

Opinnäytetyö (AMK)

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

Käyttöpainotteinen ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

Kesäkuu 2015

Reijo Virkki

POLTTOAINE- JA PAKOKAASUJÄRJESTELMIEN SUUNNITTELEMINEN NELITAHTISEEN OTTOMOOTTORIIN



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka | Käyttöpainotteinen ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

Kesäkuu 2015 | 35 sivua

Ohjaaja: Markku Ikonen

Reijo Virkki

POLTTOAINE- JA PAKOKAASUJÄRJESTELMIEN SUUNNITTELEMINEN NELITAHTISEEN OTTOMOOTTORIIN

Tässä opinnäytetyössä on perehdytty yksisylinterisen nelitahtisen bensiinimoottorin polttoaine- ja pakokaasujärjestelmien suunnitteluun, mitoittamiseen ja toteutukseen. Pääasiassa työssä on keskitytty kaasuttimen, sylinterikannen kanavien ja pakoputken mitoittamiseen ja valmistukseen. Lisäksi suunniteltiin moottorin käynnistystapa.

Työ on toteutettu erillisenä osana omatekoisen moottorin suunnittelu ja valmistusprosessia, josta oman opinnäytetyön on valmistanut opiskelutoveri Samuli Hallivuori.

Jokaisen työssä käsiteltävän osan toiminta on ensin käyty läpi ja sen jälkeen on suoritettu tarvittavat mitoittukset. Mitoituksen jälkeen osat on rakennettu mitoittustuloksia soveltamalla. Tulokset ovat johdonmukaisia lähteiden tuloksiin, sekä verrattuna kaupallisiin vastaavan kokoluokan moottoreihin.

Tavoitteena oli saada mitoituksen jälkeen kaikki osat myös valmistettua. Työn toteutus onnistui odotusten mukaisesti tai jopa hieman paremmin.

ASIASANAT:

Polttoainejärjestelmä, pakokaasujärjestelmä, kaasutin, mitoitus, nelitahtimoottori

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Automotive and transportational engineering | Practically oriented

June 2015 | 35 pages

Instructor: Markku Ikonen

Reijo Virkki

DESIGNING FUEL AND EXHAUST SYSTEMS FOR A FOUR-STROKE OTTO ENGINE

The focus of this thesis was to plan, size and create exhaust and intake systems to a self made four-stroke engine. More closely the goal was sizing the carburetor and design and manufacture the intake and exhaust channels and the exhaust pipe. Additionally, a way to start the engine was created.

This thesis is a separate part of design and manufacturing process of a self made four-stroke engine. The engine project itself is the subject of the thesis of a fellow student Samuli Hallivuori.

After reviewing all parts processed in this thesis, all parts were sized. By adapting the calculated results, all parts were then manufactured. The results are consistent to those on bibliography and consistent to similar commercial products.

The objective after sizing the parts was to produce all parts needed. All objectives were achieved as expected and even better.

KEYWORDS:

Fuel system, exhaust system, carburetor, sizing, four-stroke engine

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET	5
1 JOHDANTO	6
2 OTTOMOOTTORIN SYLINTERINKANSI	7
2.1 Kaasujen virtaus	7
2.2 Pakoputkisto	13
3 PAKOPUTKEN VALMISTUS	16
4 KAASUTIN	22
4.1 Mitoitus	23
4.2 Imukaulan valmistus	26
5 KÄYNNISTYS	31
5.1 Käynnistysavaimen valmistus	31
5.2 Käynnistysavaimen toiminta	33
6 YHTEENVETO	34
LÄHTEET	35

KÄYTETYT LYHENTEET

Lyhenne	Lyhenteen selitys (Lähdeviite)
EGR	Exhaust Gas Recirculation eli pakokaasun takaisinkierätys (Turbotec 2015)
TIG	TIG-hitsaus Kaasukaarihitsaus, jossa valokaari palaa sulamattoman elektrodin (wolframi) ja perusaineen välillä. Lisäaineellinen tai ilman lisäainetta tapahtuva hitsaus. Käytetään inerttiä suojakaasua (TIG = Tungsten Inert Gas). (Industriacenter 2015)
MIG	MIG-hitsaus Kaasukaarihitsaus, jossa valokaari palaa syötettävän lisäainelangan ja perusaineen välillä. Suojakaasuna käytetään inerttiä kaasua (MIG = Metal Inert Gas). (Industriacenter 2015)
NTP	NTP:llä tarkoitetaan kemiassa normaalia lämpötilaa ja –painetta. (Peda 2015)

