

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma

Auto- ja korjaamotekniikka

Tutkintotyö

Sami Karttu

PAKOKAASUAHTAMINEN JA MONIPISTERUISKUTUS OTTOMOOTTORISSA

Työn ohjaaja

Marko Mäkilouko

Tampere 2006

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Auto- ja kuljetustekniikka

Auto- ja korjaamotekniikka

Karttu, Sami Pakokaasuahdaminen ja monipistesuihkutus ottomoottorissa

Tutkintotyö 41 sivua

Työn ohjaaja Marko Mäkilouko

Toukokuu 2006

Hakusanat pakokaasuahdin, välijäähdytin, moottorinohjain

TIIVISTELMÄ

Pakokaasuahdin on laite, joka saa käyttövoimansa moottorin pakokaasuista. Ahtimena on keskipakopumppu, joka on kiinnitetty samalle akselille turbiinin kanssa ja se pyörii samalla nopeudella. Ahtimen käytöllä pyritään parantamaan moottorin ominaisuuksia, kuten tehoa ja vääntömomenttia. Tässä työssä on pyritty luomaan perusta ahtimen mitoittamiselle jo olemassa olevaan, ahtamattomaan moottoriin ja selvittämään yhden mahdollisen polttoainejärjestelmän käyttöä kyseisessä konstruktiossa.

Työssä on laskennallisesti ja teoreettisesti selvitetty ahtimen mitouksen perusteita käytettäessä ottomoottoria. Erityisesti on korostettu järjestelmän testaamista ja laskettujen arvojen mittaamista ja toteamista käytännössä.

TAMPERE POLYTECHNIC

Automobile and Transport Engineering

Automobile and Garage Engineering

Karttu, Sami

Turbocharger and multipoint injection in an otto engine

Engineering Thesis

41 pages

Thesis supervisor

Marko Mäkilouko

May 2006

ABSTRACT

Turbocharger is a device, which is driven by the engines own exhaust gases. The gas compressor in the intake tract compresses air above atmospheric pressure in order to increase the volumetric efficiency of the engine. The main purpose of this study is to create a basic knowledge of turbocharger calculations when used in an otto engine. The use of a multipoint injection in a turbocharged engine is also discussed.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO	4
1 JOHDANTO	5
2 TURBOAHTIMEN VALINTA	6
2.1 ILMANPUHDISTIMEN VAIKUTUS JÄRJESTELMÄN TOTEUTUKSEEN	10
2.2 PAINEPUTKISTON MITOITUS JA SUUNNITTELU.....	11
3 AHDETUN ILMAN JÄÄHDYTYS	11
3.1 VÄLIJÄÄHDYTTIMEN HYÖTYSUHDE	12
3.2 VÄLIJÄÄHDYTTIMEN MITOITUS	16
3.3 PÄÄTYJEN MUOTO	17
3.4 LÄMMÖNVAIHTO VÄLIJÄÄHDYTTIMESSÄ	17
4 KAASUNVAIHTOJÄRJESTELMÄ	18
4.1 KAASULÄPPÄKOTELO	18
4.2 IMUSARJA.....	19
4.3 PAKOPUTKISTO.....	22
4.4 PAKOPUTKISTON SUUNNITTELU.....	23
5 TEORIOIDEN TOTEAMINEN KÄYTÄNNÖSSÄ	24
5.1 MITTAUSPISTEET JÄRJESTELMÄSSÄ IMUPOUELELLA	24
5.2 MITTAUSPISTEET PAKOPOUELELLA	25
6 MOOTTORINOHJAIN	27
6.1 MOOTTORINOHJAUSJÄRJESTELMÄN PÄÄOSAT	28
6.2 KÄYTTÄJÄN MÄÄRITTELEMÄT PARAMETRIT	31
6.3 SÄÄTÄMINEN	33
6.4 TIEDONKERUU.....	34
7 POLTTOAINEJÄRJESTELMÄ	37
8 PÄÄTELMÄT	40
LÄHTEET	41

1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena on luoda teoreettinen perusta ottomoottorin pakokaasuahtimen valinnalle ja perehdyttää lukija periaatteellisesti erään ohjelmoitavan moottorinohjaimen toimintaan ja käyttöön. Tarkoitus ei ole esittää ehdottomia totuuksia tai välttämättömiä toimintatapoja, vaan esimerkkien avulla perustella omia valintoja mitoitusten ja menetelmien suhteen.

Seuraavassa on esitelty hyvin suppeasti turboahtamiseen liittyvien suureiden teoreettista mallintamista ja mitoitusta. Aiheen laajuuden vuoksi keskitytään ahtimen valintaan ja mitoitukseen, sekä moottorin hengitykseen yleensä. Aluksi tulee selvittää, mitä ahdinta tullaan käyttämään sekä miten järjestelmän tulee muuten toimia. Kun kaikki osa-alueet on käsitelty, tulee järjestelmän toimivuus ja suunnittelun onnistuminen selvittää käytännön mittauksilla.

2 TURBOAHTIMEN VALINTA

Kriteereinä ahtimen valinnassa ovat hinta, saatavuus ja optimaalinen koko. Koska kyseessä on tiukalla budjetilla toteutettava projekti on ahtimen hinnalla suuri merkitys. Siksi ustannuskysymykset rajaavat pois uudet ja mittatilaustyönä valmistetut hybridiahtimet.

Tarkastelun kohteena on erityisesti turboahtimen kompressorin, jottei se väärän kokoisena aiheuta tarpeetonta lämmön nousua tai jää tuotoltaan riittämättömäksi. Valinta suoritetaan ahtimen aikayksikössä pumppaaman ilman määrän ja ahtimen painesuhteen perusteella. Lisäksi tulee ottaa huomioon, että laskemalla voidaan selvittää vain likimääräiset lähtöarvot. Todelliset arvot voidaan selvittää mittaamalla vasta, kun turboahdin on asennettu paikoilleen ja moottoria voidaan kuormittaa ja koeajaa todellisissa olosuhteissa. Todellisuudessa oikea ahdin voidaan siis valita vain kokeilemalla jokaista kokoonpanoa käytännössä. Laskennassa käytetyt kaavat ja taulukot ovat Autotekniikan käsikirjan Moottori-osuuden mukaan /1, s. 258/. Kaikki laskut on suoritettu käyttäen likiarvoja ja olettamuksia, ilman mitattuja todellisia arvoja, joten tulokset ovat vain viitteellisiä.

Ensin lasketaan painesuhde, joka kompressorin tulisi saavuttaa.

$$P_r = \frac{P_2 + P_1}{P_1}$$

jossa $p_2 =$ ahtopaine (bar)

$p_1 =$ ulkoilman normaalipaine (bar)

$$P_r = \frac{1,3+1}{1} = 2,3$$

Selvitetään ahtimen valinnassa tarvittava tilavuusvirta, kuinka paljon ilmaa ahtimen tulee siirtää moottoriin /1, s. 258/:

$$V = k \tau V_k \cdot \frac{n}{2} \cdot \frac{p_2}{p_1} \cdot \frac{T_1}{T_2}$$

jossa

- V = tilavuusvirta (m^3/s)
- V_k = moottorin kokonaisiskutilavuus (l)
- n = moottorin suurinta tehoa vastaava käyntinopeus (1/s)
- τ = sylinterin täytösaste
- k = muunnoskerroin (10^{-3})
- p_1 = ulkoilman normaalipaine (bar)
- p_2 = ahtopaine (absoluuttisena paineena) (bar)
- T_1 = ulkoilman normaalilämpötila (K)
- T_2 = ahtoilman lämpötila (K)

Muunnoskerroimen $k = 10^{-3}$ tehtävä on mahdollistaa iskuutilavuuden syöttäminen kaavaan litroina. ISO-normin mukaan $p_1 = 1\text{bar}$ ja T_1 vastaavasti 300K eli $+27^\circ\text{C}$. Täytösastetta, ahtopainetta ja ahtoilman lämpötilaa ei tunneta, ja ne voidaan selvittää vain kokeilemalla. Suuret ovat riippuvuussuhteessa toisiinsa, sillä ahtopaineen kasvaessa täytösaste kohoaa, kuten myös ahtoilman lämpötila. Koska tarkkoja vastaavuuksia ei tunneta, käytetään lähtöarvoina seuraavia taulukon 1 arvoja /1, s. 258/ :

Taulukko 1. lämpötilat

p2	τ	T2
1,20- 1,35	0,80- 0,85	350-370
1,40- 1,70	0,85- 0,90	370-395
1,70- 2,00	0,90- 0,95	390-410
2,00- 2,30	0,95- 1,05	400-430

Näiden arvojen avulla lasketaan tilavuusvirta:

