

Tommi Niskakangas

**Kaksitahtimoottorin hyötysuhteen parantaminen elektro-
nisella moottorinohjainlaitteella**

Opinnäytetyö
Kevät 2013
Tekniikan yksikkö
Kone- ja tuotantotekniikka
Auto- ja työkonetekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Seinäjoen Ammattikorkeakoulu

Koulutusohjelma: Kone- ja tuotantotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Auto- ja työkonetekniikka

Tekijä: Tommi Niskakangas

Työn nimi: Kaksitahtimoottorin hyötysuhteen parantaminen elektronisella moottorinohjainlaitteella

Ohjaaja: Ari Saunamäki

Vuosi:2013

Sivumäärä: 53

Liitteiden lukumäärä:0

Opinnäytetyössä käsitellään kaksitahtimoottoritekniikkaa ja sen hyötysuhteen parantamista. Tarkoituksena on selvittää kaksitahtimoottorin yleinen toimintaperiaate, verrata sen toiminnan eroavaisuuksia nykyisesti yleisempään nelitahtimoottoriin ja pohtia hyötysuhteeseen vaikuttavia seikkoja. Työssä pohditaan myös nykytekniikan innovaatioiden soveltuvuutta kaksitahtimoottoritekniikassa.

Opinnäytetyö on tehty osittaisena tuotekehityksenä AutoTune Finland Oy:lle. AutoTune Finland Oy on suomalainen ajoneuvoelektronikkaan keskittynyt yritys, jonka pääasiallisena tuotteena ovat erinäiset elektroniset ohjainlaitteet.

Opinnäytetyön tuloksista voitiin päätellä elektronisen moottorinohjauslaitteen soveltuvan myös kaksitahtimoottoriin. Käytettäessä elektronista moottorinohjauslaitetta voidaan kaksitahtimoottorin täytöstä ohjata tarkemmin kuin mekaanisilla komponenteilla. Täytöksen tarkkuudesta johtuen voidaan olettaa elektronisen ohjainlaitteen parantavan moottorin hyötysuhdetta ja alentavan ajoneuvon pakokaasupäästöjä.

Avainsanat: kulkuneuvotekniikka, moottorit

SEINÄJOKIUNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: Seinäjoki University of Applied Sciences

Degree programme: Mechanical and Production Engineering

Specialisation: Automotive and Work Machine Engineering

Author: Tommi Niskakangas

Title of thesis: Two-stroke engine efficiency improvement with an electronic control unit

Supervisor: Ari Saunamäki

Year: 2013

Number of pages: 53

Number of appendices: 0

This thesis processes a two-stroke engine technology and the improvement of its efficiency. The purpose is to find out of a two-stroke engine of the general operating principle and to compare the differences between the two-stroke and four-stroke engines. The thesis also discusses the state of the art innovation suitability of the two-stroke engine technology.

The thesis was the product development for AutoTune Finland Oy. AutoTune Finland Oy is a Finnish company whose main products are electronic controller units for the vehicle use.

Using the electronic engine control unit with the two-stroke engine the engine filling can be controlled more accurately. The more accurate filling leads to a better efficiency and decreased exhaust emissions.

Keywords: vehicles, motors

Esipuhe

Lähdin laatimaan tätä työtä lähinnä henkilökohtaisesta kiinnostuksestani kaksitahtimoottoritekniikkaan. Kiinnostukseni juontaa juurensa aina 1990-luvun alkuun, jolloin itse astuin ensimmäisen kaksitahtimoottorilla varustetun moottoripyörän ohjaksiin. Hyvin pian huomasin kiinnostuneeni enemmän siitä, miksi moottoripyörä kulkee eteenpäin enkä siitä, kuinka sitä tulisi kuljettaa.

Kaksitahtimoottoritekniikka on katoamassa tieliikennekäytöstä ja tilalle on jo nousut nelitahtimoottoreilla varustetut ajoneuvot. Tiukentuneet päästömääräykset suosivat paremman hyötysuhteen omaavia nelitahtimoottoreita. Silti kaksitahtimoottoreita valmistetaan vielä pääasiassa kilpailukäyttöön niiden keveyden ja helpomman huollettavuuden takia verrattuna nelitahtimoottoreihin. Tosin nykyisin nelitahtimoottorit ovat valtaamassa alaa myös moottoriurheilun puolella.

Näistä seikoista johtuen sainkin idean tehdä opinnäytetyöni kaksitahtimoottoritekniikasta ja sen hyötysuhteen parantamisesta. Työn alkuvaiheilla kartoitin erilaisia vaihtoehtoja kaksitahtimoottorin hyötysuhteen parantamiseksi ja huomasin elektronisen moottorinohjauksen olevan vähintäänkin kokeilemisen arvoinen seikka. Vaihtoehtoja kartoittaessani törmäsin yritykseen AutoTune Finland Oy, joka vaikutti kiinnostuneelta ideastani ja tarjoutui yhteistyökumppanikseni. Yhteistyö AutoTune Finland Oy:n kanssa antoi minulle tilaisuuden käyttää työssäni monipuolisinta ja uusinta moottorinohjauselektroniikkaa. Haluankin siis vielä osoittaa kiitokseni AutoTune Finland Oy:n henkilökunnalle työni mahdollistamisesta.

Työtä tehdessäni törmäsin myös muihin suomalaisiin oman alansa ammattilaisiin joilta sain hyviä henkilökohtaisia neuvoja. Näitä henkilöitä ovat Arttu Heinälä, joka auttoi työssä tarvittavien lähestulkoon uniikkien elektroniikka toteutusten kanssa ja Veli-Matti Partanen, joka auttoi moottoriin tehtävien koneistuksien kanssa. Lisäksi haluan kiittää myös Seppo Tiittasta, joka antoi minulle luvan käyttää materiaalia hänen omakustannekirjastaan "Motocross - mekaanikon käsikirja".

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
Esipuhe	4
SISÄLTÖ	5
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	7
Käytetyt termit ja lyhenteet	8
1 JOHDANTO	9
2 KAKSITAHTIMOOTTORITEKNIIKAN PERUSTEET	10
2.1 Kaksitahtimoottorien toimintaperiaatteet	10
2.2 Kampikoneisto ja vaihteisto.....	15
2.3 Sylinteri	17
2.4 Sylinterikansi	19
2.5 Polttoainelaitteet.....	21
2.6 Sytytyslaitteisto	22
2.7 Pakoputkisto	23
3 TERMODYNAMIIKKA	24
4 KOHDEAJONEUVO JA SEN ALKUPERÄINEN KOKOONPANO .	26
4.1 Sylinteri ja sylinterikansi	27
4.2 Polttoaineensyöttö.....	28
4.3 Sytytyslaitteisto	29
4.4 Pakoputkisto	29
5 MOOTTORIN MUUTOSTYÖT	31
5.1 Ongelmat yleisesti.....	31
5.2 Polttoainelaitteet.....	32
5.3 Sylinteri ja sylinterikansi	36
5.4 Kampikoneisto ja vaihteisto.....	36
5.5 Moottorinohjauslaite	37
5.5.1 AutoTuneFinland:n ATdriveboard	37
5.5.2 Lähtöarvojen määrittäminen.....	39

5.5.3 PWM-ohjaus	41
5.6 Sytytys	42
5.7 Pakoputkisto	46
6 TULOKSET	48
6.1 Ensikäynnistys ja säädöt.....	48
6.2 Parannettavaa.....	48
7 YHTEENVETO.....	51
LÄHTEET	52

Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Kaksitahtimoottorin sisäiset virtaukset (Tiittanen 1984, 8–9).	12
Kuvio 2. Jakolevy (Tiittanen 1984, 51).	13
Kuvio 3. Lämpäventtiili (Tiittanen 1984, 49).	14
Kuvio 4. Kampikoneisto (Tiittanen 1984, 8).	16
Kuvio 5. Pakoaukonsäätimen periaate (Tiittanen 1984, 59).	18
Kuvio 6. Sylinterin kanavien suuntauksien vaikutukset (Tiittanen 1984, 65).	19
Kuvio 7. Palotilojen tyypit (Bell 1999, 14).	20
Kuvio 8. Sytytystapojen eroavaisuudet (Tiittanen 1984, 107).	22
Kuvio 9. Kohdeajoneuvo Cagiva Mito.	26
Kuvio 10. Portmap.	27
Kuvio 11. Pakokaasun virtaukset alkuperäisessä pakoputkistossa.	30
Kuvio 12. Alkuperäinen pakoputkisto.	30
Kuvio 13. Päivitetty moottorikonaisuus.	31
Kuvio 14. Uusi kaasuläppärunko sekä osa polttoainelinjaa.	33
Kuvio 15. Sekundaariläpän vaikutukset.	35
Kuvio 16. ATdriveboard. (ATdriveboard asennusohjeet, 1).	38
Kuvio 17. ATdriveboard liitäntäkaavio. (ATdriveboard asennusohjeet, 3).	39
Kuvio 18. Polttoainekartta.	40
Kuvio 19. Arduino Uno.	41
Kuvio 20. 0–5 V muunnospiiri (Heinälä. 2013.)	42
Kuvio 21. Triggeripyörä.	43
Kuvio 22 Sytytysennakko.	44
Kuvio 23. Laskennallisesti optimaalinen pakoputkisto.	46
Kuvio 24. JollyMoton mitoitus.	47
Kuvio 25. Päivitetty triggeripyörä.	49

Käytetyt termit ja lyhenteet

CC	Termillä kuutio tarkoitetaan tilavuuden yksikköä kuuti-senttimetriä [cm ³]
CDI	Termillä tarkoitetaan englannin kielen termiä Capacitor Discharge Ignition. Kyseinen järjestelmä on kondensaat-torisytytys, jossa moottorin pyörintäliikkeestä muodoste-taan sytytysenergia. Sytytysenergia varataan kondensaat-toriin ja vapautetaan sieltä sytytyshehkellä.
HP	Termillä tarkoitetaan englanninkielen termiä Horse Power, hevosvoima
RPM	Termillä tarkoitetaan englanninkielen termiä round per minute, kierrosta minuutissa
PWM	Termillä tarkoitetaan englanninkielen termiä pulse width moduling, pulssinleveysmodulaatio on kuormaan mene-vän jännitteen moduloititapa.
EYKK	Termillä tarkoitetaan männän asemaa ennen yläkääntö-kohtaa
Triggeripyörä	Trigger wheel, kampiakselilla sijaitseva hammaspyörä, jolta luetaan moottorin pyörintänopeus.
VR anturi	Termillä tarkoitetaan induktiivista pyörintänopeusanturia.
RC servo	Termillä tarkoitetaan radio-ohjattaviin (RadioControlled) ajoneuvoihin tarkoitettuja kääntö- ja ohjausservomootto-reita.
Sekventiaalinen	Termillä tarkoitetaan suomenkielentermejä peräkkäisjär-jestyksessä tapahtuva ja portaittainen.

1 JOHDANTO

Tässä työssä tullaan perehtymään kaksitahtimoottoritekniikkaan, kaksitahtimoottorin termodynamiikkaan ja mahdolliseen hyötysuhteen parantamiseen. Lähtökohtana on italialaisvalmisteinen Cagiva Mito, joka on 125cc-kaksitahtimoottorilla varustettu moottoripyörä. Kyseisen moottoripyörän käyttäytymistä rata-ajossa on vaivannut tehon aleneminen lämpötilojen nousun myötä. Kyseinen moottoripyörä on lähtökohtaisesti valmistettu käytettäväksi tieliikenteessä. Tässä työssä käsiteltävää moottoripyörää tullaan tulevaisuudessa käyttämään moottoriradoilla, joten nykyhetkellä vallitsevia tieliikennemääräyksiä ei tarvitse ottaa huomioon työtä tehdessä. Työn tarkoituksena on tutkia moottorin rakentamisessa käytettyjä menetelmiä ja muokata moottorikokonaisuutta sellaiseksi, ettei lämpötilavaihteluista aiheutuva tehon alenemista juurikaan esiintyisi.

Opinnäytetyössä tehdään osittaista tuotekehitystä AutoTune Finland Oy-nimiselle yritykselle, jonka markkina-alueena ovat säädettävät moottorinohjauslaitteet ja oheistarvikkeet. AutoTune Finland Oy on harrastetoimintaan perustuva ajoneuvoelektroniikkaan ja ajoneuvojen lisälaitteisiin keskittynyt yritys.

Moottorin täytöstä ja sytytystä tullaan ohjaamaan AutoTune Finland Oy:n kehittämällä elektronisella moottorinohjauslaitteella joka mahdollistaa sekventiaalisen polttoaineenruiskutuksen, sytytyksenohjauksen ja portaattomasti säädettävien, moottorin virtauksia parantavien PWM-ohjattujen säätimien käytön.

2 KAKSITAHTIMOOTTORITEKNIIKAN PERUSTEET

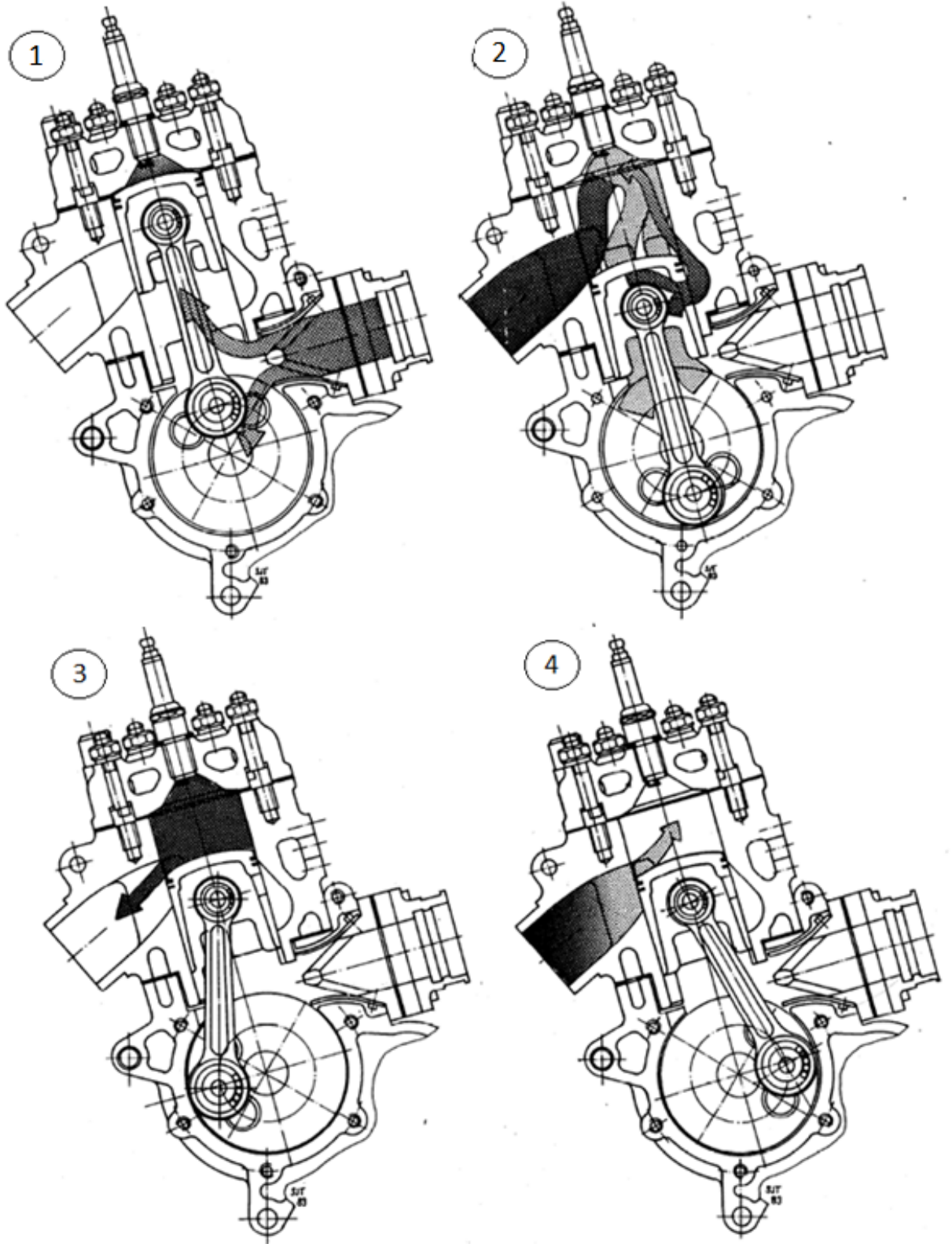
Tässä osiossa käsitellään kaksitahtimoottoritekniikkaa yleisesti ja perehdytään hieman sen toimintaan. Osiossa esitettävät asiat ja teoriat ovat pohjana koko työille. Työssä on käsitelty verrattain pientä 125cc-kaksitahtimoottoria ja voidaankin siis olettaa, etteivät työssä esitetyt teoriat välttämättä päde käsiteltäessä esimerkiksi suurempia kaksitahtidieselmoottoreita.

