneestä suorituskyvystä huolimatta.

Testiajojen yhteydessä kävi ilmi, että auton välityssuhteet eivät ole parhaat mahdolliset uuden moottorin laajan väännön takia. Nykyisellään moottori käy turhan suurilla pyörintänopeuksilla, joka nostaa kulutusta etenkin suuremmilla ajonopeuksilla. Kuvasta 30 havaitaan, että moottorin pyörintänopeus on yli 3000 rpm ajettaessa 100 km/h nopeudella. Todellisuudessa moottorin vääntö riittäisi mainiosti, vaikka sen kierrokset olisivat ainoastaan 2000 rpm kyseisellä nopeudella. Hyötysuhdetta voisikin parantaa huomattavasti käyttämällä harvempaa välityssuhdetta voimansiirrossa.

9 POHDINTA

Opinnäytetyön laajuudesta johtuen työ oli todella monipuolinen sisältäen niin teoreettista tutkimusta kuin mekaanistakin työtä. Tästä syystä työn suoritus opetti paljon etenkin suurien kokonaisuuksien hallintaa. Työn läpiviemi vaati tarkan suunnitelman ja selkeät tavoitteet jo heti alussa, mutta näiden ansiosta työn suorittaminen onnistui kokonaisuutena paremmin kuin olisin uskonut. Työn mekaaninen toteutus vei huomattavasti enemmän aikaa kuin mitä olin osannut olettaa. Mekaaninen toteutus kulki kokoajan käsi kädessä teoreettisen opin ja laaditun suunnitelman kanssa, mutta silti se toi mukavaa vaihtelua kokonaisuuteen.

Tulosten osalta opinnäytetyön läpivieminen onnistui mielestäni hyvin. Kaikki työlle asetetut tavoitteet täyttyivät yllättävän hyvin, vaikka samalla löytyi myös lisää kehitettävää. Moottorin tuottaman tehon suhteen tavoitteet täyttyivät kirkaasti, mutta hyötysuhteen ja päästöjen osalta jäi vielä kehitettävää, joka ei ollut opinnäytetyön puitteissa mahdollista suorittaa. Olisi ollut mielenkiintoista jatkaa mittauksia etenkin NO_x-päästöjen osalta ja näin optimoida moottorin seossuhde suhteessa päästöihin ja polttoaineen kulutukseen. Myös auton välityssuhteissa ilmeni kehitettävää, minkä ansiosta polttoaineenkulutusta voisi vielä nykyisestä pienentää.

Työn viritystoimenpiteiden kannattavuus on vaikea määritellä etenkin, kun kohteena oli arvoltaan halpa auto. Viritystoimenpiteet kuitenkin maksavat aina riippumatta siitä, mihin autoon ne toteutetaan. Ladan käyttö kohdeautona oli todennäköisesti palkitsevampaa kuin modernimman auton käyttö, koska tulokset olivat selkeämmin havaittavissa. Polttoaineenkulutuksessa saavutetulla säästöllä viritystoimenpiteitä ei voida perustella, vaikka kulutus olisi pudonnut enemmänkin. Hyötyä voi kuitenkin perustella parantuneina käyttöominaisuuksina ja ympäristöystävällisyydellä. Omassa projektissa myös moottorin huoltokohteiden määrä väheni oleellisesti, ja tämäkin parantaa osaltaan moottorin käyttöominaisuuksia.

Mielestäni työni tulosten tulisikin herättää ajatuksia etenkin moottorin virittäjien keskuudessa. Tulosten perusteella virittämisessä voidaan onnistuneesti ottaa huomioon myös moottorin hyötysuhteen parantaminen ja päästöjen pienentäminen. Aivan liian usein virityksen tuloksena päästöt ja polttoaineenkulutus nousevat alkuperäiseen verrattuna. Nykypäivänä myös virittäjien tulisi kantaa vastuu tuottamistaan päästöistä.

Tällä tavalla autoharrastajiin kohdistuvia syytöksiä ilman pilaamisesta voidaan vähentää ja samalla harrastuksen mainetta saadaan parannettua. Päästöjen huomioon ottaminen viritettäessä lisää jonkun verran rahallisia kustannuksia ja huipputehosta joudutaan tinkimään, mutta tämä ei silti saisi johtaa asian laiminlyömiseen.

LÄHTEET

- /1/ Lada-kerho ry Suomi. WWW-dokumentti.
<http://www.ladakerho.fi/info/takaveto/2107.htm>. Ei päivitystietoa. Luettu 6.10.2010
- /2/ OAO Avtovaz. Illustration album VAZ-21213. Togliatti. 2001
- /3/ Oy Konela AB. Käyttöohjeet Lada 1700i. Helsinki. 1995.
- /4/ Liikenneministeriön päätös ajoneuvon rakenteen muuttamisesta 779/1998. WWW-dokumentti. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1998/19980779>. Ei päivitystietoa. Luettu 10.11.2010
- /5/ OAO Avtovaz. ППД на ВАЗ История. WWW-dokumentti. <http://vaz.ru/skbrpd>. Ei päivitystietoa. Luettu 18.7.2006
- /6/ NGK Europe. Pakokaasujen perusteita, euronormit. WWW-dokumentti.
<http://www.ngk.de/fi/tekniikka-yksityiskohtaisesti/lambdatunnistimet/pakokaasujen-perusteita/euronormit/>. Ei päivitystietoa. Luettu 11.11.2010
- /7/ Bosch. Auto-teknillinen taskukirja 6. painos. Stuttgart: Robert Bosch GmbH. 2002.
- /8/ Autoalan Koulutuskeskus Oy. Moottorialan Sähköoppi. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy. 2005
- /9/ Mauno Esko. Virittäjän käsikirja 3, polttoainelaitteet. Helsinki: Alfamer Oy. 1992.
- /10/ Bell A. Graham. Nelitahtimoottorin virittäminen. Helsinki: Alfamer Oy. 1998.
- /11/ U.S. Environmental Protection Agency. WWW-dokumentti.
<http://www.epa.gov/oms/gifs/im240f2.gif>. Ei päivitystietoa. Luettu 12.12.2010.
- /12/ OAO Avtovaz. Vehicles Lada Niva parts catalogue. Togliatti. 2003
- /13/ Nitrostreet. Injector Selector. WWW-dokumentti.
<http://www.nitrostreet.com/injectors.htm>. Ei päivitystietoa. Luettu 30.12.2010.