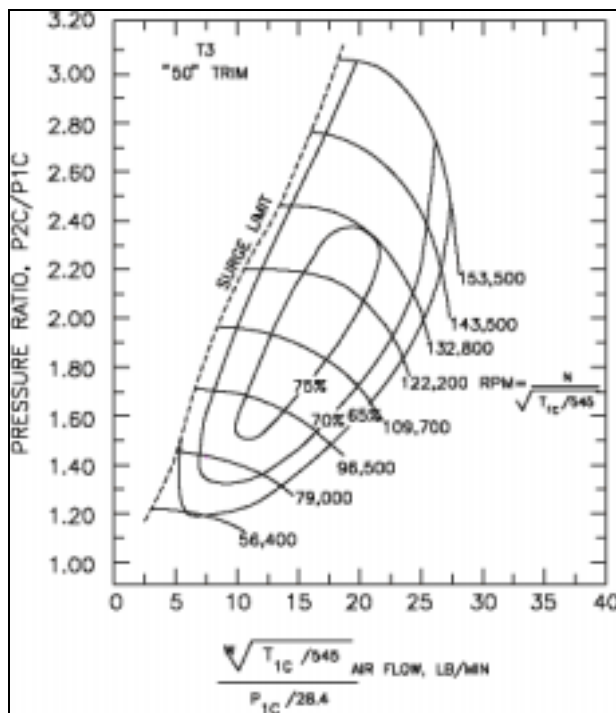
$$V = 10^{-3} \cdot 1,00 \cdot 1,65 \cdot \frac{93,33}{2} \cdot \frac{2,3}{1} \cdot \frac{300}{410} = 0,12958 m^3 / s$$

Koska ahtimien painekartoissa ilmoitetaan maasvirta yksikössä lb/min (paunaa minuutissa), muunnetaan tulos vastaavaan yksikköön:

$$\frac{0,12958 m^3 / s \cdot 1,226 kg / m^3}{7,56 \cdot 10^{-3}} = 21,0139 lb / min$$

Painekarttoja vertailemalla ahtimeksi valittiin Garrett T3-50, jonka saatavuus on hyvä ja hinta sen vuoksi kohtuullinen. Kyseinen turboahdin on myös varustettu vesijäähdytyksellä, joten käyttöikä pitäisi olla riittävä. Vesijäähdytyksen ansiosta laakerit pysyvät viileämpinä, ja ajon jälkeistä jäähdytyskäyttöä voidaan lyhentää vaurioittamatta ahdinta.

Seuraavasta kuvan 1 painekartasta selvitetään, millä hyötysuhdealueella tullaan liikkumaan.



Kuva 1. Painekartta

Valittu kompressori kykenee parhaimmillaan 75 prosentin hyötysuhteeseen.

Nähdään, että ilmamäärän ollessa n.17 lb/min ja painesuhteen ollessa 2.3, on kompressorin hyötysuhde n.75%. Ainakin teoriassa kompressori soveltuu kyseiseen moottoriin todella hyvin. Varmistetaan vielä, ettei pienemmillä kierroksilla mennä lähelle sakkaurajaa. Oletetaan ahtimen saavuttavan täydet ahtopaineet noin 3500 kierroksen kohdalla:

$$V = 10^{-3} \cdot 1,00 \cdot 1,65 \cdot \frac{58,33}{2} \cdot \frac{2,3}{1} \cdot \frac{300}{410} = 0,08099 m^3 / s$$

Muunnetaan karttaan sopivaksi yksiköksi:

$$\frac{0,08099m^s / s \cdot 1,226kg / m^3}{7,56 \cdot 10^{-3}} = 13,13lb / min$$

Kun sijoitetaan saatu arvo painekarttaan, nähdään, ettei olla sakkausrajalla edes pienillä kierroksilla. Ahtimen valinta on siis ainakin teoriassa onnistunut.

2.1 Ilmanpuhdistimen vaikutus järjestelmän toteutukseen

Yleisesti voidaan todeta, että virtausvastuksen ollessa suuri lämpötila kohoaa merkittävästi, koska kuristava suodatin aiheuttaa painesuhteen kasvun. Se puolestaan nostaa lämpötilaa, koska ahdin joutuu kehittämään pienemmästä määrästä ilmaa yhtä suuren paineen, eli joutuu työskentelemään huomattavasti kovemmin.

Kuten jo aiemmin on todettu, ilma samassa paineessa ja tilavuudessa mutta korkeammassa lämpötilassa ei ole yhtä tiivistä, eli noudattaa kaasujen yleistä tilanyhtälöä. Mitä tiiviimpää ilma on, sitä enemmän voidaan polttoainetta polttaa. Siksi ahdistamaton suodatin on ehdoton edellytys toimivalle laitteistolle.

On tärkeää huomioida suodattimen sijoituksessa viileän ilman johtaminen suoraan suodattimelle. Imuputkiston tulee olla muodoltaan jouheva. Siksi tulee välttää turhia mutkia tai portaita sekä virtauspinta-alan muutoksia. Ei pidä kuitenkaan unohtaa ilmanpuhdistimen tärkeintä tehtävää, eli ilman puhdistamista. Suodattimen tulee ennen kaikkea kyetä poistamaan epäpuhtaudet imuilmasta, jotta vältytään moottorin enneaikaiselta kulumiselta.

Ilmanpuhdistinta käytetään sarjatuotantomootoreissa myös imuäänten vaimentajana. Tässä tapauksessa äänen voimakkuudella ei kuitenkaan ole suurta merkistystä, joten sitä ominaisuutta ei tutkita.

2.2 Paineputkiston mitoitus ja suunnittelu

Kokoon puristettu ilma tulisi siirtää kompressorilta välijäähdyttimelle ja siitä eteenpäin moottoriin ilman suuria painehäviöitä ja virtausvastuksia. Näiden vaatimusten mukaan suunnitellaan toimiva putkisto.

Putkiston virtausvastukseen vaikuttavat seuraavat tekijät: putken halkaisija, taivutusten jyrkkyys, putken pituus ja putken sisäpinnan karheus. Putken halkaisijan on oltava riittävä, jotta ilma pääsee esteettä liikkumaan. Liian suuri putki lisää putkiston tilavuutta tarpeettomasti ja hidastaa ilman nopeutta, joten ylisuuria putkikokoja tulisi välttää. Ilman nopeuden tulisi Corky Bellin /3, s.61/ mukaan pysyä alle arvon 0.4 kertaa Mach, eli noin 140 m/s. Tätä suuremmilla virtausnopeuksilla muodostuvat virtausvastukset huomattavan suuriksi. Putken halkaisijan riittävyys voidaan määrittää seuraavasti:

$$v_i = \frac{V}{A_p}$$

Putken koko valitaan kuitenkin kompressorin ulostulon ja välijäähdyttimen sisäänmenon halkaisijoiden mukaan, jotta vältetään turhilta virtauspinta-alan muutoksilta.

3 AHDETUN ILMAN JÄÄHDYTYS

Turboahtimelta paineputkistoon tuleva ilma on huomattavan lämmintä, mikä ei ole missään suhteessa hyödyksi moottorin toiminnalle. Kylmä ilma on tiheämpää, ja kuuma ilma nostaa tarpeettomasti palotapahtuman lämpötilaa. Pyrkimyksenä on siis suunnitella järjestelmä, joka tehokkaasti jäähdyttää kokoon puristetun ilman, haittaamatta imuilman virtausta tai ahtopaineen nousua.

Vaihtoehtoja välijäähdyttimiksi henkilöautokäyttöön on kaksi, joko vedellä tai ilmalla ahdettua ilmaa jäähdyttävät. Vedellä tapahtuvan jäähdytyksen monimutkaisen rakenteen ja korkeiden kustannusten vuoksi keskitytään ilmalla jäähdyttävän välijäähdyttimen rakenteeseen ja mitoitukseen.

3.1 Välijäähdyttimen hyötysuhde

Vertaamalla turboahtimen aiheuttamaa ilman lämpötilan nousua välijäähdyttimen jälkeisen ilman lämpötilaan voidaan määrittää kyseisen välijäähdyttimen hyötysuhde. Seuraavat laskelmat perustuvat teoreettisiin oletuksiin ja taulukkoarvoihin, sillä tarkkoja vastaavuuksia suureille ei tiedetä ennen koekäyttöä /3/.

Välijäähdyttimen poistaman lämmön määrä saadaan vähentämällä kompressorilta lähtevän ilman lämpötilasta välijäähdyttimessä poistuvan lämmön määrä.

$$T_{pl} = T_k - T_c$$

jossa T_c = välijäähdyttimestä poistuvan ilman lämpötila

Näin välijäähdyttimen hyötysuhde on poistettu lämpö jaettuna lämpötilan nousulla.

$$e_c = \frac{T_k - T_c}{T_k - T_u}$$

jossa e_c = välijäähdyttimen hyötysuhde

Koska välijäähdyttimestä ulos tulevan ilman lämpötila ei ole tiedossa, sille lasketaan arvio käyttäen välijäähdyttimen hyötysuhdetta 80%, se on hyvin realistinen käytettäessä riittävän suurta ja hyvälaatuista välijäähdytintä. Välijäähdytin siis poistaa 80% lämmön noususta.

$$T_{pl} = e_c \cdot T_n = 90.6^\circ C$$

jossa T_{pl} = välijäähdyttimen poistama lämpö

Välijäähdyttimestä poistuvan ilman lämpötila on siten:

$$T_c = T_k - T_{pl} = 47.6^\circ C$$

Nyt saadaan selville, paljonko ilman tiheys muuttuu välijäähdyttimen avulla:

$$\rho_c = \left(\frac{T_k + 273}{T_c + 273} \right) - 1$$

jossa ρ_c = tiheyden muutos

$$\rho_c = \left(\frac{138,24 + 273}{47,6 + 273} \right) - 1 = 0.28$$

Teoreettisesti välijäähdytin lisää ahdettavan ilman tiheyttä 28 prosenttia jäähdyttämällä moottoriin menevää ilmaa, eli 28 prosenttia enemmän ilmaa pääsee sylinteriin. Tämä taas tarkoittaa 28 prosenttia lisää tehoa verrattuna välijäähdyttämättömään ratkaisuun. Tiheyden lisäys on kuitenkin vain teoreettinen, sillä perusteellisesti suunnitellussa järjestelmässä häviötä kertyy noin 10 prosenttia imupuolen putkien mutkien ja välijäähdyttimen virtaushäviöiden muodossa. Jos järjestelmän tahdotaan tuottavan ahtopainetta 1.3 baria imusarjasta mitattuna, tulee kompressorilta mitatun paineen olla n. 1.43 bar. Tämä on syytä ottaa huomioon järjestelmää mitoittaessa sekä valittaessa paikkaa esimerkiksi ahtopainemittarin tai MAP-anturin signaalin lähtöä varten.