2.1 Kaksitahtimoottorien toimintaperiaatteet

Kaksitahtimoottori eroaa nykyisin yleisesti käytössä olevasta nelitahtimoottorista monin tavoin. Kaksitahtimoottorissa täysi työkierto tapahtuu yhden kampiakselikierron aikana, nelitahtimoottorissa vastaava tapahtuma tarvitsee kaksi kampiakselikierrosta. Vaikka kaksitahtimoottorin työtahti esiintyy jokaisella kampiakselikierroksella, nelitahtimoottorin joka toisen sijaan, ei kaksitahtimoottorin tuottama teho yhtä kuutiota kohden ole kaksinkertainen nelitahtimoottoriin nähden. Tämä ilmiö selittyy nelitahtimoottorin paremmalla kaasujenvaihdolla, josta johtuu nelitahtimoottorin parempi hyötysuhde. (Autoteknillinen taskukirja 2002, 425–428.) Kaksitahtimoottorin sisäisiä virtauksia selventää kuvio 1.

Kuviossa 1, kohdassa 1, on esitetty kaksitahtimoottorin imuvaihe. Imuvaiheessa mäntä on noussut ylös kohti palotilaa ja näin ollen sylinterissä sijaitseva imukanava on auennut. Auenneesta imukanavasta ilma-polttoaineseos pääsee virtaamaan kampikammioon. Kuviossa 1, kohdassa 2, mäntä on laskeutunut alas kampikammioon. Männän liikkumisen aikana kohti kampikammioita kasvaa paine-ero männän laen ja helman välillä. Tämä paine-ero saa kampikammiossa olevan ilma-polttoaineseoksen virtaamaan huuhtelukanaavia pitkin kohti palotilaa. Kampikammioista virtaava tuore ilma-polttoaineseos työntää palotilassa sijaitsevaa pakokaasua kohti pakoputkistoa. Mikäli kaksitahtimoottorin virtauskanavat tai sen pakoputkisto on suunniteltu huonosti, pääsee tässä vaiheessa osa tuoreesta ilma-polttoaineseoksesta virtaamaan pakoputkistoon. Tätä vaihetta nimitetään huuhteluvaiheeksi. Huuhteluvaiheen jälkeen männän ollessa yläkääntökohdassa on ilmapolttoaineseos puristettu männän ja palotilan väliin. Tässä puristusvaiheessa

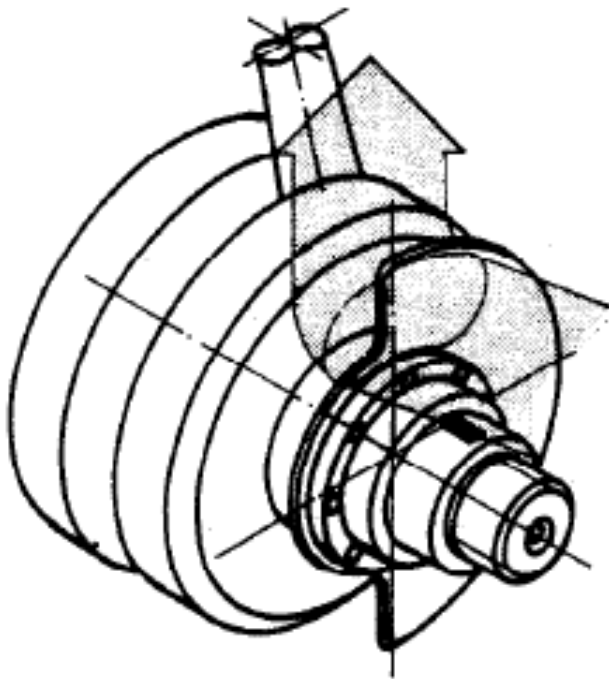
ilma-polttoaineseos sytytetään ja palamisessa laajeneva kaasu saa männän liikumaan kohti kampikammiota. Ilma-polttoaineseoksen palaminen tapahtuu kuvion 1, kohdan 1, esittämässä vaiheessa. Kuviossa 1, kohdassa 3, mäntä on laskeutmassa kohti kampikammiota. Tämä vaihe esiintyy huuhteluvaiheen jälkeen, kun ilma-polttoaineseos on poltettu sylinterikannenpalotilassa. Männän liikuessa riittävästi alas, kohti kampikammiota, aukeaa sylinterissä sijaitseva pakokanava ja palamisessa muodostuneet pakokaasut pääset virtaamaan pakoputkistoon. Kuviossa 1, kohdassa 4, on kuvattuna moottorin edellisen huuhteluvaiheen aikana mahdollinen pakoputkistoon virrannut tuore ilma-polttoaineseos virtaa takaisin kohti palotilaa. (Tiittanen 1984, 5–10.)



Kuvio 1. Kaksitahtimoottorin sisäiset virtaukset (Tiittanen 1984, 8–9).

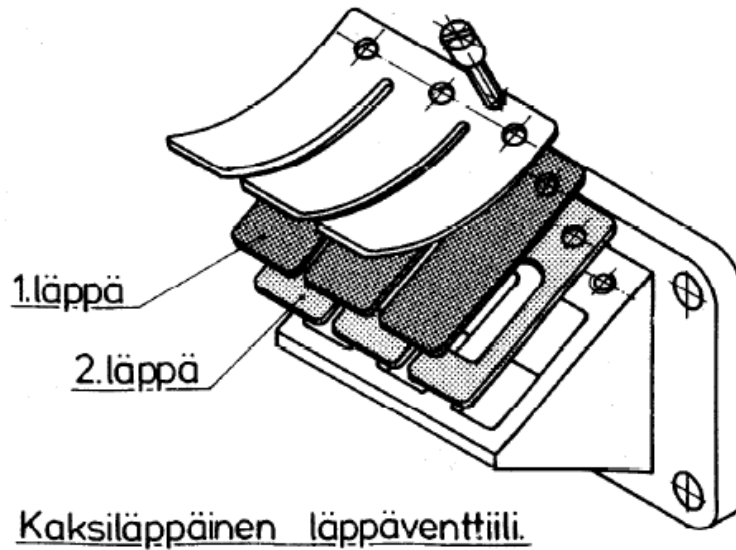
Kaasujen vaihto kaksitahtimoottorissa perustuu männän liikkeen aiheuttamiin paine-eroihin ja mäntä on myös ohjaavana komponenttina kyseisessä toimituksessa. Ensimmäiset kaksitahtimoottorit olivat pelkästään mäntäohjattuja, joissa sylinterissä olevien virtausaukkojen suhteellinen ajoitus kampiakselin kulmaan nähden oli oltava juuri oikea moottorin optimaalisen toiminnan takaamiseksi. Edellä mainitulla rakenteella varustettujen moottorien täytös on huono, koska sisäänvirtauskanava jouduttiin sulkemaan heti, kun kampikammiossa vallitseva alipaine alkoi laskea. Mikäli ajoitus virtauskanavan sulkemisen suhteen on pielessä, ilma-polttoaineseosta alkaa virrata männän tuottaman paineen vaikutuksesta pois kampikammioista takaisin kohti kaasuttajaa, joka johtaisi entistä huonompaan täytökseen. (Dixon, 2005, 9–16; Tiittanen 1984, 7–10.)

Ensimmäinen kaksitahtimoottorin täytöstä parantava rakenteellinen muutos, imu-kanavan jakolevy, otettiin käyttöön Ranskassa vuonna 1906. Jakolevy on ympyrän muotoinen levy, josta on poistettu materiaalia tietyltä sektorilta (kuvio 2.). Jakolevyn tarkoitus on ohjata kampikammioon virtaavan ilma-polttonesteseoksen virtausajoitusta ja ehkäistä mahdollinen takaisinvirtaus. (Dixon 2005, 11.)



Kuvio 2. Jakolevy (Tiittanen 1984, 51).

Nykyisin kaksitahtimoottoreissa on yleisesti käytössä kampikammiovirtausta säätelevä läppäventtiili. Läppäventtiili (kuvio 3.) on progressiivinen venttiili, joka reagoi itsenäisesti kampikammiossa vallitsevaan painetilaan ja täten ohjaa täytöksen automaattisesti maksimaaliseksi, poissulkien takaisin virtauksen teoreettisesti kokonaan. (Tiittanen 1984, 49.)

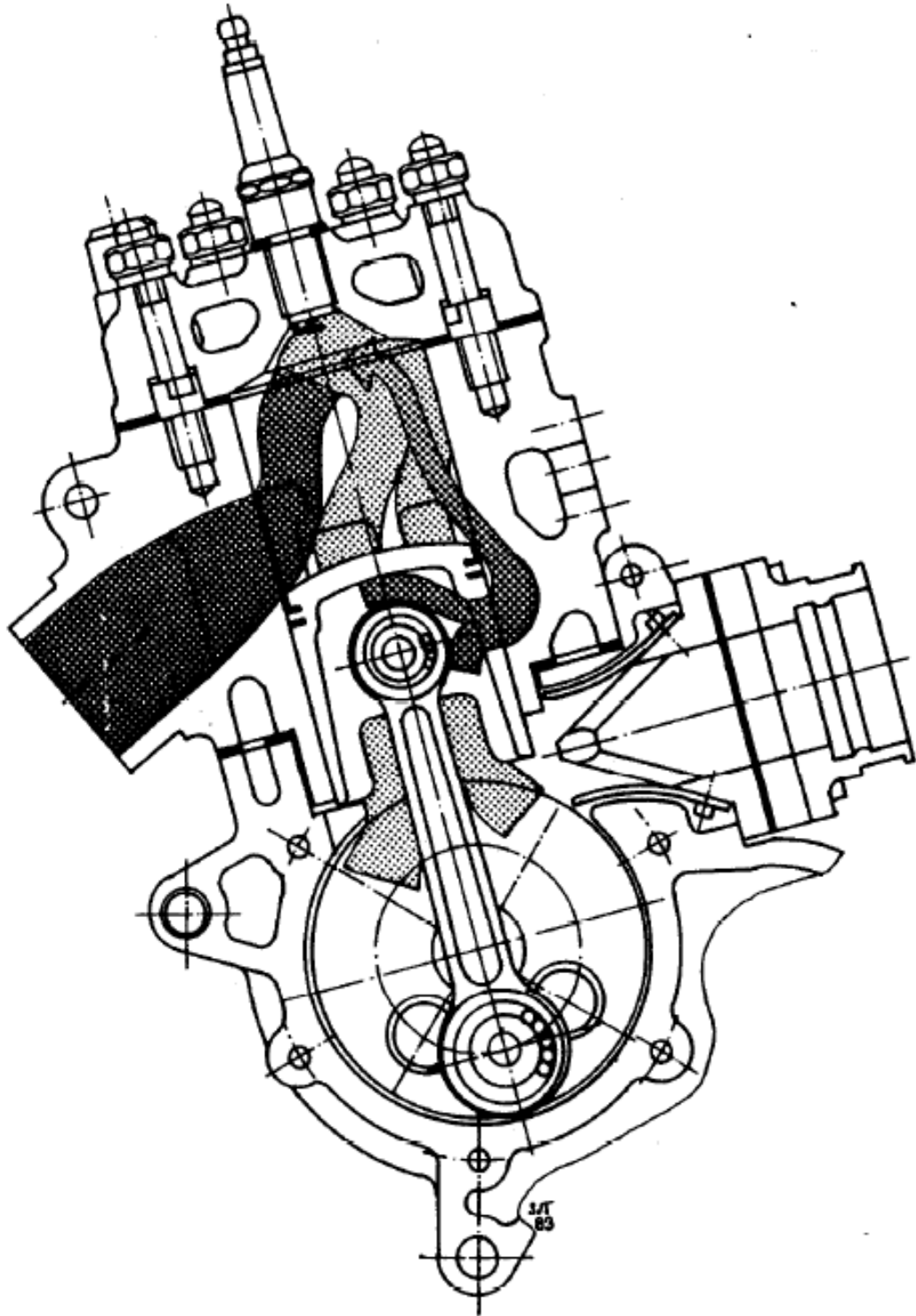


Kuvio 3. Läppäventtiili (Tiittanen 1984, 49).

2.2 Kampikoneisto ja vaihteisto

Kampikoneisto (kuvio 4.) on kaksitahtimoottorin, niin kuin muidenkin moottoreiden, sydän. Kampikoneiston tehtävänä on muuttaa männän edestakainen liike pyörimisliikkeeksi. Kampikoneisto koostuu yleisesti kampiakselista, kiertokangesta ja männästä. Kampikoneistossa kiertokanki on kiinnitetty kampiakseliin epäkeskeisesti siten, että kampiakselin pyöriessä kiertokanki tekee edestakaista liikettä. Kiertokangen toisen pään ollessa kiinnitettynä kampiakseliin kiinnitetään toiseen päähän mäntä. Männän ollessa yläkääntökohdassa, kohta jossa mäntä on mahdollisimman kaukana kampiakselista, männän laen yläpuolella pyritään muodostamaan hallittu palamisreaktio. Palamisreaktiossa muodostuva kaasu työntää mäntää kohti kampiakselia. Männän ollessa kiinnitettynä kiertokankeen, joka puolestaan on kiinnitetty epäkeskeisesti kampiakseliin, saadaan männän kampiakselia kohti tekemä liike muutettua pyöriväksi liikkeeksi. Kampiakselin hitausmomentti saa pyörivän liikkeen jatkumaan, minkä seurauksena mäntä palaa takaisin asemaan jossa se on mahdollisimman kaukana kampiakselista. Männän ollessa ääriasennoissaan pyritään toistamaan hallittu palamisreaktio ja näin moottorin kampiakseli pysyy pyörivässä liikkeessä. Kampikoneisto on yleisesti suljettu osakokonaisuus sisältäen ainoastaan ilma-polttoaineseoksen sisään virtauksen ja palamisreaktiossa muodostuneen pakokaasun ulosvirtauksen mahdollistavat kanavat. (Tiittanen 1984, 7–9, 30–31.)