1 JOHDANTO

Tässä työssä on perehdytty itse valmistetun 1- sylinterisen bensiinikäyttöisen polttomoottorin kannen virtauskanavien ja venttiilien kokoon sekä virtaukseen, kaasuttimeen, pakoputkistoon, sekä moottorin käynnistystapaan.

Moottorin on pääosin suunnitellut ja rakentanut opiskelutoveri Samuli Hallivuori. Moottorin sähköjärjestelmän on suunnitellut opiskelutoveri Janne Lappi. Molemmat tekevät tästä oman opinnäytetyönsä. Ainoastaan kaasutin ja sytytysjärjestelmä on toteutettu valmiita kaupallisia komponentteja käyttäen, muuten moottori on Samulin mitoituksen mukaan itse valmistettu.

Tässä työssä käsiteltyjen osien rakenne on melko yksinkertainen, joten tarvittaessa ne on melko helposti rakennettavissa uudelleen.

2 OTTOMOOTTORIN SYLINDERINKANSI

Moottori tarvitsee toimiakseen paljon tarkasti ajoitettuja ja mitoitettuja toimintoja. Tässä työssä näistä toiminnoista perehdytään rakentamamme moottorin sylinterikannen hengitykseen, pakoputkistoon ja kaasuttimeen. Lopuksi suunnitellaan moottorin käynnistämiseen sopiva ja helppo tapa. Nelitahtimoottorin tilavuudeksi tulee 240 cm^3 männän halkaisijan ollessa 68 mm ja iskun pituuden 66 mm. Tavoiteltu maksimikierrosluku tulee olemaan 3000 r/min. Näillä arvoilla tavoiteltu tehokerto on noin 3 kW.

2.1 Kaasujen virtaus

Sylinterikansi on sylinterilohkosta erillinen osa, joka kiinnitetään sylinterilohkoon kannenpulteilla. Sylinterikansi tulppaa sylinteriputken ja muodostaa näin tiiviin palotilan. Nelitahtimoottorin sylinterikannessa on moottorin työtahtien mukaan aukeavat ja sulkeutuvat imu- ja pakoventtiilit, joiden kautta moottorin hengitys tapahtuu. Venttiilien sekä imu- ja pakokanavien oikealla mitoituksella on siis suuri vaikutus moottorin toimintaan. Arkikäytössä, kuten vanhemmissa katuautojen moottoreissa, kannen kanavien ja kaasuttimen mitoitus on yleensä kompromissi eri ominaisuuksien välillä.

Sylinterin halkaisija on moottorin hengityksen mitoituksessa rajoittava tekijä. Vapaasti hengittävässä moottorissa imuventtiili- ja kanava on hieman pakoventtiiliä ja kanavaa suuremmat. Tämä johtuu siitä, että sylinterin imutahti ei saa aikaan kovinkaan suurta paine-eroa ulkoilman ja sylinterin välille, kun taas pakokaasu poistuu pakokanavaa pitkin melko suurella paineella, jolloin pakokanavalle riittää pienempi koko. Sylinteri siis imee ilma-/polttoaineseoksen kaasuttimelta imukanavan läpi sylinterille. Mitä isompi ja vapaampi imukanava on, sitä enemmän sylinteriin on mahdollista saada uutta seosta. Tästä syystä Imuventtiili mitoitetaan pakopuolta suuremmaksi. Liian suuri imukanava kuitenkin laskee seoksen virtausnopeutta, joka huonontaa täytöstä ja seoksen tasaista sekoittumista. (Mauno 1990.)