Nyt voidaan määrittää laskennallinen tehon lisäys ahdinta käyttäen ja selvittää välijäähdyttimen vaikutus tehon lisäykseen. Ensin lasketaan kompressorin vaikutus ilman tiheyteen. Laskeminen tapahtuu vertaamalla kokoon puristetun ilman T_k tiheyttä ulkoilman T_u tiheyteen:

$$\rho_r = \frac{(T_u + 273) \cdot P_r}{(T_k + 273)}$$

jossa ρ_r = kompressorin tiheysuhde

P_r = painesuhde

$$\rho_r = \frac{(25 + 273) \cdot 2.3}{(138.24 + 273)} = 1.67$$

Tässä tapauksessa ahdin lisää tiheyttä 67 prosenttia. Tämän mukaan tehon pitäisi kasvaa suunnilleen tuon 67 prosenttia käytettäessä 1.3 bar ahtopainetta. Näin moottori, joka tuottaa vapaasti hengittävänä 100 hevosvoimaa, tuottaisi nyt 167 hevosvoimaa. Jos lasketaan, kuinka paljon välijäähdytin vaikuttaa tehoon, saadaan selville lopullinen laskennallinen teho.

$$HV_l = \rho_c + 1 - \left(\frac{p_i + p_k}{p_i + p_m} \right)$$

jossa HV_r = tehon lisäys

p_i = ilmanpaine

p_m = paine imusarjalla

p_k = paine kompressorilla

Oletetaan, että paine putoaa kompressorilta imusarjaan 1.3 barista 1.17 bariin:

$$HV_l = 0.28 + 1 - \left(\frac{1 + 1,3}{1 + 1,17} \right) = 0.22$$

Moottorin tuottaessa 167 hevosvoiman tehon ilman välijäähdytintä voidaan nyt imuilman jäähtyessä olettaa tehon nousevan 22 prosenttia tai 37 hevosvoimaa. Kokonaisteho olisi siis teoreettisesti nyt 204 hevosvoimaa. Moottoriteho olisi periaatteessa kaksinkertaistettu lisäämällä olemassa olevaan kokoonpanoon turboahdin ja

välijäähdytin. Käytännössä tämä vaatii myös muita muutoksia moottoriin, joita tulee käsitellä moottorikohtaisesti.

3.2 Välijäähdyttimen mitoitus

Kun tiedetään välijäähdyttimen läpi kulkevan ilman määrä, voidaan selvittää tarvittavan välijäähdyttimen mitat. Projektia varten hankittiin välijäähdyttimen kennoa joka on paksuudeltaan n. 75 mm. Kun tiedossa on moottoriin menevän ilman määrä, saadaan tarvittavan kennon virtauspinta-ala selville.

Ilmamäärän ollessa $0.12958 \text{ m}^3/\text{s}$ on tarvittava virtauspinta-ala on 103-144 neliösenttiä /2/. Koska kennon yhden putken leveys on 8 millimetriä ja leveys 75 millimetriä, virtauspinta-ala on 6 neliösenttiä, voidaan tarvittavien putkien määrä laskea seuraavasti:

$$\text{Putkien määrä} = \frac{A_{kok}}{A_p}$$

jossa A_{kok} = kennon virtauspinta-ala, cm^2

A_p = yhden putken virtauspinta-ala, cm^2

Putkia tarvitaan vähintään 17 – 24. Sijoituspaikka ratkaisee putkien määrän. Käytettävissä on 50 senttimetriä leveä ja 40 senttimetriä korkea tila. Kennossa putkien välinen etäisyys on 12 millimetriä. 50 senttimetriä leveään tilaan mahtuu putkia noin 25 kappaletta. Toisaalta mitä enemmän putkia on, sitä enemmän on virtauspinta-alaa, eli vähemmän virtausvastusta. Silloin putket kannattaa sijoittaa pystyyn, kun käytettävissä on leveyssuunnassa enemmän tilaa kuin sivuttaissuunnassa. Näin kennon putkien määrä saadaan

mahdollisimman suureksi. Jäähdytystehon kannalta pitkät putket ovat parempi ratkaisu, lisäten kuitenkin virtausvastusta. Koska tilaa on pystysuunnassakin käytettävissä 40 senttimetriä, on putkien pituus vähintäänkin riittävä. Päätyjen korkeus tulee ottaa huomioon putkien pituutta laskettaessa.

Suurikokoinen välijäähdytin lisää imuputkiston tilavuutta ja näin hidastaa moottorin reagointia kaasupoljinta painettaessa. Projektin luonteen vuoksi tehokas imuilman jäähdytys on kuitenkin mahdollista viivettä tärkeämpi, joten välijäähdyttimestä tehdään mahdollisimman suuri.

3.3 Päätyjen muoto

Välijäähdyttimen päätyjen muodolla on hyvin suuri vaikutus jäähdytystehoon ja virtausvastukseen. Koska kyseessä on verrattain leveä välijäähdytin, rakennetaan ahtimen puoleiseen päätyyn jakajalevy, jonka tehtävänä on ohjata ilma tasaisesti kennoon. Näin kaikille putkille jakautuu yhtä paljon ilmaa joka pitäisi jäähdyttää. Päädyn muodon tulee olla muutenkin sellainen, että ilma pääsee virtaamaan esteettä ja jakautuu tasaisesti kaikille putkille. Käytännön kokeiluilla on selvitetty tarvittava jakajalevyjen määrä, ja 45 senttimetriä leveään päätyyn riittää yksi levy. Päädyt kootaan alumiinipaloista hitsaamalla.

3.4 Lämmönvaihto välijäähdyttimessä

Kun autoa päästään koeajamaan, kennoja jäähdyttävän ilman lämpötila tulee mitata, vaikka mittaustulosta ei käytetä suoranaisesti laskuissa. Tiedosta on silti hyötyä, jos on aiheellista vertailla useiden välijäähdyttimien suorituskykyä.

Pääasiassa mitataan välijäähdyttimeen menevää sekä sieltä poistuvaa ilmaa, lämpötilan ja paineen suhteen. Painehäviöiden tulisi pysyä pieninä, kun taas toisaalta lämpötilan tulisi laskea huomattavasti. Noin 80 prosentin lämpötilan lasku on optimaalinen, eli siihen tulisi pyrkiä.

Mittauksia tulee suorittaa vähintään kolme jokaisella valitulla kierrosalueella. Tärkein mittauspiste on kierrosalue, jossa noin 75 prosenttia kierrosnopeudesta on käytössä, eli kyseisessä moottorissa noin 4500 rpm.

4 KAASUNVAIHTOJÄRJESTELMÄ

Seuraavaksi käydään läpi imu- ja pakosarjojen sekä niihin liittyvien komponenttien mitoitus ja vaatimuksia.

4.1 Kaasuläppäkotelo

Kaasuläppäkotelon merkitys järjestelmässä on kohtalaisen suuri. Kaasuläpän halkaisijan tulee olla riittävä, jottei se muodostu ongelmaksi moottorin hengitykselle. Jos kaasuläpän halkaisija on liian suuri, voi auton ajettavuus pienillä kierroksilla olla todella huono. Kun kaasupoljinta painetaan, iso läppä päästää huomattavan suuren määrän ilmaa moottoriin ja ajoneuvon käytös saattaa olla nykivää. Pientä kaasuläppää käytettäessä kaasun voi painaa pohjaan, kiihtyvyyden pysyessä kohtalaisen tasaisena. Liian pieni kaasuläppä kuitenkin ahdistaa ilman virtausta eikä siis sovellu kyseiseen käyttötarkoitukseen.

Suurikin kaasuläppä saadaan toimimaan miellyttävästi, kun kaasupolkimen liike välitetään progressiivisesti kaasuläppälle.

Jottei virtausvastuksia syntyisi, lasketaan kaasuläppäkotelon halkaisijan riittävyys kyseiseen kokoonpanoon. Laskeminen tapahtuu samoin kuin paineputken kohdalla.

$$v_i = \frac{V}{A}$$

4.2 Imusarja

Imusarja koostuu kahdesta erillisestä osasta; painekotelosta eli *plenumista* ja imuputkista eli *runnereista*. Imusarjan tehtävänä on jakaa ilma tasaisesti kaikille sylintereille, haittaamatta ilman virtausta. Koska imusarjalla on huomattava osuus sylinterien täytösasteeseen, on sen suunnitteluun kiinnitettävä huomiota.