Kampikoneiston sisäiset mittasuhteet sekä massat vaikuttavat osaltaan moottorin luonteeseen. Lähtökohtaisesti moottorin tulisi olla tasapainotettu, tällä tarkoitetaan sitä, että männän edestakaisen liikkeen tulisi aiheuttaa mahdollisimman vähän värinää moottorissa. Tasapainotus voidaan toteuttaa käyttämällä kampikoneistoa, jonka sisäiset hitausmomentit kumoavat ympäröivien komponenttien liikkeitä tai mahdollisesti käyttäen ulkopuolista tasapainoakselia. Tasapainoakselin toiminta perustuu siihen, että männän ollessa alakääntökohdassa tasapainoakselin tasapainottava massa on vastakkaisessa suunnassa ja aiheuttaa sisäistä kiihtyvyyttä vastakkaiseen suuntaan kumoten männän kiihtyvyydestä aiheutuneen värinän. (Dixon 2005, 87–89.)



Kuvio 4. Kampikoneisto (Tiittanen 1984, 8).

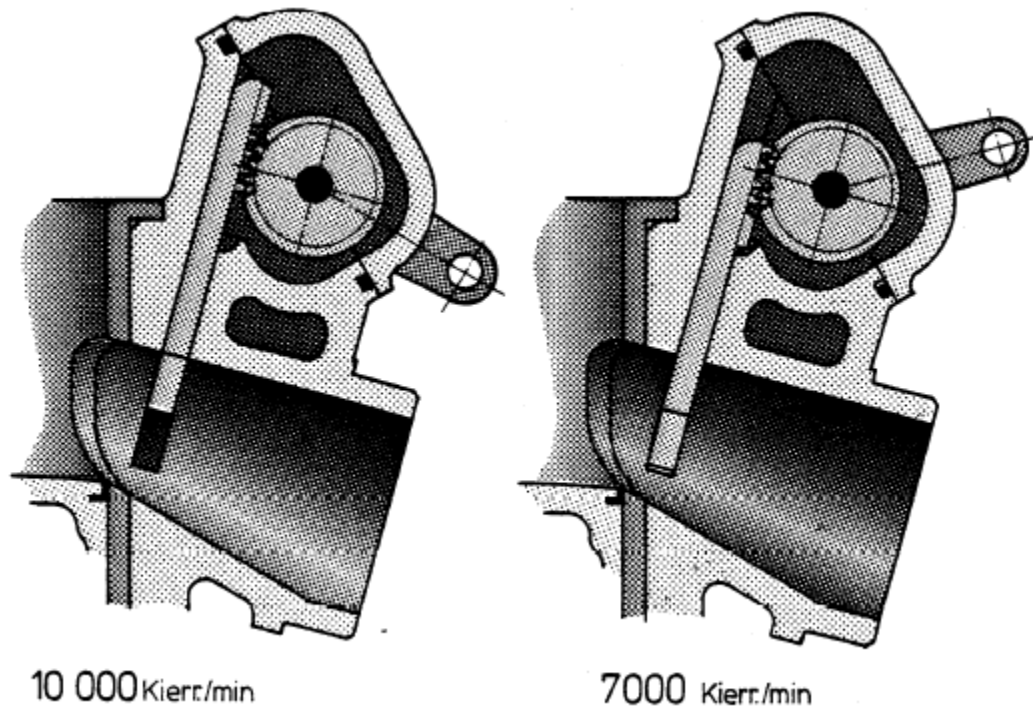
Kampikoneiston eri komponentit ovat liitetty toisiinsa laakeroiduilla liitoksilla. Kampikoneiston sisäisillä kitkoilla ja moottorin hengittävyteen vaikuttavilla kanavilla on suuri merkitys moottorin tuottamaan hyötysuhteeseen sekä moottorin yleiseen luonteeseen. Kampiakselin pyörivää liikettä siirretään voimansiirtolinjassa eteenpäin kohti ensiövoimansiirtoa ja sieltä edelleen toisiovoimansiirrolle. Kampikoneisto ja vaihteisto ovat toisiinsa yhteydessä erinäisten hammasrattaiden välityksellä. (Bell 1999, 192–221; Tiittanen 1984, 30–31, 33.)

2.3 Sylinteri

Kaksitahtimoottorin sylinteri sisältää useita virtaus- ja huuhtelukanaavia aukkoineen. Kanavien tarkoituksena on toimia väylänä moottorin palotilan tarvitseman ilma-polttoaineseoksen, sekä palotilasta pois virtaavien pakokaasujen virtauksille.

Kaksitahtimoottorin tärkeimpänä kanavana pidetään pakokaasun virtauksen mahdollistavaa pakokanavaa. Vastaavasti sylinterissä merkittävimpiä aukkona pidetään pakoaukkoa, joka on sylinterin seinämässä oleva leikkaus, josta pakokaasu pääsee virtaamaan pakokanavaan ja siitä edelleen pakoputkistoon. Pakoaukon muotoilu, ajoitus kampikulmaan nähden ja pinta-ala ovat merkittävimpiä tekijöitä kaksitahtimoottorin ominaisuuksien suhteen. Pienellä kampikulmalla sulkeutuva pakoaukko tekee moottorin luonteesta niin kutsutusti alavireisen, mutta samalla sitkeän kun taas suurella, noin 200 asteen, kulmalla toimivat moottorit tuottavat huipputehon korkeilla kierroksilla. (Bell 1999, 41.)

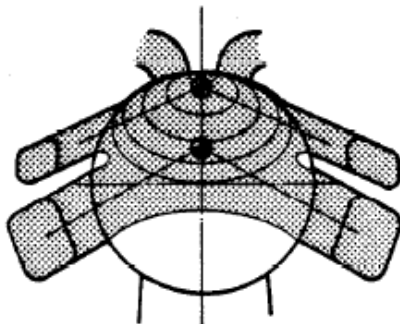
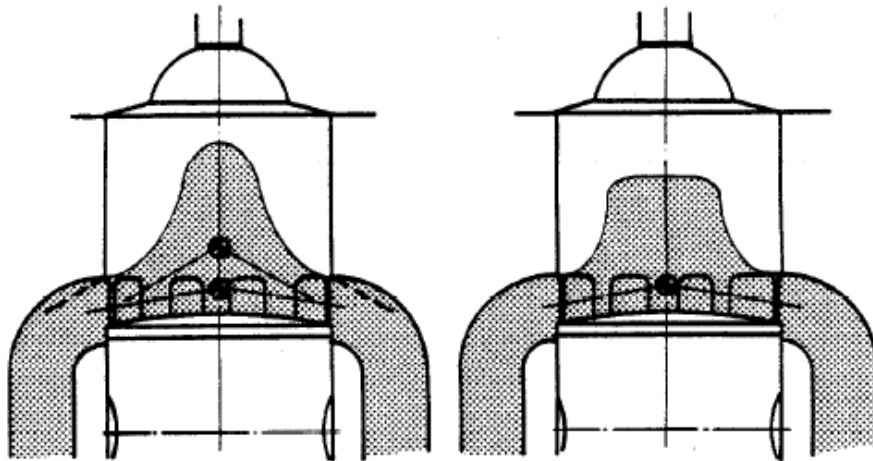
Nykyisissä kaksitahtimoottoreissa on käytössä niin kutsuttuja pakoaukonsäätimiä, joiden tehtävänä on vaikuttaa pakoaukon poikkipinta-alaan ja pakoaukon ajoitukseen. Tällainen mekanismi saa aikaan moottorin vetoalueen kasvun huomattavasti pidemmäksi kuin kiinteällä pakoaukolla olisi mahdollista. Pakoaukonsäätimen periaatetta selventää kuvio 5. (Bell 1999, 33–37; Tiittanen 1984, 55–59.)



Kuvio 5. Pakoaukonsäätimen periaate (Tiittanen 1984, 59).

Pakoaukko on fyysisesti kaksitahtimoottorin suurin yksittäinen virtauskanava ja täten sen vaikutukset männänrenkaiden kestävyys on myös otettava huomioon. Pakoaukon leveys sylinterin halkaisijan suhteen voi olla korkeintaan 72 %. Mikäli aukko on leveämpi, voidaan olettaa männänrenkaiden pullistuvan liikaa ulos uristaan aukon kohdalla. Tämä seikka saattaa johtaa kiinnileikkautumiseen männänrenkaan kiilautuessa sylinterinseinämän ja männän väliin. (Tiittanen 1984, 72.)

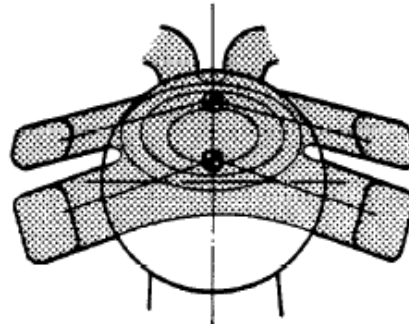
Kaksitahtimoottorin sylinterissä olevien kanavien keskinäiset paikat ovat myös huomion arvoisia. Tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi huuhtelukanan sijainti suhteessa pakoaukon sijaintiin vaikuttaa moottorin luoteeseen. Lisäksi kanavien suuntauksella on suuri merkitys palotilan huuhtelun suhteen. Kohti sylinterin takaosaa suunnatuilla kanavilla on taipumusta synnyttää pyörre palotilan keskiosaan ja näin ollen pakokaasun poistuminen saattaa häiriintyä. Suuntauksien merkitystä selventää kuvio 6. (Tiittanen 1984, 65–68.)



Huuhtelusuunta:

- Sylinterin takaseinää konti
- Taka-aukoista yläviistoon.

Vääntävä moottori



Huuhtelusuunta:

- Poikki sylinterin
- Vaakatasossa

Räjähtävä teho

Kuvio 6. Sylinterin kanavien suuntauksien vaikutukset (Tiittanen 1984, 65).

2.4 Sylinterikansi

Kaksitahtimoottoreiden sylintereitä on periaatteessa kahta päätyyppiä, pallosegmentin muotoinen tai vaihtoehtoisesti lähes puolipallon muotoinen ja niin kutsutun squish band-osuuden sisältävä palotila. Pallosegmenttipalotilassa sylinterikansi on muotoiltu koko männän pinta-alan alueelta pallosegmentinmuotoiseksi kun taas squish band-tyyppisessä kannessa sylinterikannen varsinainen palotila on pie-

nempi kuin männän laen pinta-ala. Kuviossa 7 on esitettyä palotilojen eroavaisuudet ylhäällä pallosegmentti ja alhaalla squish band. (Bell 1999, 12–16; Tiittanen 1984, 27–29.)

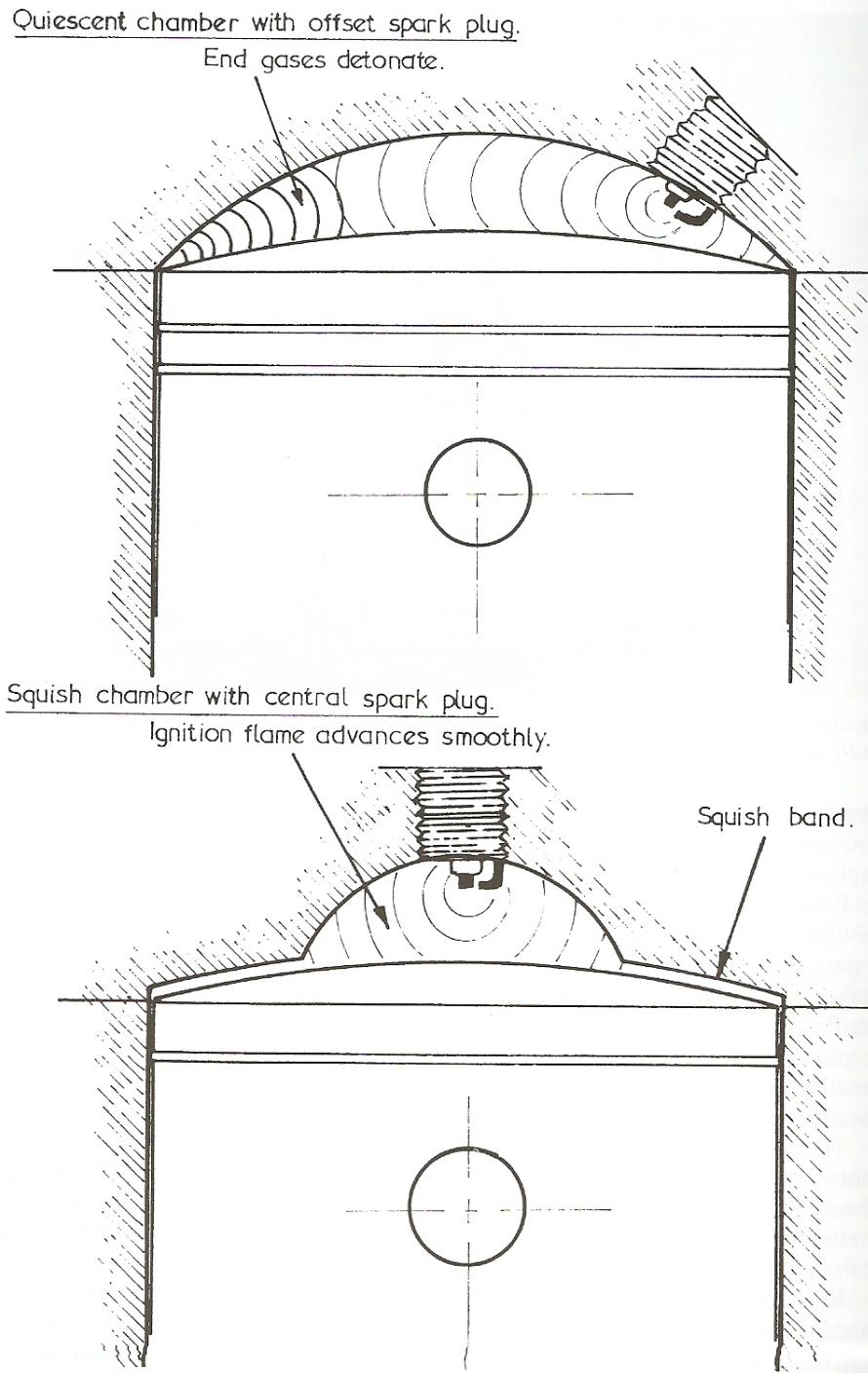


Figure 2.1 Squish-type combustion chamber promotes rapid combustion and reduces detonation.