Imukanavan muotoilulla on siis pakokanavan muotoilua huomattavasti suurempi merkitys. Pienellä alipaineella sylinteriin virtaavan ilman reitti olisi saatava mahdollisimman esteettömäksi, jotta ylimääräisiä virtaushäviöitä ei syntyisi. Kanavan muodon tulisi olla sylinteriä kohti tultaessa spiraalimainen, eli koko ajan enemmän kaartuva. Tällaisella muotoilulla saadaan polttoaineseos kääntymään kiihtyvällä nopeudella sylinterille aiheuttamatta suurta virtausvastusta. Näin seos saadaan myös pyörteilemään, jolloin seoksesta tulee mahdollisimman tasaisesti sekoittunut. Sylinteriin jää jokaisen pakotahdin jälkeen hieman pakokaasua. Pyörteilyllä saadaan myös tämä jäännöskaasu sekoittumaan tasaisesti tuoreeseen seokseen, jotta palorintama olisi mahdollisimman tasainen. (Mauno 1990.)

Pakoventtiilille riittää siis pienempi koko. Pakoventtiilin avautuessa työtahdin lopulla on sylinterissä vielä palavien kaasujen laajenemisesta johtuvaa painetta, jonka lisäksi sylinterin pakotahti puristaa palokaasut pakokanavaan. Sylinteri tyhjenee siis riittävästi, vaikka pakokanava ja pakoputki ahdistaisivatkin kaasun liikettä ulos sylinteristä.

Itse valmistettavaan moottoriimme sylinterikansi valmistetaan alumiinista. Moottori toimii ilmajäähdytyksellä, jolloin materiaaliksi valikoitui hyvin lämpöä johtava alumiini. Sylinterikannen kanavien muotoilu on yhdestä palasta jyrsimällä valmistettaessa melko haastavaa. Myös kanavien pieni läpimitta vaikeuttaa työtä. 90° kulma olisi kaikkein helpoin toteuttaa, mutta sen virtausominaisuudet olisivat erittäin vaatimattomat. Kanavat pyritään jyrsimään mahdollisimman lähelle spiraalimallista muotoa porakoneeseen kiinnitettävällä jyrsinterällä. Tämä vaatii kuitenkin suorien alkureikien poraamista. Venttiilit ovat valmiiksi reippaasti ylikokoiset, mutta niiden muotoilu haluttuun mittaan onnistuu kätevästi sorvilla.

Venttiilien istukkakulmaksi muotoillaan 45 °, joka on sopiva sekä virtausominaisuuksiltaan että venttiilin tiivistämisen kannalta. Istukkakulmalla tarkoitetaan venttiilin keskilinjan ja tiivistyspinnan välistä kulmaa. Myös venttiiliin muotoilulla voidaan vaikuttaa kaasujen parempaan virtaamiseen. Venttiilin varren ja lautasen kiinnityskohtaa voidaan pyöristää siten, että pyöristyssäde vastaa noin 0,2 – 0,25 kertaisesti venttiilin lautasen halkaisijaa. Venttiilin vartta voidaan ohentaa noin

0,5- 0,8 mm sen rakenteen kuitenkin liikaa heikentymättä. Näin saadaan kana-
viin lisää tilaa kaasujen virtaukseen.

Imukanavan ja – venttiilin koko määräytyy moottorin käyttötarkoituksen mukaan. Jos moottorista halutaan mahdollisimman suuri huipputeho suurilla kierroksilla, on kanavista tehtävä mahdollisimman suuret. Tämä kuitenkin tarkoittaa sitä, että kaasujen virtausnopeus tyhjäkäynnillä voi jäädä liian pieneksi. Oman moottorimme maksimikierrosluku on 3000 r/min. Virtausnopeuksien vaihtelu jää siis melko pieneksi tyhjäkäynnin ja maksimikierrosten välillä, joten moottorin oletetaan toimivan hyvin halutulla kierroslukualueella, jos mitoitus on onnistunut (Mauno 1990.).