Ensimmäisenä määritetään painekotelon tilavuus. Määrävänä tekijänä on moottorin iskuilavuus. A. Graham Bell /2, s.226/ esittää, että painekotelon tulisi olla 0.8 - 1.5 kertaa iskuilavuus. Suurempi tilavuus varmistaa riittävän reservin ilmaa korkeillekin kierroksille, vaikkakin lisää viivettä moottorin reagoinnissa. Pieni viive ei tässä käyttötarkoituksessa kuitenkaan ole haitta, joten pyritään varmistamaan riittävä ilman saanti. Kertoimeksi valitaan kertoimeksi siis 1.5.

Lasketaan painekotelon tilavuus:

$$V_p = V_s \cdot 1,5$$

Kun painekotelon tilavuus on laskettu, on seuraavaksi kiinnitettävä huomiota sen muotoon. Optimaalisin tilanne olisi täysin symmetrinen painekotelo, jotta ilma jakautuisi mahdollisimman tasaisesti. Koska projektin painekotelossa kaasuläppä sijoitetaan painekotelon toiseen päähän, ei symmetrisyydestä ole juuri hyötyä. Kaasuläppä sijoitetaan 1. sylinterin puoleiseen päähän, ja painekotelo kapenee 4. sylinteriä

kohden. Näin pyritään estämään tämäntyyppisten painekoteloiden ongelma, eli tilanne jossa 4. sylinteri saa enemmän ilmaa kuin muut sylinterit, 1. sylinterin saadessa kaikkein vähiten ilmaa.

A. Graham Bell /2, s.228/ esittää, että kaasuläppää lähimpänä oleva sylinteri saa noin 3 - 5 prosenttia vähemmän ilmaa kuin muut sylinterit, ja kaasuläpystä kauimpana oleva sylinteri taas viidestä seitsemään prosenttia enemmän ilmaa kuin muut. Painekotelon tulee myös jatkua kauimmaisen sylinterin imuputken ohi. Ilman epätasainen jakautuminen vaikuttaa tehoon, mutta vielä tärkeämpää on muistaa, että sylinterien välinen epätasapaino saattaa johtaa jopa moottorivaurioon.

Sylinterien välisiä eroja saadaan tasattua muotoilemalla painekotelon alku siten, että ilmavirran nopeus hidastuu, ja rakentamalla painekotelon seinä muodoltaan sellaiseksi, ettei se ohjaa ilmaa suoraan kauimpaan sylinteriin. Painekotelon ja imuputkien liitoksen tulee olla muodoltaan mahdollisimman jouhea, jotta virtaus olisi esteetön.

Painekotelon seinän ja imutorven välinen etäisyys tulisi aina olla vähintään 1,5 kertaa imuputken halkaisija, mielellään kaksi kertaa putken halkaisija jos mahdollista /2, s.228/. Imuputken tehtävä on ohjata imuilma painekotelosta sylinteriin. Imuputken pituudella ja halkaisijalla voidaan suuresti vaikuttaa moottorin luonteeseen ja tehokkaaseen kierrosalueeseen.

Pitkä imuputki toimii hyvin ala- ja keskikierrosalueella, kun taas lyhyt imuputki on parempi korkeilla kierroksilla. Imuputken pituus mitataan venttiililautasen takaa imuputken suulle saakka painekoteloon.

Imuputken halkaisija periaatteessa ratkaisee kierrosluvun, jolla moottori tuottaa suurimman tehonsa.

Leveä imuputki antaa moottorin hengittää suurilla kierroksilla, mutta alakierroksilla moottori on tehoton. Kapea imuputki parantaa moottorin toimivuutta alakierroksilla mutta ahdistaa yläkierroksilla. Imuputkien halkaisijan ja pituuden sovittamisella tiettyyn sovellukseen saadaan hyvin laajalla kierrosalueella toimiva moottori, joka tuottaa myös paljon tehoa. Lopullinen imuputkien mitoitus tulee kuitenkin tehdä valmiilla moottorilla, jossa eri vaihtoehtoja on mahdollista kokeilla käytännössä.

Turbokäyttöön parhaiten soveltuva imuputki on Corky Bellin / 3, s. 78/ mukaan kohtalaisen pitkä, jotta alakierrosten toimivuus säilyy. Ahdin pitää huolen hengityksestä yläkierroksilla. Imuputken halkaisijaksi A Graham Bellin /2, s. 230/ suositus on 0.76 - 0.80 kertaa imuventtiilin lautasen halkaisija. Koska moottorista halutaan ajettavuudeltaan kohtalainen ja silti korkeatehoinen, valitaan imuputkeksi pitkä ja leveä malli. Lasketaan imuputken halkaisija seuraavasti:

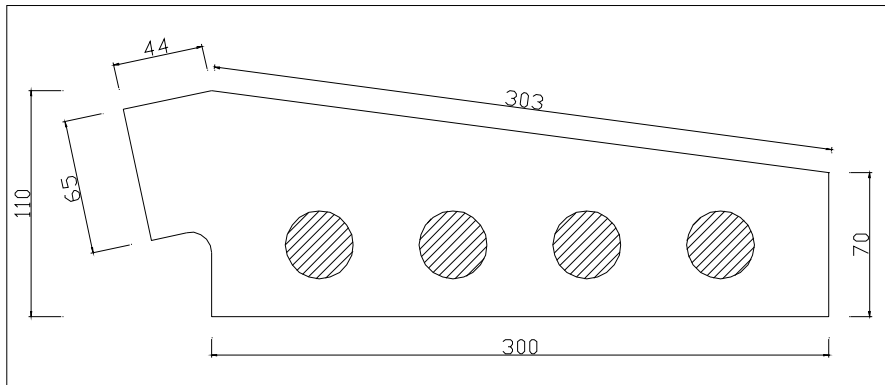
$$d_r = 0.8 \cdot d_{iv}$$

Jossa d_r = imuputken halkaisija

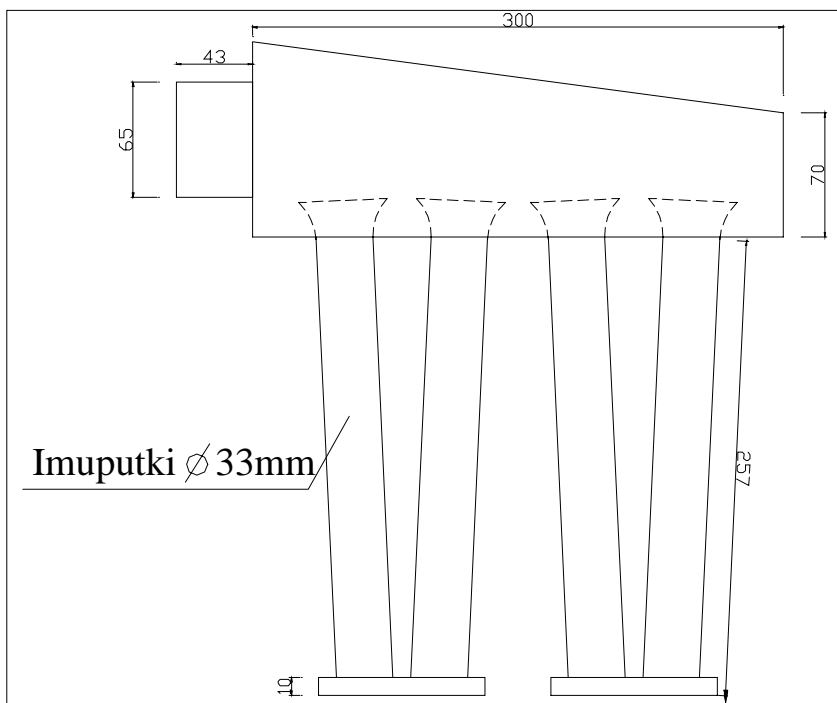
d_{iv} = imuventtiilin halkaisija

$$d_r = 0.8 \cdot 37.5\text{mm} = 30.8\text{mm}$$

Laskujen perusteella valitaan imuputkiksi seuraava yleinen putkikoko, eli 33 millimetriä ja painekoteloksi kuvien 2 ja 3 mukaiset ratkaisut.



Kuva 2. Painekeitelo sivulta



Kuva 3. Painekeitelo yläpuolelta

4.3 Pakoputkisto

Moottorissa tapahtuvan kaasunvaihdon optimoimiseksi tulee kiinnittää huomiota myös pakokaasujen tehokkaaseen ja esteettömään

poistumiseen, varsinkin ahdetussa moottorissa. Pakosarjan ja putkiston suunnittelulle on siis syytä uhrata riittävästi aikaa.

4.4 Pakoputkiston suunnittelu

Pakosarjan putkien tulisi olla halkaisijaltaan hieman pakokanavaa suuremmat. Näin virtaavalla kaasulla on ikään kuin porras vastassaan estämässä virtausta takaisin sylinteriin päin. Pakosarjana käytetään automallin omaa valurautaista pakosarjaa kustannussyistä. Pakosarjan ja ahtimen väliin rakennetaan lyhyt osuus putkistoa jolla ahtimen laippa saadaan haluttuun asentoon sekä pakosarjan pituus lähelle optimaalista mittaa. Pakosarjan virtausominaisuudet eivät ole parhaat mahdolliset, mutta käyttötarkoitusta ajatellen riittävät. Myös valuraudan lämmöneristys on hyvä sellaisenaan, joten erityistä eristettä ei välttämättä tarvita. Näin pakokaasun lämpötila pysyy korkeana ja konehuoneen lämpötila alhaisena.