Kuvio 7. Palotilojen tyypit (Bell 1999, 14)

Palotilojen vaikutus moottorin toimintaan on huomattavan suuri, pallosegmenttipalotila mahdollistaa moottorin toiminnan pienillä pyörintänopeuksilla, kun taas squish band-tyyppinen palotila on yleensä käytössä vain moottoreissa, jotka tuottavat huipputehon korkeilla pyörintänopeuksilla. Kyseinen ilmiö selittyy squish band-tyyppisen palotilaan muodostuvan ilma-polttoaineseoksen ja sytytystulpan elektrodin lyhyemmästä keskimääräisestä etäisyydestä verrattuna pallosegmenttipalotilaan. Squish band-palotilassa ilma-polttoaineseos palaa nopeammin verrattuna pallosegmenttipalotilaan. Squish band-palotilassa osa ilma-polttoaineseoksesta jää tyystin palamatta männän yläosan ja sylinterikannen välisen etäisyyden pienuudesta johtuen. Tästä syystä kyseisellä palotilatyyppillä varustettu moottori käy matalammassa lämpötilassa palamattoman ilma-polttoaineseoksen viilentäessä sylinterin pakokanavia pakotahdin aikana. (Tiittanen 1984, 27–29.)

Squish band-palotilaa käytettäessä tulee kuitenkin ottaa huomioon paljealueen mitoitus. Liian korkealla paljealueella squish band-palotilan ominaisuudet menevät hukkaan, kun toisaalta taas liian matala paljealue saattaa johtaa männän törmäämiseen sylinterikanteen. Tämä mahdollinen törmääminen johtuu moottorin laakeroinnissa vaadituista välyksistä. Näiden seikkojen takia 125cc-moottorissa paljealueen korkeus tulisi olla vähintään 0,6–0,8 mm. (Bell 1999, 12–18.)

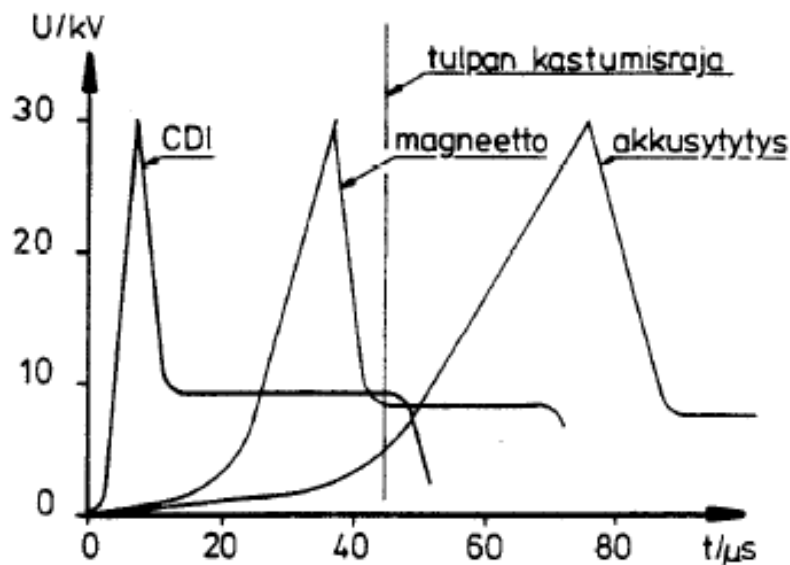
2.5 Polttoainelaitteet

Perinteisesti kaksitahtimoottoreissa on käytetty kaasutinta polttoaineen annosteluun, mutta nykyteknologia on mahdollistanut uusien innovaatioiden käyttämisen myös kaksitahtimoottoreissa. Kaksitahtimoottoreissa on kokeiltu käyttää polttoaineen suihkutuslaitteistoa, joka korvaa kaasuttimen ja jossa polttoaineen ruiskutus suutin sijaitsee imuputkistossa. Uusimpana innovaationa kaksitahtimoottoreissa on päädytty tekniikkaan, jossa polttoaine ruiskutetaan suoraan palotilaan, kuten nelitahtimoottoreiden suorasuihkutusjärjestelmissä. Tällöin vain ilma ohjataan imuputkistoa pitkin sylinteriin. (Athena D.I.C.C, [viitattu 29.1.2013].)

2.6 Sytytyslaitteisto

Sytytyslaitteistot ovat kehittyneet moottoritekniikan kehityksen myötä. Nykyisin yleisesti käytetty sytytystyyppi korkeakierrosmoottoreissa on niin kutsuttu CDI-sytytys. CDI-sytytyksen käyttäytymistä muihin sytytystyyppeihin verrattuna on kuvattu kuviossa 8.

Kaksitahtimoottorit ovat pääsääntöisesti korkeakierrosmoottoreita, joiden palotilassa sytytyshetkellä vallitseva paine on vastaavan kokoiseen nelitahtimoottoriin verrattuna pienempi. Tämä edellyttää sytytyslaitteistolta sellaisia ominaisuuksia kuin nopea varautuminen ja purkautuminen. Tästä johtuen nykyisissä kaksitahtimoottoreissa on yleensä CDI-sytytysjärjestelmä. CDI-sytytys on elektroninen sytytysjärjestelmä, jossa sytytysenergia ladataan ensin kondensaattoriin. Sytytyshetkellä sytytysenergia ohjataan vapautumaan kondensaattorista. Vapautuminen on nopeaa ja synnyttää näin ollen tavanomaisia sytytyslaitteistoja kuumemman, mutta lyhempikestoisen kipinän. (Bell 1999, 164–169.)



Kuvio 8. Sytytystapojen eroavaisuudet (Tiittanen 1984, 107).

2.7 Pakoputkisto

Kaksitahtimoottorin toimintaan vaikuttavista osakokonaisuuksista suurimmassa osassa on pakoputkisto. Pakoputkiston tehtävänä ei ole pelkästään ohjata palotapahtuman tuottavaa pakokaasua pois moottorista, vaan myös tehostaa moottorin huuhtelua. Kaksitahtimoottorin pakoaukko on vielä osittain auki silloin kun moottorin palotilaan virtaa ilma-polttoaineseosta, sama ilmiö esiintyy nelitahtimoottoreissa joiden nokka-akseleissa on niin kutsuttua overlapiä. Tämä tarkoittaa sitä, että osa palamattomasta seoksesta virtaa pakoputkistoon ja näin ollen heikentää hyötysuhdetta. Pakoputkistoon virrannut palamaton seos lisää myös kulutusta ja aiheuttaa haitallisia päästöjä. Oikein suunnitellulla pakoputkistolla kyseistä ilmiötä ei juurikaan esiinny. Optimaalisessa pakoputkistossa edellisen palotapahtuman synnyttämä kaasuvirtaus heijastuu pakoputkiston kartiomaisesta muodosta, muuttaa virtaussuuntaa takaisin sylinteriin päin ja näin ollen työntää pakoaukosta pakoputkistoon virranneen palamattoman ilma-polttoaineseoksen takaisin palotilaan. Kyseistä ilmiötä voidaan nimittää ylitäytökseksi. (Tiittanen 1984, 8–9, 86.)

3 TERMODYNAMIIKKA

Termodynamiikka liittyy olennaisena osana moottoritekniikkaan. Termodynamiikan läsnäolo korostuu moottorin hyötysuhdetta muutettaessa, etenkin hyötysuhteen nostamisessa. Tässä työssä on pyritty ajattelemaan kokonaishyötysuhteen nostoa termodynamiikan ensimmäisen- ja toisen lauseen periaatteiden mukaisesti. Termodynamiikan päälauseet ovat:

Energiaa ei voi syntyä millään tapaa tyhjästä eikä sitä voida hävittää. Energialajeja voidaan vain muunnella, esim. lämpöä mekaaniseksi energiaksi.

Lämpöä ei voida muuntaa kokonaan täydellisesti toiseksi energiamuodoksi, esim. mekaaniseksi työksi. Kaikki luonnolliset ja tekniset energianmuunnosprosessit eivät ole palautuvia (irreversiibeilitä) ja muuntuvat yhteen suuntaan (todennäköisen tilan mukaan). Lämpö siirtyy vapaaehtoisesti vain lämpimämmästä kylmempään kappaleeseen, päin vastoin vain tuomalla mukaan energiaa.

(Autoteknillinen taskukirja 2002, 99.)

Mäntäohjatuissa kaksitahtimoottoreissa hyötysuhteen kannalta termisesti vaikein osa-alue on saada polttoaine-ilmaseos pysymään viileänä huuhtelu- ja puristusta- pahtumien aikana. Tämän ilmiön selittää kaksitahtimoottorin yleinen rakenne. Kaksitahtimoottorissa ilmapolttoaineseos ohjataan männän liikkeiden avulla sylinterin palotilaan, jonka lämpötila on yleensä suurempi kuin männän alapuolella olevan kampikammion. Palotilan korkeamman lämpötilan takia polttoaineseoksenkin lämpötila nousee, mikä johtaa tiheyden alenemiseen ja tällä tavoin vaikuttaa myös suoraan moottorin hyötysuhteeseen huonontuneen täytöksen takia. (Tiittanen 1984, 22–25.)

Kaksitahtimoottorin hyötysuhdetta nostettaessa on syytä ottaa huomioon myös moottorin termisesti heikoimmat ominaisuudet. Liian suurella lämpötilalla tapahtunut palaminen voi johtaa moottorin nakuttamiseen ja myös pakokaasujen liialliseen lämpötilaan. Nakuttamisella tarkoitetaan ilma-polttoaineseoksen hallitsematonta ja nopeaa palamista lämpötilan ja paineen vaikutuksesta. Pakokaasujen normaalia korkeampi lämpötila johtaa taas siihen, että pakoputkistosta heijastunut seos

lämmittää männän vaippapintaa. Männän vaippapinnan lämmitessä myös männän alapuolella kampikammiossa oleva ilma-polttoaineseos lämpenee ja sen tiheys laskee. Koska seoksen lämpötila on noussut, on myös sen reagoitiherkkyys noussut, mikä voi johtaa itsesytyvyys eli nakutusongelmaan. Pakokaasun lämpötilan ollessa korkea se aiheuttaa myös ongelmia männän vaippapinnan voitelulle. Nämä edellä mainitut seikat korostuvat pakoaukon leveyden kasvaessa. Mitä leveämpi pakoaukko, sitä suurempi ala männän vaippapinnasta joutuu alttiiksi lämpökuormitukselle. (Tiittanen 1984, 25–28, 63, 68.)

Kaksitahtimoottorin hyötysuhdetta nostettaessa ajattelun arvoinen seikka löytyy myös mahdollisesta kemiallisesta jäädyttämisestä, esimerkiksi vesi-metanoliruiskutuksen käyttämisestä täytöksen parantamiseksi. Vesi-metanoliruiskutuksen hyödyt perustuvat korkealla paineella suihkutettavan veden taipumukseen höyrystyä lämpötilan noustessa. Höyrystyessään vesi-metanoliseos sitoo itseensä lämpöenergiaa. Normaalitilanteessa moottorin sisään virtaava ilma lämpenee sylinteristä johtuvan lämpöenergian johdosta ja näin ollen moottorin täytös huononee. Mikäli sisään virtaavaan ilmaan ruiskutettaisiin helposti höyrystyvää vesi-metanoliseosta, saataisiin täytöstä parannettua sisään virtaavan ilman lämpötilan laskun ja alentuneen palolämpötilan johdosta. (Syrjälä 2010, 13.)

4 KOHDEAJONEUVO JA SEN ALKUPERÄINEN KOKOONPANO

Tämän työn kohteeksi valikoitui italialaisvalmisteinen Cagiva Mito -kevytmoottoripyörä (kuvio 9). Perimmäiseltä käyttötarkoitukseltaan kyseinen malli on valmistettu tieliikennekäyttöön. Cagivalla on pitkät juuret moottoriurheilun maailmassa. Ensimmäinen Cagivan road racing-moottoripyörä valmistui vuodeksi 1980 Virginio Ferrarin ollessa Cagivan tehdaskuljettaja 500cc-luokassa (Cagiva, [viitattu 29.1.2013]). Cagiva valikoitui tämän työn kohteeksi lähinnä sen tilavan ohjaamon sekä parempien iskunvaimentimien ja jarrujen puolesta verrattuna muihin 125cc-kaksitahtimoottorilla varustettuihin katumoottoripyöriin.

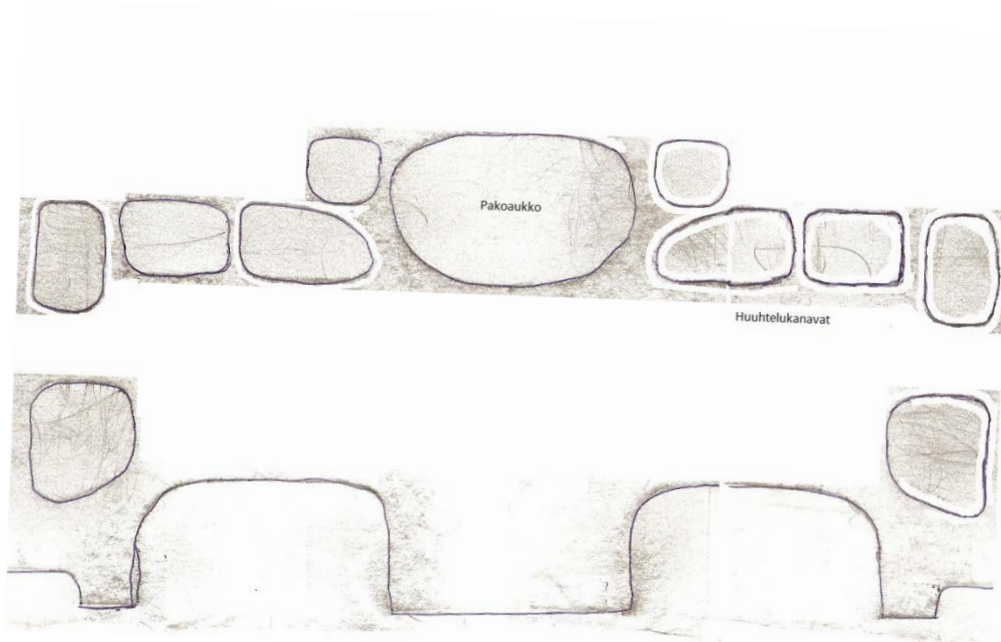


Kuvio 9. Kohdeajoneuvo Cagiva Mito.

4.1 Sylinteri ja sylinterikansi

Alkuperäisestä sylinteristä haluttiin selvittää virtauskanavien pinta-alat, suuntaukset ja ajoitukset. Sylinterin ominaisuuksien perusteella voidaan päättää, käytetäänkö alkuperäistä sylinteriä päivitettyssä kokoonpanossa vai täytyykö sylinterin virtauskanavia muokata.