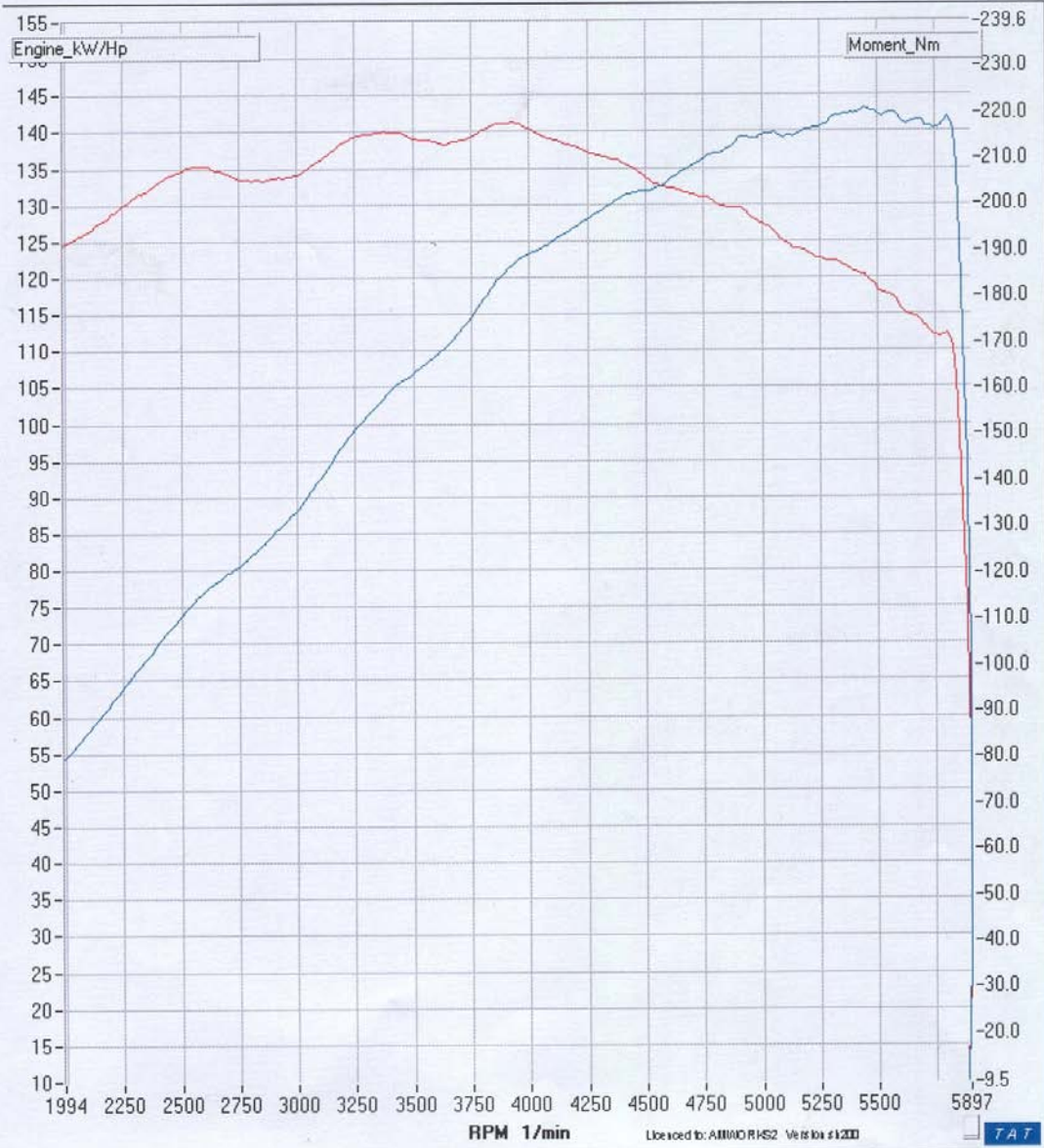
AMW Dyno Service
Vihtolantie 37
53650 Lappeenranta

www.amwdynoservice.com p.0500759612

FILE: E:\TAT_VW98\vb03.r01 DATE: 22/11/2010 TIME: 16:08:56

5v Lada Blower

143.1 PS (105.2 kW) / 5443 1/min (168 km/h) 217.8 Nm / 3923 1/min



Licensed to: ALLIAD RMS2 Version #1200

TAT

AMW Dyno Service
Vihtolantie 37
53650 Lappeenranta

www.amwdynoservice.com p.0500759612

FILE: E:\TAT_W98Vb03.r01 DATE: 22/11/2010 TIME: 16:08:56
5v Lada Blower
143.1 PS (105.2 kW) / 5443 1/min (168 km/h) 217.8 Nm / 3923 1/min