Ahtimen kompressorin ulostulosta eteenpäin putkisto jatkuu putkella jonka sisähalkaisija on 58mm. Corky Bellin /3, s. 133/ mukaan pakoputkiston tulisi olla vähintään 10 prosenttia suurempi halkaisijaltaan kuin turbiinin ulostulo. Myös tämä hyvin karkea yleistys täyttyy tällä kokoonpanolla turbiinin ulostulon ollessa 51 millimetriä.

Konehuoneen tilanahtauden vuoksi putken on tehtävä lähes 90 asteen mutka lähestulkoon välittömästi ahtimen jälkeen. Jälleen käytetään putkea, jossa taivutus on suoritettu mahdollisimman suurella säteellä. Mutkan jälkeen putkistoon asennetaan joustoliitos, jotta moottorin kallistelu ja putken lämmöstä johtuva eläminen eivät vaurioita ahdinta tai putkistoa.

Putkisto kiinnitetään koriin kumisilla ripustimilla, jotta putkella on hieman varaaa liikkua. Auton alla putken halkaisija pysyy samana ja putki muutenkin mahdollisimman suorana. Tarpeen vaatiessa, esimerkiksi maavaran vuoksi, voidaan putkea litistää hieman ovaaliksi, jotta virtauspinta-alan muutokset pysyvät mahdollisimman pieninä. Putkisto loppuu auton alle takarenkään eteen, jotta vältetään takasillan ylitykseltä, jossa mutkia tulisi tarpeettoman paljon.

Viimeinen komponentti pakoputkistossa on vaimennin, tyypiltään absorptiovaimennin. Vaimennintyypille on ominaista hyvät virtausominaisuudet sekä kohtuullinen vaimennusteho. Yksi vaimennin riittää, koska ahtimen turbiinisiipi itsessään vaimentaa huomattavasti pakoääntä.

5 TEORIOIDEN TOTEAMINEN KÄYTÄNNÖSSÄ

Moottorin ahtimen ja välijäähdyttimen sekä muiden osakokonaisuuksien suunnittelu on teoriassa helppoa. Usein kuitenkin käy niin, että eri osien keskinäinen toiminta ei vastaa oletettua. Tämän vuoksi tulee järjestelmässä suorittaa useita mittauksia, jotta saadaan selville, onko suunnittelussa tapahtunut virheitä. Seuraavien listojen läpikäyminen helpottaa mahdollisten ongelmakohtien löytämistä.

5.1 Mittauspisteet järjestelmässä imupuolella

Järjestelmän toimivuus voidaan todeta vain käytännön mittauksilla. Moottorin imupuolella mittauspisteitä on useita. Seuraavassa käydään läpi oleellisimpia niistä.

Ulkoilman paine ja lämpötila mitataan, mielellään mahdollisimman lähellä paikkaa josta ilma johdetaan moottoriin. Nämä tulokset toimivat vertailupohjana muille mittauksille.

Heti ilmanpuhdistimen jälkeen mitataan paine, jotta ilmanpuhdistimen ahdistava vaikutus voidaan eliminoida

Kompressorin imupuolella mitataan myös paine. Näin voidaan todeta, haittaako imuputkisto ilman virtausta suodattimelta turbolle.

Välittömästi kompressorin ulostulossa tulee selvittää paine ja lämpötila, jotta tiedetään kompressorin tuottama todellinen ahtopaine ja saadaan selville kompressorin aiheuttama lämmön nousu.

Ennen välijäähdytintä mitataan paine, jotta nähdään ahdistaako putkisto turbolta välijäähdyttimelle.

Välijäähdyttimen ulostulolla mitattavia suureita ovat paine ja lämpötila, näin ilmenee välijäähdyttimen hyötysuhde sekä painehäviö jäähdyttimen sisällä.

Ennen kaasuläppää tutkitaan kuinka putkisto välijäähdyttimeltä kaasuläpälle vaikuttaa paineeseen.

Painekotelon sisällä mitataan ahtopaine ja lämpötila. Näin saadaan selville koko imupuolen ahtojärjestelmän painehäviöt. Kokonaisuudessaan painepuolen häviöiden kompressorilta imusarjalle tulisi olla alle 10 prosenttia käytetystä ahtopaineesta /3, s. 169/.

5.2 Mittauspisteet pakupuolella

Pakupuolella mittausten tekeminen on yhtä tärkeää kuin imupuolella, ja mitattavana ovat samat asiat. Mittauspisteiden määrä on pakokaasujärjestelmän yksinkertaisuuden vuoksi pienempi kuin imupuolella.

Pakosarjassa valitaan paikka esimerkiksi kollektorin läheisyydestä, jotta sylinterien väliset erot tasoittuvat. Mitataan painetta ja

lämpötilaa. Saadaan selville, ahdistaaako pakosarja pakokaasujen virtausta tarpeettomasti.

Turbon turbiinipuolen ulostulossa, downpipen alussa mitataan edelleen painetta ja lämpötilaa, jotta nähdään, palaako ilma/polttoaineseos vielä turboahtimessa.

-Ennen äänenvaimenninta mittaamalla nähdään, vaikuttaako putken mitoitus ja mutkien jyrkkyys paineeseen, eli aiheutuuko turhia vastuksia.

Vaimentimen jälkeen mittamalla paine nähdään vaimentimen vaikutus paineeseen.

Pakoputkiston paine putkiston loppupäässä vaikuttaa pakosarjan paineeseen koska mitä pienempi paine on, sitä vähemmän painetta syntyy putkiston alkupäähän. Pakopaineen suurin haitta on sylinteriin takaisin työntyvät pakokaasut, jotka haittaavat uuden seoksen virtausta venttiilien limittäinoloaikana (overlap).

Paine putkiston loppupäässä tulisi siis pitää mahdollisimman pienenä.

6 MOOTTORINOHJAIN

Polttoaineen syöttöä ja sytytysjärjestelmää ohjaamaan valittiin ei-kaupallinen, ohjelmitava sovellus. Kaikki järjestelmän komponentit ovat hankittavissa elektroniikkaliikkeestä ja ohjaimen koodi on ladattavissa Internetistä.

Ohjainlaite perustuu Motorolan MC68HC908GP32 flash-pohjaiseen mikrokontrolleriin, jonka sisäinen väylä toimii kahdeksan megahertsin taajuudella, joka on todellinen väylätaajuus. Useimmat valmistajat ilmoittavat ulkoisen kellotaajuuden, joka on nelinkertainen väylätaajuuteen nähden. Monet ajoneuvojen ensiasennusjärjestelmät sekä markkinoilla olevat säädettävät moottorinohjausjärjestelmät perustuvat huomattavasti vanhempaan teknologiaan, kuten esimerkiksi MC68HC11- tai Z80-prosessoreihin, jotka toimivat yhden tai kahden megahertsin väylätaajuudella. Suuremman väylätaajuuden avulla moottorinohjain pystyy reagoimaan nopeammin senhetkisten vaatimusten mukaan.

Ohjaimen käyttämään mikrokontrolleriin on integroitu sisäinen flash-muisti. Tämä tekee keskusyksiköstä sekä luotettavan että edullisen. Lisäksi sisäinen flash-muisti mahdollistaa reaaliaikaisen uudelleenohjelmoinnin. Ohjaimen on mahdollista vaihtaa niin polttoainekarttoja, vakioita, lisärikastuksia kuin kaikkia muitakin parametreja, vaikka moottorin käydessä. Lisäksi koko mikrokontrollerin sisäinen konekielinen ohjelma on mahdollista päivittää yksinkertaisella ohjelmistolla ilman erillisiä lisälaitteita.

Prossessorin valmistaja lupaa flash-muistille vähintään 10000 uudelleenohjelmointikertaa ja ohjelmoidun tiedon säilyvän vähintään

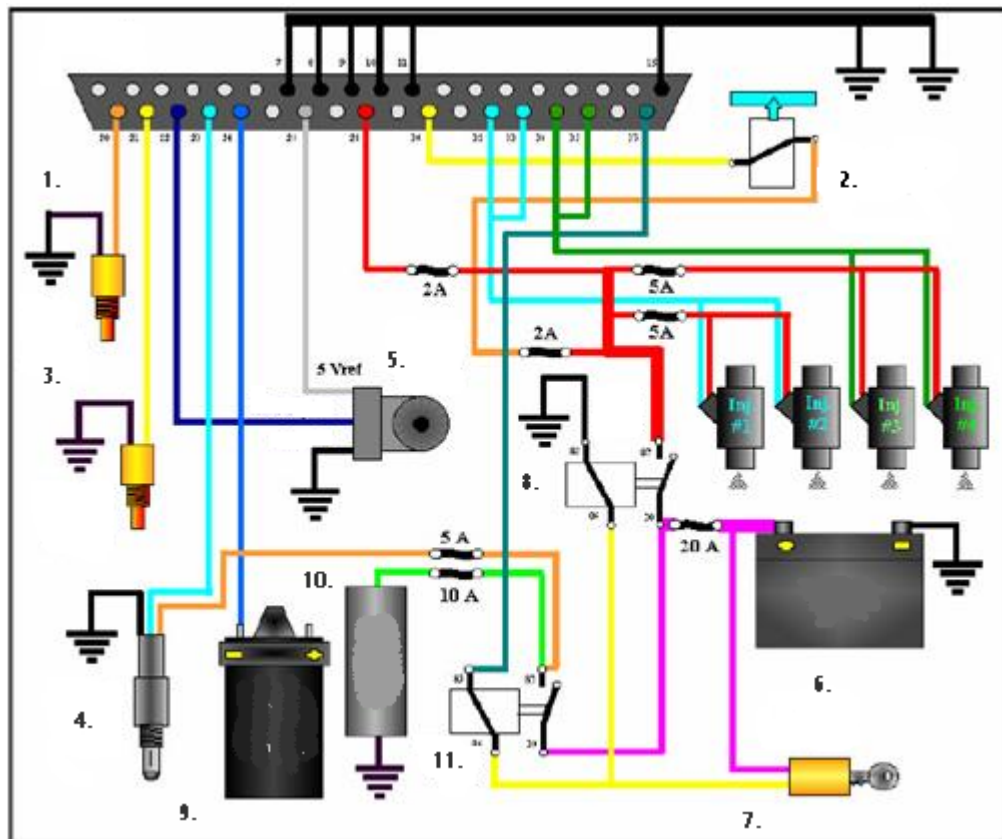
kaksikymmentä vuotta. Näin samaa ohjainlaitetta voidaan käyttää useassa eri ajoneuvossa tai kokoonpanossa.