Sylinterin analysointi suoritettiin Portmap Analyzer V 3.0 -ohjelmalla. Ohjelmaa käytettäessä syötetään ensin sylinterin perustiedot, esimerkiksi aktivoidaan jäljennyksestä haluttu sylinterin kanava ja syötetään sen etäisyys sylinterin yläosasta mitattuna. Portmap (kuvio 10) on jäljennös sylinterin sisällä olevista kanavista ja niiden asemista toisiinsa nähden.



Kuvio 10. Portmap.

Portmap Analyzer -ohjelmalla saatiin selvitettyä alkuperäisestä sylinteristä kaikki tarvittava tieto. Alkuperäisen sylinterin pakoaukon ajoitus on noin 197° ja pakoaukonpinta-ala noin $18,60 \text{ cm}^2$. Huuhtelukanaavien suuntaukset olivat myös toivotunlaiset, suunnattu kohti männän keskustaa, näistä ominaisuuksista voitiin päätellä sylinterin olevan suunniteltu toimimaan parhaiten korkeilla moottorinpyörintänopeuksilla.

Alkuperäisessä sylinterikannessa palotila oli muotoiltu pallosegmentti tyyppiseksi. Palotilan tilavuuden ja muotoilun perusteella voitiin päätellä sen olevan kompromissi. Palotila oli muotoiltu siten, että moottorin voitiin olettaa tuottavan tehoa tasan koko kierrosalueella.

4.2 Polttoaineensyöttö

Alkuperäiskokoonpanossa moottoriin virtaavaa polttoaine-ilmaseosta annostellaan kaasuttimella, jonka kurkun halkaisija on 28 mm. Kaasutin on optimaalinen noin 16 kW tuottavalle moottorille, mikäli laskentakaavana käytetään Tiittasen kaavaa:

$$D_k = 3 + \sqrt{125 * \left(\frac{P_e^{1,1}}{V_i^{0,3}}\right)} \quad (2)$$

jossa:

- D_k = Kaasuttajan kurkun halkaisija
- P_e = Kampiakseliteho
- V_i = Iskutilavuus

(Tiittanen 1984, 102)

Alkuperäisessä polttoainelaitteistossa polttoaineenkulutus työkiertoa kohden voidaan todeta laskemalla käyttäen kaavoja:

$$bc = \frac{L}{\lambda * L_0} \quad (3)$$

ja

$$L = \eta v * Vilma * \rho_0 \quad (4)$$

jossa:

- b_c = polttoaineen määrä / työkierto
- L = ilmamäärä $\left[\frac{kg}{työkierto}\right]$
- ηv = noin 0.65 (taulukkoarvo)

- *Vilma* = Moottorin ottama puhdas ilma (iskutilavuuden verran)
- $\rho_0 = 1,293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ (taulukkoarvo)
- λ = Ilmakerroin
- L_0 = Stökiometrinen ilmamäärä [kg/kg]

(Saunamäki 2012.)

Kyseisillä arvoilla moottorin polttoainetarve olisi noin 0,007 g/työkierto moottorin tuottaessa tehoa 11 kW. Kyseisen arvon paikkaansapitävyys voidaan arvioida laskemalla työkiertojen määrä tunnissa ja suhteuttamalla siihen työkiertoa kohden tarvittu polttoainemäärä. Näitä arvoja käytettäessä polttoaineen kulutus olisi noin 7,3 l/h, mikä on aivan realistinen arvo.

4.3 Sytytyslaitteisto

Moottoripyörässä alkuperäisenä käytettävä sytytyslaitteisto on CDI-tyyppinen, jonka sytytysominaisuudet riittäisivät hyvin käyttöön myös kilpa-ajokäytössä moottoriradalla. Ainoa oikea ongelma muodostuu sytytyksen ohjaimesta. Sytytys tapahtuu tietyllä pyörintänopeudella aina kyseiselle pyörintänopeudelle asetetulla ennakolla. Sytytyslaitteistossa on kiinteä kierrosnopeudenrajoitin, jonka toiminta perustuu siihen, että sytytyskäyrä muuttuu jyrkästi reiluun ennakkoon, siten ettei polttoaineseosta enää pystytä sytyttämään. Moottorin maksimipyörintänopeus on noin 12500 RPM käytettäessä alkuperäistä sytytyslaitteistoa. Maksimipyörintänopeuden korottamista on myös syytä harkita, mikäli moottorista halutaan saavuttaa maksimaalinen teho.

4.4 Pakoputkisto

Kohdepyöräksi valikoituneen moottoripyörän mallisarjassa on alkuperäisasennuksessa käytetty kahta erilaista pakoputkistoa. Pakoputkistot ovat perusrakenteeltaan identtiset, mutta toisessa pakoputkistotyyppissä on paisuntakammion ensimmäisen kartion kohdalle liitetty niin kutsuttu hukkaputki. Tämä hukkaputken tarkoituksena on jakaa pakokaasun virtauspulssi kahtia ja ohjata jakautuneet puoliskot

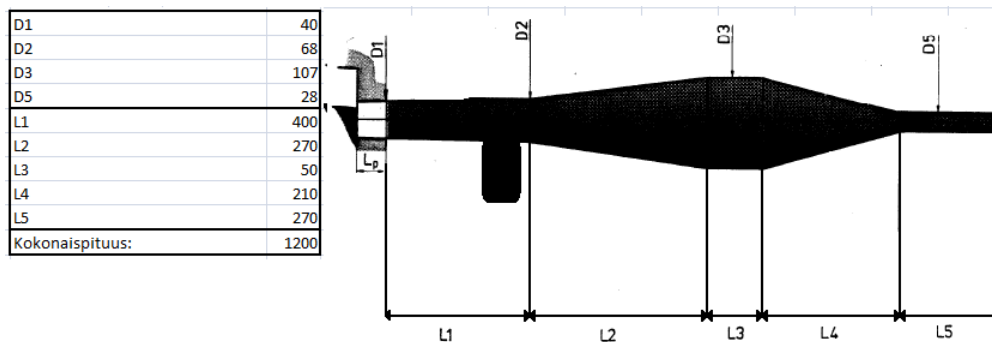
kohti omia heijastuskartioitaan. Kartiot, joista pulssien olisi tarkoitus heijastua takaisin kohti moottoria, ovat mitoitukseltaan erilaiset. Erilaisilla mitoitetut kartiot aiheuttavat sen, että moottorin hengitys häiriintyy ja moottori tuottaa vain murto-osan teoreettisesta maksimitehosta, kyseistä ilmiötä on havainnollistettu kuviossa 11. Kyseinen ratkaisu selittyy ajoneuvon myyntimaan ja ajoneuvoluokan mukaan. Suomeen tuoduista kyseisen mallisarjan moottoripyöristä lähes kaikki on käytönotettaessa rekisteröity kevytmoottoripyöriksi, joiden maksimi teho on lainsäädännöllisesti rajattu 11 kW:iin.



Kuvio 11. Pakokaasun virtaukset alkuperäisessä pakoputkistossa.

Pakoputkistoa analysoitaessa voitiin tulla sellaiseen tulokseen, että pakoputkisto on suunniteltu tuottamaan moottorista mahdollisimman paljon vääntömomenttia mahdollisimman laajalla käyttöalueella. Tällainen moottorin luonne on hyvinkin yleisesti tavoiteltu tieliikennekäyttöön suunnitelluissa ajoneuvoissa. Alkuperäisen pakoputkiston mitoitus on selvennetty kuviossa 12. Kuviossa näkyvän suljetun vastakartion mitoitus on:

- pituus = 300 mm
- halkaisija = 40 mm.



Kuvio 12. Alkuperäinen pakoputkisto.

5 MOOTTORIN MUUTOSTYÖT

Tässä kappaleessa paneudutaan alkuperäisestä moottorikokonaisuudesta löytyneisiin ongelmakohtiin ja analysoidaan niihin tehtävissä olevat muutokset. Ongelmat ja niiden mahdolliset aiheuttajat pyritään jakamaan osakokonaisuuksiin samalla kuitenkin ajatellen kohdeajoneuvoa kokonaisuutena. Uutta moottorikokonaisuutta kuvaa kuvio 13.



Kuvio 13. Päivitetty moottorikokonaisuus.

5.1 Ongelmat yleisesti

Alkuperäisessä moottorikokoonpanossa polttoainetta syötetään kaasuttimella, jonka virtauspinta-ala on noin $6,15 \text{ cm}^2$, joka käytännössä tarkoittaa sitä, että läpivirtaava ilmamäärä on liian pieni moottorin hyötysuhteen nostamisen kannalta. Tätä ongelmaa tukevaa teoriaa on käsitelty tarkemmin osiossa 4.2. Alkuperäinen kaasutin korvataan kaasuläpällä jonka pinta-ala on noin $13,85 \text{ cm}^2$. Kaasuläpän käy-

tön mahdollistaa mekaanisen polttoainejärjestelmän korvaaminen elektronisella ruiskutuslaitteistolla.

Toinen suurempi ongelmakohta on alkuperäisen sytytyslaitteiston kiinteät sytytysennakkokartat ja kiinteä pyörintänopeudenrajoitin. Kyseiset seikat rajoittavat huomattavasti moottorin hyötysuhdetta, mikäli moottoriin tehdään suuria muutoksia. Esimerkiksi palotilan muotoilu ja siitä johtuva sytytysennakon muutoksen tarve ei onnistu alkuperäisellä kokoonpanolla.

Alkuperäinen pakoputkisto on myös syytä vaihtaa sellaiseen, joka on suunniteltu toimimaan hyötysuhteen nostamisen kannalta paremmalla kierrosalueella. Pakoputkiston vaihdossa täytyy kartoittaa mahdollisuudet käyttää tehdastekoista pakoputkistoa.

5.2 Polttoainelaitteet

Uuden moottorikokonaisuuden polttoainelaitteistoksi päätettiin asentaa elektroninen polttoaineensuihkutus. Polttoainelaitteisto koostuu pääpiirteissään polttoainepumpusta, polttoainelinjasta ja paineensäätimestä sekä elektronisesti ohjatusta polttoainesuuttimesta, joka on sijoitettu hieman kaasuläpän taakse, lähemmäs sylinteriä.

Kohdeajoneuvon polttoainelaitteistoksi valikoitui 42 mm kaasuläppä ja noin 300 ml/min 3 bar:n polttoaineenpaineella tuottava polttoainesuutin (kuvio 14). Ihanteellinen kaasuläppä 125cc-korkeakierrosmoottoriin olisi ollut 32 mm - 38 mm (Bell 1999, 132)



Kuvio 14. Uusi kaasuläppärunko sekä osa polttoainelinjaa.

Valikoitunut kaasuläppä on aavistuksen ylimitoitettu, mutta toisaalta se mahdollistaa moottorin ilmansaannin vielä noin 55 hevosvoimaa tuottavaan moottoriin. Kyseisen arvon määrittämiseen on käytetty kaavaa 2 sivulta 27.

Ilman virtauksen nopeuttamiseksi matalilla moottorinpyörintänopeuksilla tullaan imusarjassa käyttämään servomoottoriohjattua toisioläppää, joka sijoitetaan varsinaisen kaasuläpän ja ilmapuhdistajan väliin. Toisioläpällä pyritään vaikuttamaan kaasuläpän virtauspinta-alan kasvuun moottorin pyörintänopeuden mukaan. Vertailussa käytetään lähtöarvona moottorin alkuperäisen kokoonpanon tilannetta, jossa moottorin kaasuläppä on täysin auki ja pyörintänopeus noin 5000 1/min. Kun moottorin pyörintänopeus saavuttaa arvon noin 6000 1/min aletaan avaamaan toisioläppää ja virtauspinta-ala kasvaa portaattomasti päätyen 42 mm:iin. Kyseisen toimenpide aiheuttaa virtausnopeuden nousun pysähtymisen, mutta samalla sisään virtaavan ilman määrä alkaa kasvaa (kuvio 15). Kyseisen muutoksen vaikutusta moottorin käyttäytymiseen kuormitustilanteessa ei voida arvioida ennalta, mutta oletettavasti moottori pystyy tuottamaan enemmän tehoa suuremmalla ilmamäärällä.

Kaasun virtauksen nopeus voidaan määrittää kaavalla:

$$V_{\text{kaas}} = \frac{4 \cdot V_i \cdot n}{\pi \cdot D_k^2} \quad (5)$$

jossa:

- V_{kaas} = Kaasun virtausnopeus [m/s]
- V_i = Iskutilavuus [cm³]
- D_k = Kaasuläpän halkaisija
- n = Moottorinpyörintänopeus 1/s

(Tiittanen 1984, 103)

Kyseisellä tavalla toimivaan moottoriin virtaava ilmamäärä voidaan karkeasti määrittää käyttämällä kaavaa:

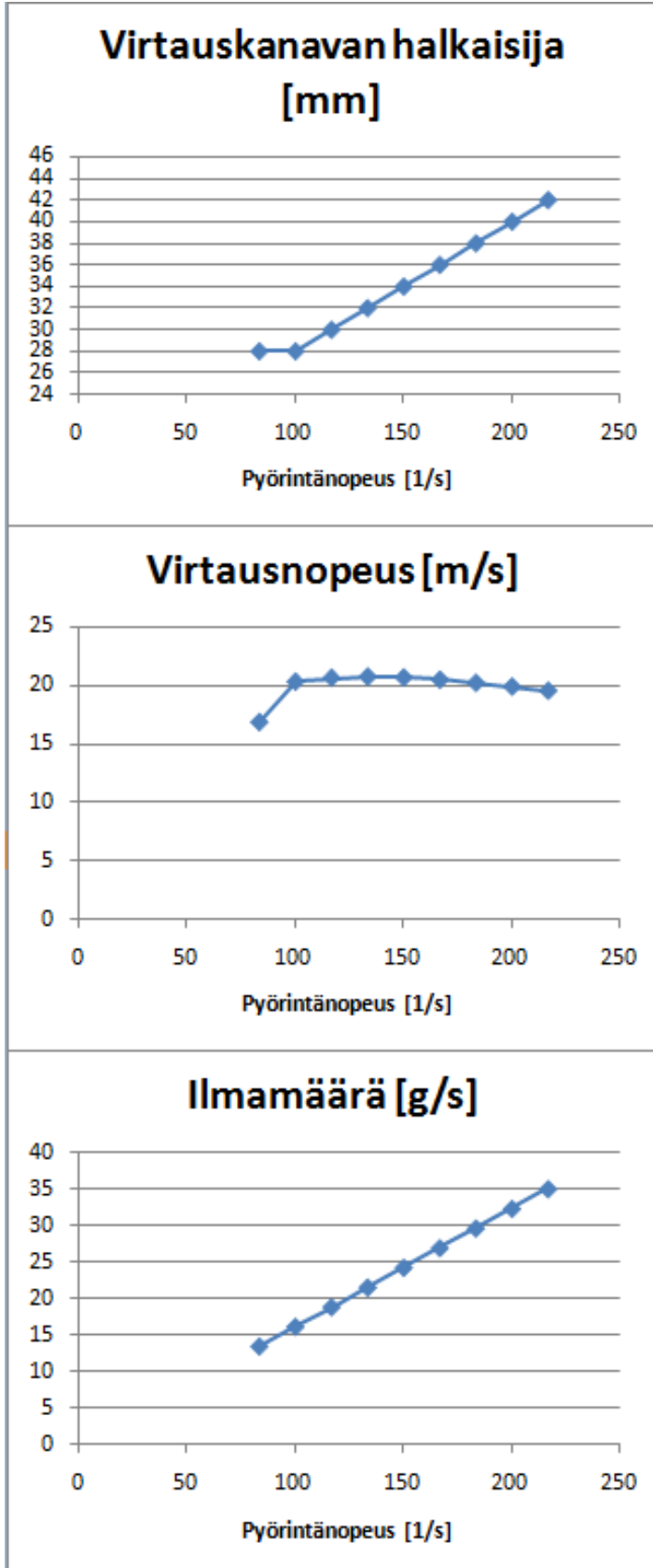
$$q_m = \rho \cdot A \cdot v \quad (6)$$

jossa:

- q_m = Ilmamäärä [kg/s]
- ρ = Tiheys [kg/m³], joka on ilmalla 1,293
- A = Virtauskanavan poikkipinta-ala
- v = Virtausnopeus [m/s]

(Tekniikan KAAVASTO 2008, 99)

Imusarjan sekundaariläpän ohjauksessa käytetään radio-ohjattavissa ajoneuvoissa yleisesti käytettyjä, kooltaan pieniä servomoottoreita, joiden reagoitinopeus ja vääntövoima ovat tähän tarkoitukseen riittäviä. Säätimeistä tulee täten servomoottorityyppinen, jossa on sisäänrakennettu asematietoanturointi. Servomoottori tarkkailee sisäisesti kääntökulmaa. Mikäli kääntökulma poikkeaa pyydetyistä, servomoottori korjaa asemansa automaattisesti. Näistä seikoista johtuen sekundaariläpän ohjaus on tarkkaa. Kyseisellä servomoottorilla liikerata on 120° äärlaidasta äärlaitaan, kyseiseen liikkeeseen kuluu aikaa vain 0,24 s. Tässä käyttötarkoituksessa tarvittava kulmamuuutos on luokkaa 30°, joten laskennallisen reagoitinopeuden pitäisi olla 0,06 s.



Kuvio 15. Sekundaariläpän vaikutukset.

5.3 Sylinteri ja sylinterikansi

Sylinteriin tehtävät muutokset pidettiin tässä moottorikokoonpanossa hyvin vähäisinä, ainoat suuremmat muutokset tehtiin sylinterin asemoinnin suhteen, joilla pyrittiin saamaan pakoaukon ajoitus noin 200 asteeseen ja varmistettiin huuhteluaukkojen olevan täysin auki. Huuhteluaukkojen alareunat varmistettiin olevan männän laen kanssa samalla tasalla männän ollessa alakääntökohdassa.

Sylinterikansi jouduttiin muokkaamaan täysin uudestaan erilaisesta männästä johdun. Alkuperäisessä sylinterikannessa palotila oli koko porauksen suuruinen. Uudessa sylinterikannessa palotila on pallosegmentinmuotoinen, joka sijoittuu männän keskelle, mutta käsittää vain noin 65 % männän pinta-alasta.

Sylinterikannessa päädyttiin squish band-muotoiluun rakenteen tarjoamien hyötyjen takia. Myös sylinterikannessa sijaitsevaa palotilaa päädyttiin suurentamaan noin $0,5 \text{ cm}^3$, jolloin puristussuhde laskee hieman ja moottoria uskalletaan käyttää korkeilla kierroksilla ilman pelkoa mahdollisesta nakutusilmiöstä.

5.4 Kampikoneisto ja vaihteisto

Työssä käytettävä moottoriaihio rakentui käyttäen moottoripyörävalmistajan kahden eri mallisarjan moottoreita. Kyseiset moottorit ovat tyypillisiä moottoripyöränmoottoreita, joissa kampikoneisto, kytkin ja vaihteisto ovat sijoitettu kompaktisti yksien kuorien sisään. Työssä käytettävä moottori edustaa vaihteiston ja lohkojen osalta valmistajan vanhempaa mallisarjaa 1990-luvun alusta ja uudempaa mallisarjaa kytkimen sekä kytkimen ensiöväilyksen osalta. Vanhemmassa moottorisukupolvessa (A4) on etuina 7-vaihteinen vaihteisto, mutta heikkoutena ensiöväilyksen rattaiden muotoilu. Uudemmassa (5P) moottorissa on taasen 6-vaihteinen vaihteisto kytkimen ensiöväilyksen ollessa kuitenkin hieman käytännöllisempi hammasrattaiden erilaisen muotoilun vuoksi. 5P-moottorissa ensiöväilyksen hammasustus on profiililtaan suora, 4A-moottorissa taas käytettiin vinohammastusta. (Mito workshop manual 1990.)

Moottorin kampiakseli on laakeroitu molemmista päistä kuulalaakereilla, joita voidaan polttoaineen sekaan sekoitettavalla öljyllä. Kampiakselin laakerointi parannettiin mitoitukseltaan alkuperäisiä vastaavilla laakereilla niiden ominaisuuksien ollessa kuitenkin hieman erilaiset. Valikoituneet laakerit on varustettu polymeeristä valmistetulla kuulahäkällä sekä normaaleja laakereita hieman suuremmalla säteittäisvälyksellä. Polymeerihäkki tekee laakereiden sisäisestä kitkasta metallihäkkisiä pienemmän ja suurempi säteittäisvälys mahdollistaa laakereiden käyttämisen korkeammilla kierroksilla. Polymeerihäkkisillä laakereilla on myös aavistuksen parempi kuormituskestävyys kuin metallihäkkisillä. (SKF [viitattu 29.1.2013].)

Kaksitahtimoottorissa kampikammio osallistuu myös osaltaan seoksen muodostamiseen ja siirtämiseen palotilaan. Tämä ominaisuus huomioitiin siistimällä kampikammiossa olevat pinnat virtaukselle mahdollisimman edullisiksi varoen kuitenkin liikaa kiillottamista pisaroitumisen pelossa.

5.5 Moottorinohjauslaite

Moottorinohjauslaitteeksi valikoitui AutoTune Finland Oy:n kehittämä elektroninen moottorinohjauslaite ATdriveboard. Valintaan vaikutti AutoTune Finland Oy:n henkilökunta, joka oli erittäin kiinnostunut kyseisen ohjainlaitteen käytöstä kaksitahtimoottoritekniikassa. Kyseisellä ohjainlaitteella pystytään hallitsemaan moottorin palotapahtumaa huomattavasti tarkemmin kuin alkuperäisessä kokoonpanossa. AutoTune Finland Oy:n ohjainlaite mahdollistaa sekventiaalisen polttoaineensuihkutuksen ja barometriset korjaukset polttoaineensyöttöön moottorin käyntilämpötilojen ja ilmaston asettamien muuttujien perusteella.

5.5.1 AutoTuneFinland:n ATdriveboard

Uudessa kokoonpanossa moottoria ohjataan AutoTuneFinland Oy:n ATdriveboard-moottorinohjauslaitteella (kuvio 16), joka mahdollistaa maksimissaan 8 sylinterin sekventiaalisen ohjauksen polttoaineenannostelun ja sytytyksen osalta. Ohjainlaite perustuu MegaSquirt 3 -prosessoriin, joka on Bruce Bowlingin ja Al Grippon

kehittämä avoimenlähdekoodin moottorinohjausjärjestelmä. (MegaSquirt, [viitattu 29.1.2013]; ATdriveboard asennusohjeet, [viitattu 29.1.2013].)



Kuvio 16. ATdriveboard. (ATdriveboard asennusohjeet, 1).

Ohjainlaitteessa on myös muita hyödyllisiä ominaisuuksia kuten esimerkiksi:

- sisäänrakennettu tiedonkeruu erilliselle muistikortille
- kytkimellä vaihdettavissa olevat ohjauskartat eri käyttötarkoituksiin
- erinäisiä ohjelmoitavia ohjaussignaaleja esimerkiksi ilokaasulle / vesime-
tanolille, tuulettimille, releohjaus.
- sisääntulosignaaleja esimerkiksi: vaihdetieto, renkaiden pyörintänopeus,
ohjelmoitavat painonapit kuten lähtöavustin ja tiedonkeruun käynnistys.
- CAN-väylä, joka mahdollistaa lähes kaikkien väylätekniikkaan perustuvien
lisälaitteiden liittämisen ohjainlaitteeseen.
- PWM-ohjauksia, joilla tässä työssä pyritään ohjaamaan servomoottorilla
toimivaa imusarjan toisioläppää.

Ohjainlaitteen toimintaa ja ominaisuuksia selventää myös liitântäkaavio (kuvio 17).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56
1 VIN	+12v. Akkuun													15 CLT_IN	Coolant Temp – Moottorin Lämpö												
2 VIN	+12v. Akkuun													16 MAT_IN	Manifold Air Temp - Imuilman Lämpö												
3 12V_IGN	Virtalukkoon (sytytysvirta)													17 MAP_IN	Manifold Air Pressure – MAP – signaali												
4 12V_INJ	Suuttimien jännite +12v.													18 O2_IN musta	Lambda – signaali												
5 12V_INJ	Suuttimien jännite +12v.													19 TRIG_IN1 musta	Triggeri 1 - signaali												
6 12V_O2	Lambdaohjaimen jännite +12v.													20 TRIG_IN2	Triggeri 2 - signaali												
7 FP_PWR	Polttoaine pumppu +12v.													21 DATALOG_IN	Dataloggaus												
8 TACHO_PWR	Kierroslukumittari													22 LAUNCH_IN	Launch Control "Paukku"												
9 OUT1_PWR	Ohjelmoitava lähtö esim. Rele													23 CANL sininen	CAN-väylä												
10 BOOST_PWR	Ahtopaineen ohjaus													24 CANH ruskea	CAN-väylä												
11 IAC1A/PWM	Tyhjäkäynti venttiili 2/4-napainen													25 SPARE_AD_IN	Lämpö-anturit (ylösveto)												
12 IAC1B	Tyhjäkäynti venttiili 4-napainen													26 SPARE1_IN	Napin/kytkimen sisäänmeno												
13 IAC2A	Tyhjäkäynti venttiili 4-napainen													27 SPARE2_IN	Napin/kytkimen sisäänmeno												
14 IAC2B	Tyhjäkäynti venttiili 4-napainen													28 KNOCK_IN	Nakutustunnistin – signaali												
29 PWR_GND	Maa, moottorin lohkon													43 GND	Signaalimaa esim. anturit												
30 PWR_GND	Maa, moottorin lohkon													44 SPARK_A_OUT	Sytytys A												
31 PWR_GND	Maa, moottorin lohkon													45 SPARK_B_OUT	Sytytys B												
32 INJ_A_OUT	Suutin A (signaali)													46 SPARK_C_OUT	Sytytys C												
33 INJ_B_OUT	Suutin B (signaali)													47 SPARK_D_OUT	Sytytys D												
34 INJ_C_OUT	Suutin C (signaali)													48 SPARK_E_OUT	Sytytys E												
35 INJ_D_OUT	Suutin D (signaali)													49 SPARK_F_OUT	Sytytys F												
36 INJ_E_OUT	Suutin E (signaali)													50 SPARK_G_OUT	Sytytys G												
37 INJ_F_OUT	Suutin F (signaali)													51 SPARK_H_OUT	Sytytys H												
38 INJ_G_OUT	Suutin G (signaali)													52 TPS_IN musta	Kaasuläpän asentotunnistin – signaali												
39 INJ_H_OUT	Suutin H (signaali)													53 VREF ruskea	+5v. TPS & MAP												
40 OUT2_PWR	Ohjelmoitava lähtö esim. Rele													54 VCC ruskea	+5v. esim. hall-anturi												
41 -														55 GND sininen	Signaalimaa esim. Anturit												
42 PWR_GND	Lambda ohjaimen maa													56 GND	Signaalimaa esim. Anturit												

Kuvio 17. ATdriveboard liitäntäkaavio. (ATdriveboard asennusohjeet, 3).

5.5.2 Lähtöarvojen määrittäminen

Ennen ensimmäistä käynnistystä moottorinohjauslaitteeseen tulee määrittää moottorin perustiedot, sytytystyyppi, polttoainesuuttimen tuotto ja näiden perusteella määritettiin oletusarvot moottoriin syötettävästä polttoainemäärästä käyttäen apuna ohjainlaitteen säätöohjelmistoa. Ohjainlaitteen säätö tapahtuu TunerStudio-ohjelmalla, joka on suunniteltu MegaSquirt-pohjaisten ohjainlaitteiden säätämiseen.

Tärkeimpiä yksittäisiä suureita ovat:

- moottorityyppi 2-tahti, 4-tahti, kiertomäntä.
- polttoainesuuttimen kapasiteetti ml/min
- sytytys. kpl/moottorinpyörähdys

Tässä työssä kyseiset suureet ovat:

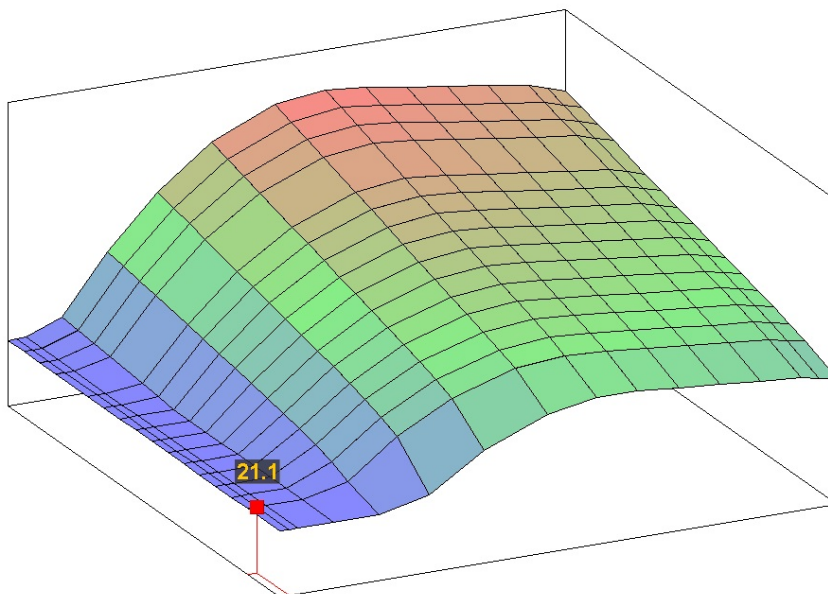
- | | |
|------------------------------------|----------------------|
| – moottorityyppi | 2-tahtinen |
| – polttoainesuuttimen kapasiteetti | 300ml/min |
| – sytytys. | 1/moottorinpyörähdys |

Kun perussuureet on määritetty määritetään lähtökohtainen polttoainekartta. Kartan määrittäminen tapahtuu käyttämällä ohjainohjelmistossa olevaa laskuria. Laskuri määrittää tarvittavan polttoainemäärän moottorin lähtötietojen perusteella.