6.1 Moottorinohjausjärjestelmän pääosat

Megasquirt-moottorinohjausjärjestelmä on epäsuorasti jaksoittain ruiskuttava järjestelmä. Järjestelmässä suutimet on siis sijoitettu imukanavaan, imuventtiin välittömään läheisyyteen. Ruiskutus tapahtuu käyttäjän haluamalla tavalla, esimerkiksi kerran jokaista nokka-akselin kierrosta kohden. Ohjainlaitteella on mahdollista ohjata myös sytytysennakkoa. Työssä ei kuitenkaan paneuduta kyseiseen ominaisuuteen sen monimutkaisuuden ja suuren säätötarpeensa vuoksi.

Ruiskutettavan polttoaineen määrä säätyy ensisijaisesti imuilman määrän mukaan. Toimintaperiaate on siis sama kuin esimerkiksi Boschin D-Jetronic-järjestelmässä. Ilmamäärä todetaan imusarjassa vallitsevan alipaineen perusteella. Moottorin kierosnopeus on toinen tärkeä säätösuure, jonka tietä saadaan virranjakalta Hall-anturin avulla. Tätä samaa anturia käytetään ruiskutussuuttimien ruiskutushetken ohjaamiseen.

Myös kaasuläpän asentotunnistin vaikuttaa joissain tilanteissa ruiskutusmäärään, kuten kiihdytyksen tai moottorijarrutuksen yhteydessä.



Kuva 4. Komponentit: 1. Imuilman lämpötunnistin 2. Tyhjäkäyntiventtiilin rele 3. Jäähdytysnesteen lämpötila-anturi 4. Lämmitettävä lambda-anturi 5. Kaasuläpän asentoanturi 6. Akku 7. Virta-avain 8. Päävirtarele 9. Sytytyspuola 10. Polttoainepumppu 11. Polttoainepumpun rele

Megasquirt-moottorinohjausjärjestelmän pääosat kuvassa 4 ovat:

Ohjainlaite

Ohjainlaite on järjestelmän keskeisin osaryhmä. Se käsittelee eri tunnistimilta saamansa impulssit ja lähettää ohjauskäskyt ruiskutussuuttimille, sytytyksen ohjainlaitteelle ja polttoainepumpulle.

Polttoainepumppu

Pumppu imee polttoaineen tankista ja siirtää sen edelleen ruiskutussuuttimille paineisena. Polttoainepumppua ja polttoainejärjestelmää yleensä käsitellään tarkemmin luvussa Polttoainejärjestelmä.

Bensiininsuodatin

Suodattimen tarkoituksena on varmistaa vain puhtaan polttoaineen pääsy polttoainejärjestelmään.

Paineensäädin

Paineensäätimen tehtävänä on pitää polttoainejärjestelmän paineenalaisella puolella tasainen, riittävä polttoaineen paine.

Kaasuläppä

Megasquirt käyttää imusarjaan sijoitettua kaasuläppää kontrolloidakseen moottoriin menevän ilman määrää.

Kaasuläpän asentotunnistin

Kaasuläppään on kiinnitetty anturi, joka mittaa kaasuläpän asentoa ja liikkumisnopeutta. Näin ohjainlaite osaa säätää seosta esimerkiksi kiihdytyksen tai moottorijarrutuksen yhteydessä.

Jäähdytysnesteen lämpötila-anturi

Lämmityskäytön aikana moottori tarvitsee normaalia rikkaampaa seosta, minkä vuoksi ohjainlaitteen on otettava huomioon moottorin lämpötila. Tämän vuoksi järjestelmään on liitetty jäähdytysnesteen lämpötilatunnistin.

Imuilman lämpötila-anturi

Ilman tiheys vaihtelee lämpötilan mukaan ja ruiskutusmäärä säätyy pääasiallisesti imusarjan paineen mukaan. Koska ahdetun moottorin imuilman lämpötila vaihtelee suuresti kuormituksen mukaan, on ehdottoman tärkeää, että järjestelmä osaa reagoida vaihtelevaan

imuilman lämpötilaan. Lämpöanturin tehtävänä on yksinomaan kertoa ohjainlaitteelle lämpötilan mahdolliset muutokset.

Kuten aiemmin todettiin, moottorinohjaimen ruiskuttama polttoainemäärä riippuu useista tekijöistä. Yleinen kaasujen tilanyhtälö on keskeinen osa laitteen sisäistä koodia, jonka perusteella laskelmat suoritetaan. Järjestelmä käyttää useaa mitattua suuretta, kuten imusarjan painetta, kaasuläpän asentoa, jäähdytysnesteen ja imuilman lämpötilaa, kierrosnopeutta sekä muita arvoja selvittääkseen esimerkiksi kuormituksen määrittämiseen. Käyttäjän määriteltävissä olevia arvoja ovat tarvittava polttoainemäärä, volumetrinen hyötysuhde, suuttimen aukioloaika sekä muita seuraavaksi esiteltäviä.

6.2 Käyttäjän määrittelemät parametrit

Vakiot syötetään tietokoneella oman säätöohjelman, MegaTunen (kuva 5), avulla ohjaimeen.

Section	Parameter	Value
Calculate Required Fuel - One Cylinder (ms)	Required Fuel	6.3
	(Input field)	6.3
Injector Characteristics	Injector Opening Time (ms)	1.0
	Battery Voltage Correction (ms/V)	0.2
	PWM Current Limit (%)	18
	PWM Time Threshold (ms)	0.7
Fast Idle Control	Fast Idle Threshold (°F)	0.0
Correction Factors	Barometric Correction	Off
Injector Control	Control Algorithm	Speed Dens
	Injections Per Engine Cycle	4
	Injector Staging	Alternating
	Engine Stroke	Four stroke
	Number of Cylinders	8
	Injector Port Type	Throttle body
	Injectors	4
MAP Type	MAP Type	250 kPa
	Engine Type	Even Fire

kuva 5. Megatune

Kuvassa 5 näkyviin kenttiin käyttäjän tulee syöttää arvot, joiden mukaan moottorinohjain tietää missä olosuhteissa ja minkälaisen laitteiston kanssa toimitaan. Seuraavassa on selitetty lyhyesti tärkeimpien parametrien tarkoitus:

Injector Opening Time

Suuttimien aukeamisaika millisekunteina on aika, joka tarvitaan suuttimen täydelliseen aukeamiseen 13.2 voltin jännitteellä. Yleisesti tämä arvo on lähellä yhtä millisekuntia.

Battery voltage correction

Bvc ilmoittaa kuinka paljon järjestelmä korjaa ruiskutusaikaa verrattuna akkujännitteeseen. Oletusarvona 0,2 millisekuntia.

Injection per Engine Cycle

Injection per engine cycle, ruiskutuksia per täysi tahti, vastaa siis kahta kampiakselikierrosta. Määritetään, kuinka monta ruiskutusta halutaan yhden täyden tahdin aikana. Arvo tulee asettaa siten, että tyhjäkäynnillä suuttimien aukioloaika ei ole pienempi kuin kaksi millisekuntia ja että Req_Fuel on pienempi kuin 12 - 15 millisekuntia, mutta enemmän kuin 8 ms. Nämä arvot mahdollistavat oikeaoppisen säädön tyhjäkäyntiseokselle ja mahdollistavat lisärikastukset, joita kiihdytys tai moottorin alhainen lämpötila vaativat.

Injector Staging

Määritetään suuttimien vaiheistus, aukeavatko suuttimet samanaikaisesti vai vaihtelevasti. Jos halutaan, että kaikki suuttimet ruiskuttavat samaan aikaan, valitaan simultaneous. Jos halutaan puolet suuttimista ruiskuttavan jokaisen imutahdin aikana ja puolet toisen aikana, valitaan alternating. Huomattava on, että jos suuttimet sijaitsevat imukanavissa, on valittava vähintään kaksi ruiskutusta per tahti, jos käytetään vaihtelevaa ruiskutusta. Muuten joka toisella

imutahdilla sylinteriin ei tule polttoainetta ja moottori käy todella huonosti.

Injector Port Type

Injector port typeä käytetään valitsemaan, ovatko suuttimet joko kaasuläppäkotelossa, *throttle body*, vai imukanavien yhteydessä, *multiport*.

Injectors

Injectors ilmoittaa suuttimien määrän järjestelmässä. Järjestelmällä on mahdollista ohjata parillista määrää suuttimia, välillä 2 - 16 suutinta.