Lähtötietoja ovat:

- moottorin tyhjäkäynti ja maksimi pyörintänopeudet
- huipputeho ja sen pyörintänopeus
- huippuvääntö ja sen pyörintänopeus
- moottorin iskutilavuus.

Kohdemoottorin huippuarvoja oli todella vaikea arvioida, joten päädyttiin käyttämään kyseisen moottorityypin tehdasversiosta mitattuja huippuarvoja. Kyseisiä arvoja ei löytynyt valmistajan verkkosivuilta, mutta useissa eri Internet-lähteissä mainittiin arvot 33 hp/12000 rpm ja 23 Nm/11000 rpm. Kyseisillä arvoilla saatiin laadittua polttoainekartta, joka näkyy kuviossa 18.

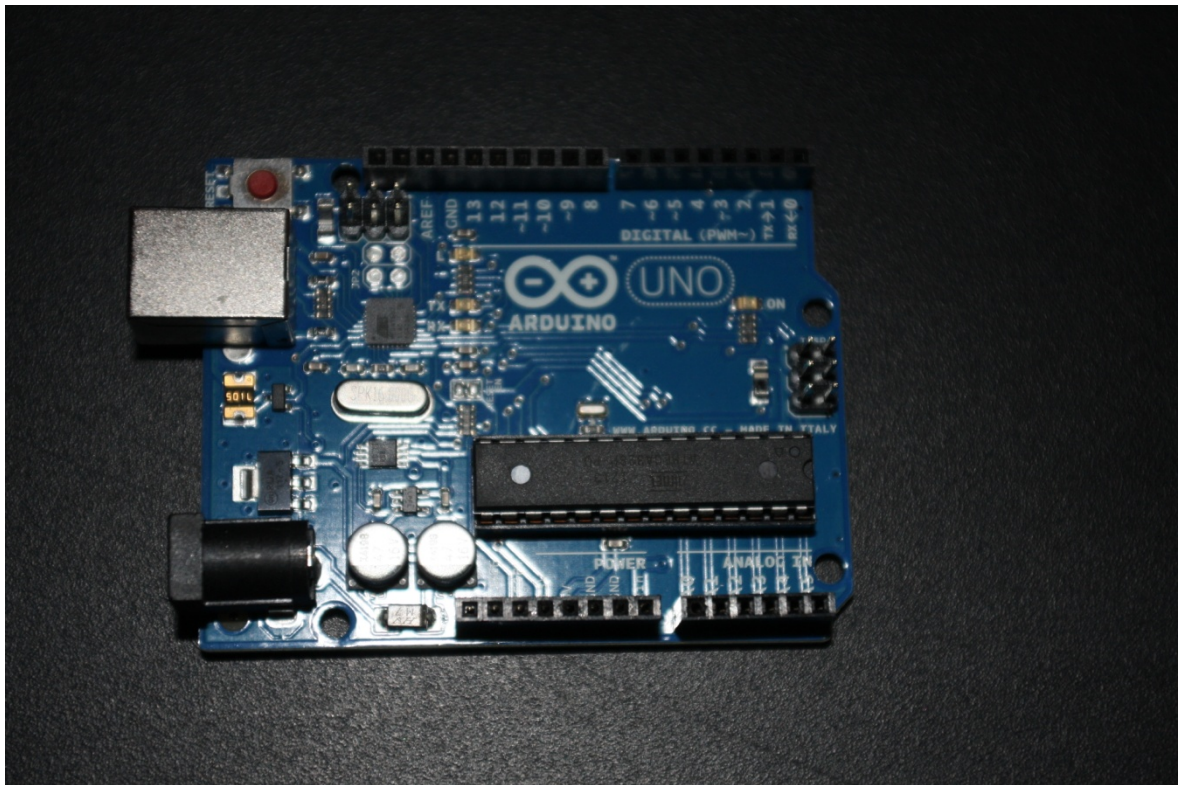


Kuvio 18. Polttoainekartta.

5.5.3 PWM-ohjaus

AutoTune Finland Oy:n moottorihjauslaite ATdriveboard mahdollistaa erinäisten PWM-periaatteella toimivien oheislaitteiden käyttämisen ja ohjaamisen siten, että PWM-ohjaus muuttaa käsitellyn jännitteen keskiarvon halutulle tasolle. Tässä tapauksessa vaihteluväli on 8–12 V. Käytettäväksi valikoitunut RC-servo tarvitsee toimiakseen 1–2 ms kanttiaaltosignaalia, joiden jakso on 20 ms.

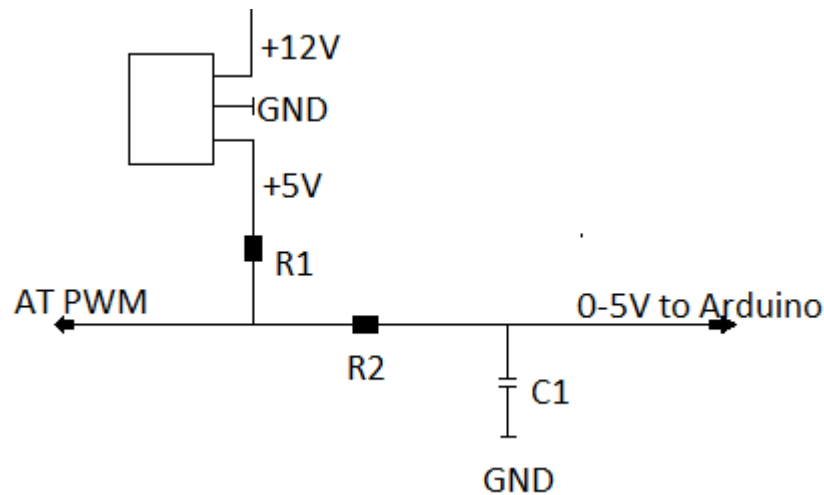
RC servoja käytettäessä tarvitaan siis muunninpiiri, joka muuttaa ATdriveboard:n tuottaman PWM-signaalin RC-servolle sopivaksi kanttiaalloksi. Tämä on mahdollista esimerkiksi Arduino-mikrokontrollerilla, joka on avoimeen lähdekoodin perustuva ohjelmoitava mikrokontrolleri (kuvio 19). (Arduino, [viitattu 29.1.2013].)



Kuvio 19. Arduino Uno.

Arduinon heikkous on analogisen sisääntulojännitteen käsittelykyky, vain 0–5 V, kun ATdriveboardn normaalisti käyttävä jännite on luokkaa 8–12 V. Tämä ongelma ratkaistiin käyttämällä yksinkertaista piiriä, jossa moottoripyörän 12 V akkujännite lasketaan ensin regulaattorilla 5 V jännitteeksi ja tämän jälkeen suodatetaan 0–5 V analogiseksi jännitteeksi. Suodatetun jännitteen määrää voidaan säätää ATdrive-

Board ohjainlaitteen PWM-ohjauksella (kuvio 20). Näin saatu 0–5 V analoginen jännite syötetään Arduinon analogiseen sisääntulo kanavaan ja muutetaan Arduinolla RC-servolle kelpaavaksi kanttiaalloksi. (Heinälä 2013.)



Kuvio 20. 0–5 V muunnospiiri (Heinälä. 2013.)

Yksinkertaisin piirin käytön mahdollistaa ATdriveboard:n Boost Control:n käyttöön tarkoitettu PWM-ohjaus. Kyseisessä ominaisuudessa jännitteen säätäminen tapahtuu maadoituksen simuloinnilla. (Heinälä 2013.)

5.6 Sytytys

Kohdemootorin sytytyslaitteisto aiheutti hieman enemmän päänvaivaa. Ohjainlaittevalmistaja suosittelee käytettäväksi niin kutsuttuja suorasytytyspuolia, mutta niiden käyttö tässä yhteydessä on poissuljettua sivuilla 21–22 esitettyjen teorioiden perusteella. Ratkaisuksi löytyi kuitenkin menetelmä, jossa käytetään moottorin omaa CDI-sytytyksen latauspiiriä kondensaattoreiden lataamiseen ja liipaisu hoidetaan ATdriveboardilla. (Heinälä 2012.)

Sytytyksen ohjaamiseksi mahdollisimman tarkasti vaatii ohjainlaite tarkat pyörintänopeus- ja kampiakselinasematiedot. Näiden tietojen saamiseksi täytyi moottorin kampiakselille rakentaa erillinen triggeripyörä (kuvio 21). Puuttuvan hampaan asema määritellään ohjainlaitteeseen ja näin ollen jokaisen hampaan antaman

liipaisupulssin ja liipaisupulssien tiheyden perusteella tiedetään moottorin asema ja pyörintänopeus. Liipaisupulsseja luetaan VR-tyyppisellä anturilla. (AutoTune Finland Oy [viitattu 29.1.2013].)



Kuvio 21. Triggeripyörä.

Sytytyksen ajoitusta ei voida määrittää tarkasti ajamatta moottoria tehodynamometrissä. Lähtöarvoina päädyttiin käyttämään Yamaha KT100S-moottorin alkuperäistä sytytyskarttaa, joka on esitetty kuviossa 22 (Bell 1999, 170–171). Kyseistä sytytyskarttaa päädyttiin käyttämään lähes identtisen isku/poraus-suhteen takia.

220.0	15.0	15.0	27.0	27.0	25.0	24.0	22.0	21.0	20.0	18.0	15.0	15.0	15.0	20.0	20.0	20.0
200.0	15.0	15.0	27.0	27.0	25.0	24.0	22.0	21.0	20.0	18.0	15.0	15.0	15.0	20.0	20.0	20.0
185.0	15.0	15.0	27.0	27.0	25.0	24.0	22.0	21.0	20.0	18.0	15.0	15.0	15.0	20.0	20.0	20.0
170.0	15.0	15.0	27.0	27.0	25.0	24.0	22.0	21.0	20.0	18.0	15.0	15.0	15.0	20.0	20.0	20.0
155.0	15.0	15.0	27.0	27.0	25.0	24.0	22.0	21.0	20.0	18.0	15.0	15.0	15.0	20.0	20.0	20.0
140.0	15.0	15.0	27.0	27.0	25.0	24.0	22.0	21.0	20.0	18.0	15.0	15.0	15.0	20.0	20.0	20.0
125.0	15.0	15.0	27.0	27.0	25.0	24.0	22.0	21.0	20.0	18.0	15.0	15.0	15.0	20.0	20.0	20.0
110.0	15.0	15.0	27.0	27.0	25.0	24.0	22.0	21.0	20.0	18.0	15.0	15.0	15.0	20.0	20.0	20.0
100.0	15.0	15.0	27.0	27.0	25.0	24.0	22.0	21.0	20.0	18.0	15.0	15.0	15.0	20.0	20.0	20.0
90.0	15.0	15.0	27.0	27.0	25.0	24.0	22.0	21.0	20.0	18.0	15.0	15.0	15.0	20.0	20.0	20.0
80.0	15.0	15.0	27.0	27.0	25.0	24.0	22.0	21.0	20.0	18.0	15.0	15.0	15.0	20.0	20.0	20.0
70.0	15.0	15.0	27.0	27.0	25.0	24.0	22.0	21.0	20.0	18.0	15.0	15.0	15.0	20.0	20.0	20.0
55.0	15.0	15.0	27.0	27.0	25.0	24.0	22.0	21.0	20.0	18.0	15.0	15.0	15.0	20.0	20.0	20.0
40.0	15.0	15.0	27.0	27.0	25.0	24.0	22.0	21.0	20.0	18.0	15.0	15.0	15.0	20.0	20.0	20.0
25.0	15.0	15.0	27.0	27.0	25.0	24.0	22.0	21.0	20.0	18.0	15.0	15.0	15.0	20.0	20.0	20.0
10.0	15.0	15.0	27.0	27.0	25.0	24.0	22.0	21.0	20.0	18.0	15.0	15.0	15.0	20.0	20.0	20.0
	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	11000	12000	13000	14000	15000	15000

Kuvio 22 Sytytysennakko.

Sytytyksenohjauksessa on otettava huomioon myös moottorin maksimipyörintänopeuden rajoittaminen, joka käytännössä tapahtuu sytytyksen katkomisella määrättyllä pyörintänopeudella. Tai vaihtoehtoisesti siten, että ennakkoa lisätään äkillisesti, kuten kuviossa 22 on esitetty tapahtuvan 13000–14000 rpm kohdalla.

Maksimipyörintänopeus voidaan määrittää käyttämällä vertailuarvona männän keskinopeutta. Männän keskinopeus tämän tyyppisessä moottorissa on tyypillisesti luokkaa 18–20 m/s (Tiittanen 1984, 12). Kohdemoottoriin valikoitujen komponenttien takia uskalletaan olettaa moottorin kestävän aavistuksen korkeammatkin männän keskinopeudet 20–22 m/s.

Männän keskinopeus voidaan määrittää käyttämällä kaavaa:

$$cm = \frac{s \cdot n}{500} \quad (7)$$

jossa:

- c_m = männänkeskinopeus [m/s]
- s = iskupituus [mm]
- n = pyörintänopeus [1/s]

(Tiittanen 1984, 13)

Kyseistä kaavaa käyttäen saadaan kohdemootorin kriittiseksi kierrosnopeudeksi noin 13050 1/min männänkeskinopeuden ollessa tällöin 22 m/s. Kriittinen kierrosnopeus on se pyörintänopeus, jolla moottori tuottaa maksimitehon.

Pyörintänopeuden rajoittaminen voidaan toteuttaa useallakin eri tavalla esimerkiksi katkomalla sytytystä tai polttoaineensyöttöä halutulla pyörintänopeudella tai vaihtoehtoisesti muuttamalla sytytysennakkoa radikaalisti, minkä vaikutuksesta moottori ei enää voi pyöriä korkeammalla nopeudella (Bell 1999, 171). Kohdemootorissa kierrostenrajoittaminen tullaan toteuttamaan sytytystä katkomalla sekä ennakkoa muuttamalla, sillä polttoaineen syötön katkaisulla saattaisi olla tuhoiset seuraukset seosvoitelun katkeamisen johdosta.

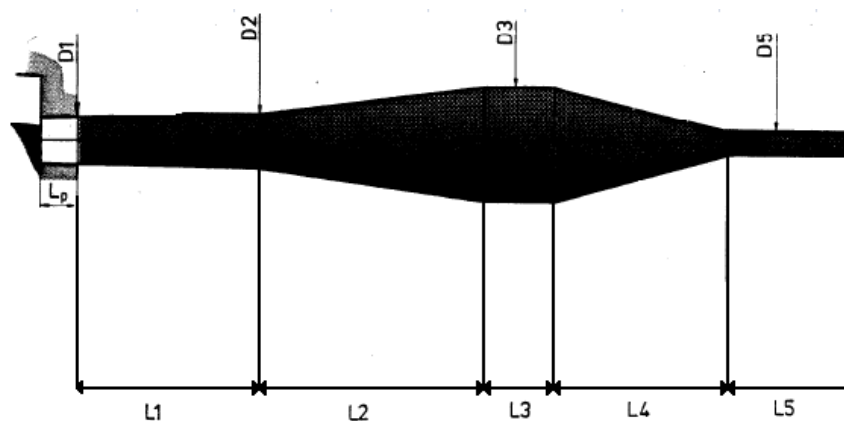
5.7 Pakoputkisto

Pakoputkistoa määriteltäessä tulee tietää moottorista muutama perussuure, näitä suureita ovat:

- A_{pa} =Pakoaukonala [mm^2]
- L_p = Pakokanavanpituus [mm]
- a_p = YKK - Pakoaukko auki [$^\circ$]
- V_{sp} = äänennopeuspakokaasussa [470°C]
- $n = 1/\text{s}$.