Engine Type

Engine type määrittää moottorisi sytytyshetkien keskinäisen sijainnin. Mikäli sytytyshetkien väli on aina vakio, valitaan *even fire*. Mikäli sytytysten väli ei ole vakio, valitaan *odd-fire*.

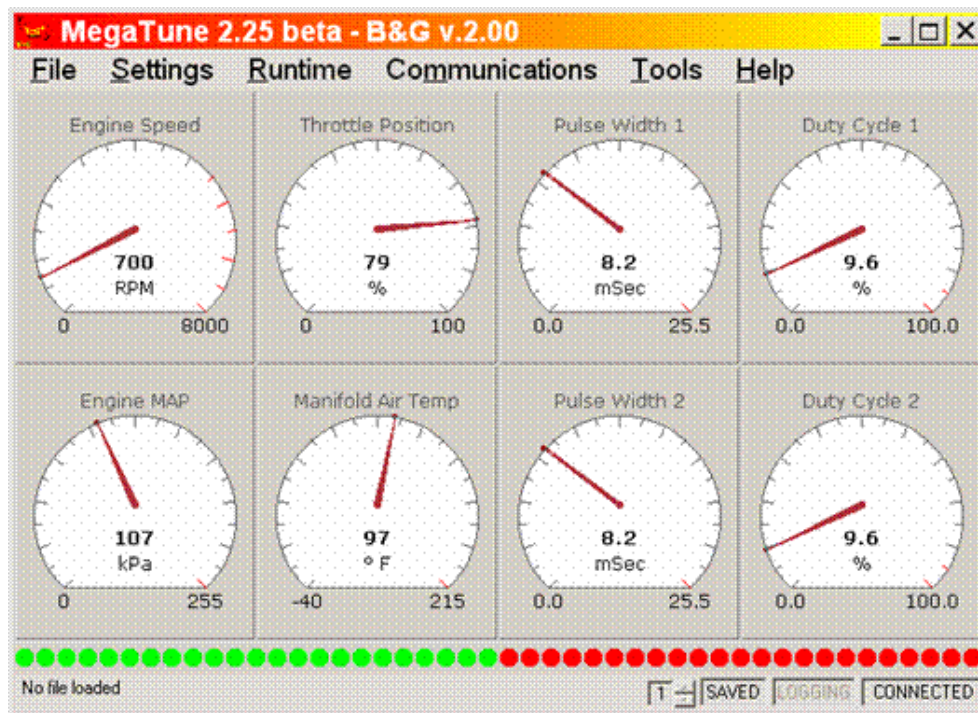
6.3 Säätäminen

Megatune on Windows 95 (tai uudempi) tarkoitettu säätötyökalu Megasquirtille.

Ohjelman avulla määritetään vakiot ja säädetään muuttujia reaaliajassa ja ajojaksojen välillä.

Megatune antaa mahdollisuuden kaikkien arvojen muuttamiseen ja sisältää reaaliaikaisen VE-taulukko editorin, mikä antaa ajoneuvon matkustajalle mahdollisuuden säätää arvoja ajossa.

.

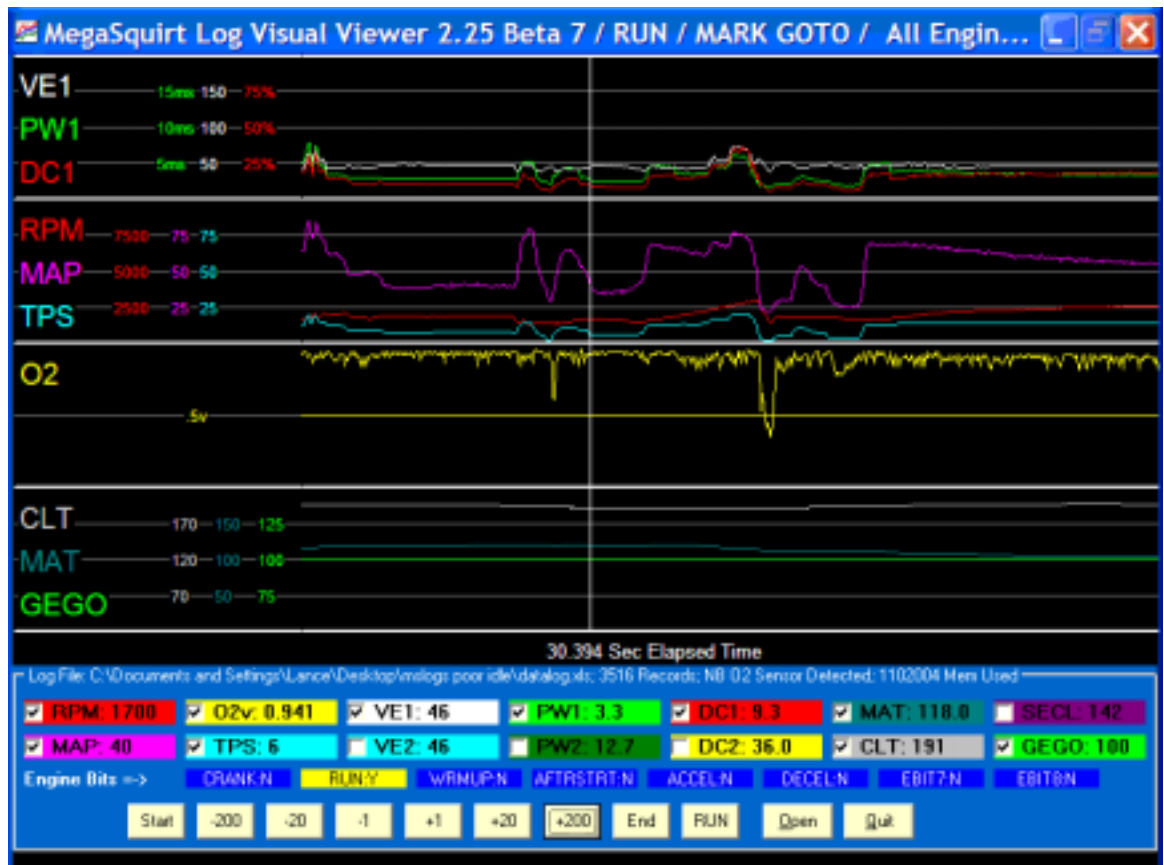


kuva 6. Reaaliaikainen monitorointi

Etusivu näyttää kahdeksan mittaria (kuva 6.). Näistä reunimmaisiet neljä vasemmalla ovat tärkeitä säätöparametreja (kierrosuku, MAP, imuilman lämpötila ja kaasuläpän asento) ja neljä viimeistä ovat suuttimien aukioloaika ja käyttösuhte, eli suuttimien aukioloaika prosentteina, kahdelle suutinpankille.

6.4 Tiedonkeruu

Järjestelmän tiedonkeruu-toiminto on korvaamaton apu, kun halutaan selvittää mahdollisimman tarkasti, mitä moottorissa todella tapahtuu ja mitä muutoksia tulisi tehdä. Tiedonkeruuohjelma tallentaa eri antureiden arvot myöhempää tarkastelua varten. Näin esimerkiksi tietyllä kierrosnopeusalueella esiintyvät käyntihäiriöt voidaan paikallistaa.

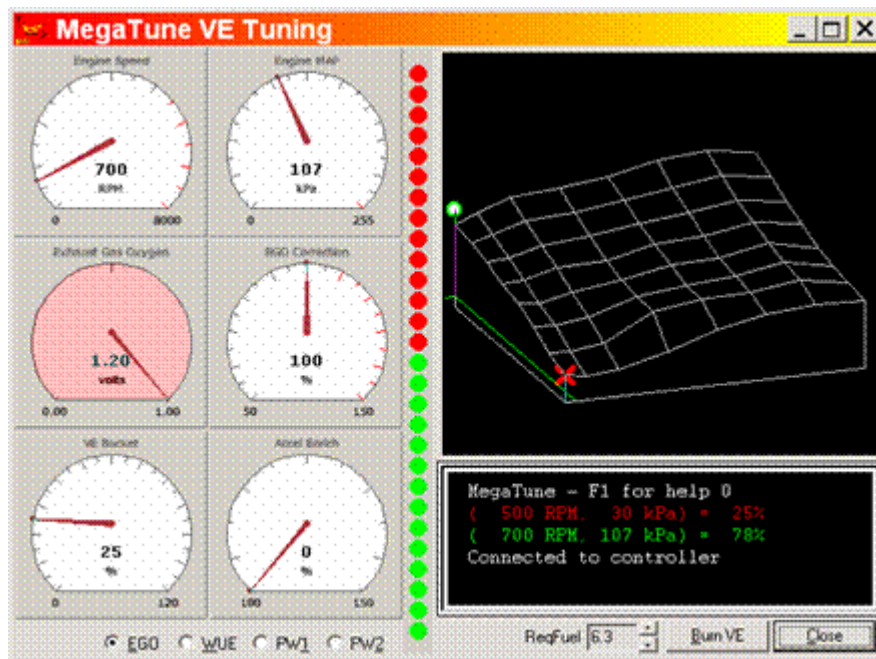


kuva 7. Datalogging-näkymä

Kuvassa 7 näkyvät anturiarvot, joita ohjain seuraa, joten kaikki normaalista poikkeava toiminta huomataan välittömästi ajon päättyttyä. Anturiarvoja voi toki seurata ajon aikana, mutta turvallisuussyistä tulee silloin olla kuljettajan lisäksi toinen henkilö tarkkailemassa arvoja.

Ohjelmassa on myös toiminto, jossa moottorinohjain tekee itse korjauksia eri parametreihin lambda-anturin ohjaamana. Koska kyseessä on turboahdettu moottori, ei happianturiin antamiin lukemiin voi luottaa korkeilla kierroksilla ja suurella kuormituksella, joten tätä toimintoa ei tulla käyttämään.

Säätäminen tulee aloittaa rauhallisesti, mielellään ahtopaine säädettynä nolnaan. Näin liiallinen ahtopaine ei pääse vaurioittamaan moottoria. Pitää muistaa, että kaikki polttoaineen syöttöön ja sytytysennakkoon liittyvät arvot ovat täysin käyttäjän määrittelemiä, eli varovaisuuteen tulee kiinnittää huomiota.



Kuva 8.

Kun moottori saadaan turvallisesti toimimaan kaikilla kierrosalueilla ilman ahtopainetta, voidaan ahtopainetta hieman nostaa. Jatkuvasti tulee seurata anturiarvoja ja moottorin käytöstä, jotta vaurioita ei pääse syntymään.

Jos haetaan maksimaalista suorituskykyä, kuten esimerkimoottorin tapauksessa, tulee viimeiset säädöt suorittaa tehodynamometrissä. Ajan ja rahan säästämiseksi tulee säädöt suorittaa mahdollisimman valmiiksi ennen dynamometriajoon siirtymistä. Paikkakuntaakohtaisia eroja toki on, mutta kun hinnat ovat seuraavat: tehonmittaus 60 euroa ja säätötyö tuntitöinä, tuntiveloituksen ollessa vastaavasti 60 euroa, on järkevää käyttää omaa aikaa pohjasäätöjen tekemiseen.

7 POLTTOAINEJÄRJESTELMÄ

Järjestelmä koostuu seuraavista perusosista: polttoainepumppu, suodatin, polttoaineputket, jakotukki, paineensäädin, suuttimet sekä laitteisto millä ohjataan suurinta osaa edellä luetelluista.

Ohjainlaitteistoon tutustutaan myöhemmin tarkemmin.

Polttoainepumpun tärkeimmät ominaisuudet ovat riittävä tuotto sekä paineen että virtausmäärän osalta. Polttoainepumpuksi tässä tapauksessa riittää siis lähes jokainen nykyaikaiseen monipistesuihkutuksella varustettuun moottorin suunniteltu, tankin ulkopuolelle sijoitettava pumppu.

Pumppu on tyypiltään perinteinen rullakennopumppu, joka imee polttoaineen säiliöstä ja siirtää sen eteenpäin bensalinjaan paineisena. Pumppujen tuotot liikkuvat välillä 130 – 180 l/h, noin kolmen barin paineella. Pumppujen maksimipaine on noin 4,5 – 8 bar, mikä takaa kovallakin kuormituksella riittävän paineen järjestelmään.

Polttoainepumpun sijoitukseen vaikuttavat useat asiat. Sijoituspaikaksi valitaan tavaratilan alapinta, auton alla. Näin vältetään turvallisuusriskiltä, joka on läsnä käytettäessä pumppua, joka on esimerkiksi tavaratilan sisäpuolella. Näin mahdollisessa vuototilanteessa korkeassa paineessa oleva polttoaine ei suihkua matkustamoon.

Pumppu tulee kuitenkin suojata hyvin, koska esimerkiksi irtokivet tai pohjakosketus voivat vaurioittaa pumppua tai polttoaineputkia ja aiheuttaa näin vaarallisen polttoainevuodon.

Sijoituksen yhteydessä on varmistettava polttoaineen esteetön valuminen pumpulle, koska käytössä ei ole erillistä siirtopumppua. Myös pumpun tuloletkun tulee olla sisähalkaisijaltaan riittävä. Ennen pumppua käytetään karkeaa suodatinta, jolloin pumpun elinikä kasvaa huomattavasti. Pumpun painepuolelle tulee sijoittaa tarkoitusta varten suunniteltu suodatin, jotta estetään epäpuhtauksien pääsy polttoainejärjestelmään. Suodattimen tulee olla paineenkestoltaan riittävä.

Polttoaineletkut kiinnitetään koriin joustavin kiinnikkein, värinöiden haitallisten vaikutusten välttämiseksi.

Polttoaineen jako suuttimille tapahtuu jakotukin avulla. Jakotukkia valmistettaessa tulee kiinnittää huomiota riittävään tilavuuteen, jotta suuttimien avautuessa paineen vaihtelu jakotukissa on mahdollisimman pientä. Myös polttoaineen esteetön virtaus erillisille suuttimille on tärkeää. Koska väistämättä polttoaine joutuu tekemään 90 asteen mutkan jokaisen suuttimen kohdalla, on ainoa mahdollisuus virtauksen helpottamiseksi tehdä jakotukista suurempi. Samalla suurempaan jakotukkiin mahtuu enemmän polttoainetta, jolloin painenvaihtelu pysyy hallinnassa. Jos paine silti heittelee suuresti, vaikka jakotukkia on suurennettu, tulee siirtyä järjestelyyn, jossa polttoaine syötetään jakotukkiin kahdesta sisääntulosta.

Polttoaineen paineensäätimiksi valittiin mekaaninen säädettävä säädin ilman ylipaineohjausta. Tällöin paine pysy kaikilla kierrosnopeuksilla sekä kuormitusasteilla samana, jotta polttoaineen syötön annostelu ja

laskeminen on yksinkertaisempaa. Polttoaineen paineen tulee olla ahdetussa moottorissa olla suurempi kuin vastaavilla suuttimilla varustetussa vapaasti hengittävässä moottorissa, sillä osa polttoaineen paineesta kuluu imusarjan ylipaineen voittamiseen.

Usein ahdetuissa moottoreissa suositaan niin kutsuttuja ”kertovia” säätimiä, joissa polttoaineen paine kasvaa eksponentiaalisesti imusarjan paineen mukaan. Tällaista järjestelyä tarvitaan lähinnä silloin, kun ei ole mahdollista muuttaa suuttimien aukioloaikaa moottorin kierrosnopeuden tai kuormitusasteen mukaan. Näin kuormituksen kasvaessa suutin ehtii ruiskuttaa samalla aukioloajalla enemmän polttoainetta. Säätämistä varten bensalinjaan kytketään painemittari, jotta nähdään ajonaikainen bensanpaine kaikilla kuormituksilla ja käyntinopeuksilla.

Paineensäädin sijoitetaan kiinni jakotukkiin kierreliitoksella, jotta letkujen määrä järjestelmässä saadaan pidettyä mahdollisimman pienenä.

Polttoaineen paluulinjan riittävään halkaisijaan tulee kiinnittää huomiota, jotta ei synny virtaukselle haitallista vastapainetta. Pääsääntöisesti letkukokona käytetään halkasijaltaan yhtä suurta kuin painepuolella.

8 PÄÄTELMÄT

Tässä työssä tuli selvittää perusteet turboahtimen lisäämiselle jälkiasennuksena sekä selvittää ohjelmoitavan polttoaineen ruiskutusjärjestelmän toimintaa periaatteellisella tasolla. Mielestäni tässä onnistuttiin kohtalaisesti.

Pakokaasuahtamisen käyttö autoteollisuudessa yleistyy jatkuvasti, nimenomaan sen monipuolisuuden vuoksi. Moottoreiden litratehoja saadaan nostettua, ja jo olemassa olevien moottorien käyttö ahtimella varustettuna on varsin pienin muutoksin mahdollista. Pakokaasuahtimen toimintaperiaate, pakokaasujen energian hyödyntäminen, on helppo perustella tehdessä valintaa eri konstruktioiden välillä.

Ahtamisen eri muodot, kuten jaksottainen ahtaminen ja muuttuvasiipiset ahtimet, tulevat entisestään lisäämään turboahtimien käyttöä modernissa autoteknologiassa.

Juuri tästä syystä on mielenkiintoista suunnitella ja toteuttaa vanhan moottorin yhteyteen nykyaikainen järjestelmä, joka koostuu pakokaasuahtimesta ja ohjelmoitavasta moottorinohjainlaitteesta. Näin saadaan vanhanaikaisesta kokoonpanosta hieman mielenkiintoisempi nykynäkökulmasta katsottuna.

Myös tietokoneella ohjelmoitavan monipisteruiskutuksen mahdollisuudet ja toiminta tuli esille hyvin. Järjestelmän monimuotoisuus antaa lähes rajattomat mahdollisuudet soveltamisen suhteen.

LÄHTEET

Kirjallisuus

- 1 Airola, Lauri- Juurikkala, Jussi-
Pohjanpalo, Yrjö- Seppälä, Pentti
Polttoainelaitteet . Kustannusosakeyhtiö
Tammi 1986

- 2 Bell, A. Graham, Forced induction
performance tuning. Haynes Publishing
2002

- 3 Bell, Corky, Maximum boost:
Designing, Testing and Installing
Turbocharger Systems. Bentey Publishers
1997

- 4 Juurikkala, Jussi, Moottori, huolto ja
korjaukset. Kustannusosakeyhtiö Tammi
1982

WWW-sivut

Megasquirt-moottorinohjaimen kotisivut
www.megasquirt.info

Megasquirt-moottorinohjaimen eri
versiot
www.bgsoflex.com/megasquirtspecs.htm