(Tiittanen 1984, 98)

Edellä mainittujen arvojen perusteella tässä työssä käytettyyn moottoriin pitäisi valmistaa seuraavanlainen pakoputkisto (kuvio 23).



D1	47,87
D2	46,68
D3	95,75
D5	18
L1	263,2
L2	470
L3	62,67
L4	188
L5	180
Kokonaispituus:	1164

Kuvio 23. Laskennallisesti optimaalinen pakoputkisto.

Ensimmäiseen testikokoonpanoon päädyttiin kuitenkin asentamaan JollyMoton valmistama pakoputkisto, joka on suunniteltu käytettäväksi kyseisessä moottori-pyörässä tehdasosien kanssa. Kyseinen JollyMoton valmistama pakoputkisto analysoitiin ja pohdittiin sen mahdollista sopivuutta. JollyMoton mitoitus selventää kuvio 24.

Kuvio 24. JollyMoton mitoitus.

D1	42
D2	63
D3	115
D5	25
L1	400
L2	200
L3	270
L4	0
L5	250
Kokonaispituus:	1120

Pakoputkiston valmistaminen kotiloissa on mahdollista, mutta todella hidasta. Pakoputkisto voidaan periaatteessa valmistaa kahdella eri tapaa, joko leikkaamalla ohuesta metallilevystä kartioiden vaippaosat ja liittämällä ne toisiinsa hitsaamalla. Vaihtoehtoisesti pakoputkiston voi valmistaa leikkaamalla samaisesta metallilevystä kaksi pakoputkiston poikkileikkauskuvaa, liittämällä poikkileikkaukset toisiinsa hitsaamalla ja tämän jälkeen pullistamalla esimerkiksi vedenpaineella. Tätä menetelmää kutsutaan hydroformaamiseksi, sana on johdettu englanninkielen sanasta hydroforming. Paisuttamalla valmistettu pakoputkisto on teoreettisesti parempi sen sileämmän pinnanmuodon takia, mutta valmistaminen kotiloissa huomattavasti haastavampaa. (Tiittanen 1984, 95-97)

6 TULOKSET

Tässä kappaleessa käydään läpi moottorikonaisuuteen tehdyt muutokset ja niiden vaikutus moottorin toimintaan. Myös mahdollisiin esille tulleisiin ongelmiin paneudutaan tarkasti ja pohditaan niihin liittyviä mahdollisia ratkaisuja.

6.1 Ensikäynnistys ja säädöt

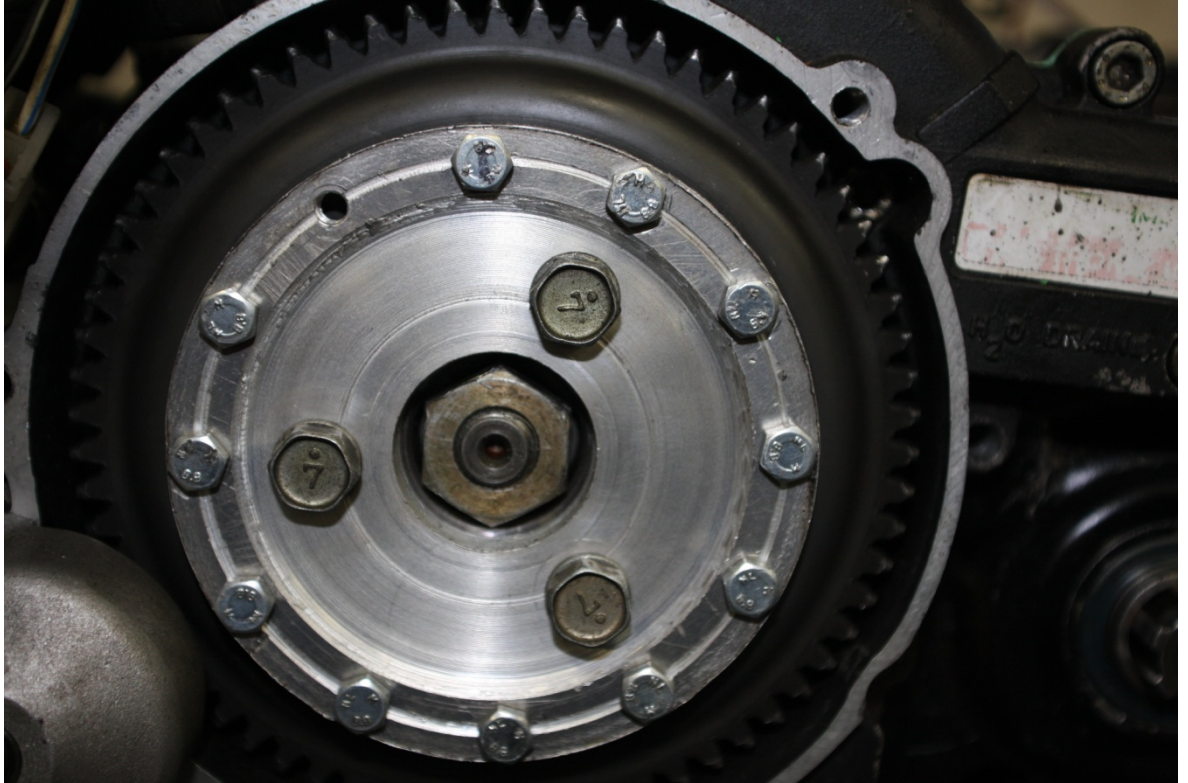
Moottorin ensimmäinen käynnistyskerta sujui oletettua helpommin, ottaen huomioon, että kyseessä oli ensimmäinen rakentamani polttoaineen suihkutuksella ja suorasytytyksellä varustettu kaksitahtimoottori. Moottori saatiin käymään kohtalaisen helposti alle 4000 minuuttikierroksen pyörintänopeuksia, mutta kyseisen rajan ylittäminen tuntui olevan esisäättöjen perusteella mahdotonta. Moottorin kierrosaluetta saatiin kasvatettua poistamalla ohjainlaitteen tekemät automaattiset ilmaston mukaan muuttuvat korjaukset ja kiihdytysrikastus moottorin pyöriessä ilman kuormaa sekä muokkaamalla sytytyskarttaan enemmän ennakkoa keskikierrosalueelle.

6.2 Parannettavaa

Moottorikonaisuudesta löytyi jonkin verran parannettavaa, vaikka käytettävät komponentit pyrittiin valitsemaan perustellusti. Näihin ongelmakohtiin paneudutaan vielä hieman ja mietitään mahdollisia ratkaisuja

Ensimmäinen suuri ongelma oli moottoriin asennetun triggeripyörän kanssa, ensimmäinen triggeripyörä versio oli 24-1-tyyppinen hammaspyörä, joka oli sijoitettu kohdemoottorin kampiakselin magneetonpuoleiseen päähän noin 30 mm:n päähän kampiakselin alkuperäisestä uloimmasta kohdasta. Kyseisellä tavalla sijoitettu hammaspyörä aiheutti liikaa värinää kampiakselille ja täten kampiakselin laakerointi olisi ollut erittäin lyhytikäinen. Samalla myös hammaspyörän ja sitä lukevan anturin mahdollinen kosketus ja siitä aiheutuva anturin tuhoutuminen oli liian todennäköistä. Kyseinen ongelma korjaantui käyttämällä pääosin alumiinista valmis-

tettua triggeripyörää (kuvio 25.) ja sijoittamalla se mahdollisimman lähelle vauhti-
pyörää.



Kuvio 25. Päivitetty triggeripyörä.

Myös pakoputkisto vaatisi hieman enemmän huomiota. Kohdemoottoriin valikoitu-
nut JollyMoton Std-tyyppinen pakoputkisto on suunniteltu toimimaan hieman liian
alhaisilla pyörintänopeuksilla. JollyMoton pakoputkiston viritys on noin 10500
1/min pyörintänopeudelle. Tämä arvo voitiin päätellä osiossa 5.7 esitetyn teorian
perusteella. Kohdepyörään ihanteellisen pakoputkiston ollessa luokkaa 12500
1/min, mikäli tavoitellaan huipputehoa aivan moottorin maksimipyörintänopeuksilla.

Moottoria käytettäessä testipenkissä havaittiin moottorin myös nakuttavan hieman,
tätä ilmiötä ei pidetty todennäköisenä alkuperäisten mittaus- ja laskentatulosten
perusteella. Pienenä nakutuksen takia päädyttiin kuitenkin muokkaamaan sylin-
terikansi uudestaan siten, että palotilaa suurennettiin entisestään ja paljealuetta
laskettiin. Nykyisessä kokoonpanossa paljealue on noin 0.9 mm:n korkuinen ja
palotila tilavuudeltaan noin 10 cm³. (Partanen 2013.)

Moottoria säädettäessä huomattiin hyvin nopeasti myös sellainen ongelma, että perinteisen pakokaasun happipitoisuutta mittaavan lambda-anturin käyttö säätötyö helpottamiseksi on käytännössä mahdotonta. Kyseinen ongelma johtuu kaksitahtimoottorin toimintaperiaatteesta. Kaksitahtimoottorin palamaton polttoaineseos ja polttoaineeseen sekoitettava voiteluöljy pääsee virtaamaan pakoputkistoon ja sieltä edelleen lambda-anturille. Lambda-anturin toiminta häiriintyy heti sen kastuttua ja näin ollen varmoja tuloksia ei saada. Säätötyötä voidaan kuitenkin helpottaa käyttämällä lambda-anturin sijasta pakokaasunlämpötila-anturia. Pakokaasunlämpöön perustuva säätö ei ole yhtä tarkkaa kuin jäännöshapteen perustuva, mutta näyttää siltä, että se on ainoa edellytys korvakuuloa tarkemmalle säätötyölle.

Ohjainlaitteen mahdollistamat laajennusmahdollisuudet voitaisiin hyödyntää paremmin esimerkiksi pakoaukonsäätimen PWM-ohjauksen tai CAN-väylään liitettävien pakokaasunlämpömittareiden suhteen. Näillä laajennuksilla voitaisiin täytöstä hallita entistä tarkemmin.

7 YHTEENVETO

Työ onnistui kaiken kaikkiaan odotetulla tavalla. Ainoa negatiivinen puoli työn suhteen on valmistumisen ajankohta ja siitä johtuva käytännön testauksen puute. Moottoria ei myöskään ehditty ajaa tehodynamometrissä, joten varmoja tuloksia ei näin ollen saatu. Toisaalta taas positiivisina puolina voidaan pitää sitä, että moottori saatiin toimimaan testipenkissä ja näin ollen työtä voidaan pitää onnistuneena.

Työtä hidasti huomattavasti se seikka, ettei valmiita komponentteja juurikaan ollut, pois lukien moottorinohjaus ja sen tarvitseman anturit. Kaikki muut muutokset jouduttiin suunnittelemaan ja valmistamaan itse. Ainoat seikat, joihin omat resurssit eivät riittäneet, olivat sylinterikannen ja CDI-sytytyslaitteiston muutokset.

Tämän työn tekeminen valaisi itseäni suuresti ajoneuvotekniikan moottorisuunnittelun suhteen. Vaikka työlle asetettiin tarkat kriteerit ja laitteistovalmistaja antoi selkeät tavoitteet työstä, ilmeni työtä tehdessä silti monia odottamattomia takaiskuja. Työn suorittaminen antoi kuitenkin merkittävästi lisäosaamista komponenttien ja osakokonaisuuksien suunnittelun, valmistamisen ja yhteensovittamisen suhteen.

Projektia tullaan jatkokehittämään ja tuotekehitystietoutta luovutetaan edelleen AutoTune Finland Oy:n henkilökunnalle. Tavoitteena on myös saada työssä valmistunut moottoripyörä moottoriradalle tulevana kesänä ja käytöstä kerääntyvän tiedon perusteella jatkaa kokonaisuuden kehittämistä.

LÄHTEET

Arduino. ei päiväystä. Arduino FAQ. [verkkosivu]. [29.1.2013]. Saatavana: www.arduino.cc

Athena S.p.a. 2013. Direct Injection Combustion Control [verkkosivu]. [29.1.2013]. Saatavana: www.athenaparts.com/eng/blog/2SDI-direct-injection-combustion-control

AutoTune Finland Oy:n henkilökunta. 2012. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]

Bauer, H. 2003. Bosch Autoteknillinen taskukirja. Suomentaja Björn Boström. 6.Jyväskylä: Gummerus Oy.

Bell, A. G. 1999. Two-Stroke Performance Tuning. 2. Sparkford: Haynes Publishing

Cagiva Motor Italia S.p.A. ei päiväystä. Cagiva.it. [verkkosivu]. [29.1.2013]. Saatavana: www.cagiva.it/_vti_g6_ga_1.aspx?rpstry=174_

Cagiva Motor Italia S.p.A. 1990. Mito Workshop manual. Schiranna - Varese - Italy.

Dixon, Dr. J. C. 2005. The High Performance Two-stroke Engine. Sparkford: Haynes Publishing

Heinäälä, A. <xxx.xxx@xxx.fi> 2012 [Henkilökohtainen sähköpostiviesti] 4.12.2012.

MegaSquirt. 2010. MegaSquirt info. [verkkosivu]. [29.1.2013]. Saatavana: www.megasquirt.info

Partanen, V-M <xxx.xxx@xxx.fi> 2012 [Henkilökohtainen sähköpostiviesti] 7.11.2012

Saunamäki, A. <xxx.xxx@xxx.fi> 4.2.2012. Energiatekniikan harjoitustyö. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Tommi Niskakangas. [Viitattu 29.1.2013]

SKF. ei päiväystä. SKF Bearing calculator. [verkkosivu]. [29.1.2013]. Saatavana: webtools3.skf.com/BearingCalc/selectCalculation.action

Syrjälä J. 2010. Vesi/metanoliruiskutus turbodieselmoottorissa: asennus ja vaikutukset. Seinäjoen Ammattikorkeakoulu. Tekniikan yksikkö, Auto- ja kuljetustekniikka, Auto- ja työkonetekniikan suuntautumisvaihtoehto. Opinnäytetyö

Tammertekniikka. 2008. Tekniikan KAAVASTO. 6. Tampere: Amk-Kustannus Oy
Tammertekniikka.

Tiittanen, S. 1984. Motocross Mekaanikon käsikirja. Oulu: omakustanne.