Sylinterikannen venttiilien ja kanavien mitoitukseen on käytetty apuna Esko Maunon kirjoittamaa Virittäjän Käsikirjaa (1990). Ensimmäiseksi mitoitetaan Imuventtiilin lautasen halkaisija. Laskentaan tarvittavat tiedot ovat moottorista jo tiedettävät arvot, sekä käytännössä hyväksi havaitut arvot. Venttiilin halkaisija saadaan laskettua seuraavalla kaavalla:

$$\sqrt{0,042 * V * \text{rpm}/v}$$

Kaavassa

0,042 = vakio

V = sylinterin iskutilavuus

rpm = tavoitekierrosluku

v = seoksen virtausnopeus

Koska seoksen virtausnopeutta ei tiedetä, valitaan lähtöarvoksi käytännössä hyväksi havaittu nopeus imuventtiilille, joka on Maunon (1990) mukaan 55 - 85 m/s. Pakoventtiilille sopiva virtausnopeus on 70 - 110 m/s. Imuventtiilin halkaisija on siis:

$$\begin{aligned} & \sqrt{(0,042 * 240 * 3000)/60} \\ & = 22,45 \text{ mm} \approx 22,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Imukanavan mitoitukseen on käytännössä hyväksi havaittu $0,8$ * venttiilin lautasen halkaisija.

Sopiva imukanavan halkaisija on:

$$22,5 \text{ mm} * 0,8 = 18 \text{ mm}$$

Imuventtiilin ja – kanavan mitoituksen jälkeen mitoitetaan pakoventtiili ja – kanava. Näiden mitoitukseen on myös käytännössä hyväksi havaittu käyttää erilaisia kertoimia. Kertomalla imuventtiilin koko arvolla $0,8-0,9$, saadaan sopiva pakoventtiilin koko. Pakokanavan koko saadaan kertomalla pakoventtiilin koko $1-1,25$ arvolla. Näillä laskutavoilla saadut tulokset eivät sovi kaikille moottoreille ja käyttötarkoituksille optimaalisesti, mutta ne ovat hyvä lähtökohta.

Pakoventtiilin halkaisija:

$$22,5 \text{ mm} * 0,9 = 20,25 \approx 20,5 \text{ mm}$$

Pakokanavan halkaisijaksi voi kertoimilla $1-1,25$, olla $20,5-25,6$ mm. Mahdollisimman hyvän kaasunpoiston saavuttamiseksi halkaisijaksi valittiin 25 mm. Pakoventtiili on huomattavasti pakokanavaa pienempi. Pakokanavan suurin halkaisija saavutetaan vasta juuri ennen pakosarjan alkua, jotta kanavaan ei muodostuisi turbulenssia. Kanava lähtee siis tasaisesti leviämään heti venttiili-istukan jälkeen.

Kun venttiilien mitat ovat tiedossa, voidaan laskea kaasujen nopeudet venttiilien kohdalla. Selvittämällä kaasujen nopeudet, voidaan tarvittaessa venttiilien kokoa vielä hieman muuttaa sopivien arvojen löytämiseksi. Käytännössä hyväksi havaitut kaasun nopeudet ovat siis imuventtiilille $55-85$ m/s ja pakoventtiilille $70-110$ m/s. Kaasujen sopivat nopeudet takaavat moottorin kunnollisen hengittämisen. Nopeuden laskemiseksi tarvitaan venttiilien virtauspinta-ala, männän pinta-ala sekä männän keskinopeus halutulla kierrosluvulla.

Virtauspinta-ala on täysin auenneen venttiilin ja sen istukan väliin jäävän kartiomaisen pinnan ala. Virtauspinta-ala voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$A = \pi * d * h * \sin \alpha,$$

jossa:

A = virtauspinta-ala

d = venttiilin istukan sisähalkaisija

h = venttiilin nousu

α = Istukkakulma

Venttiilin istukan sisähalkaisija on noin 3 mm pienempi kuin venttiilin lautasen halkaisija, jotta saataisiin riittävästi tiivistyspintaa. **Virtauspinta-ala** on siis:

Imuventtiilille

$$A = \pi * 19 \text{ mm} * 6 \text{ mm} * \sin 45^\circ = 253,2 \text{ mm}^2$$

Pakuventtiilille

$$A = \pi * 17,5 \text{ mm} * 6 \text{ mm} * \sin 45^\circ = 233,2 \text{ mm}^2$$

Männän pinta-ala on:

$$M = \pi * D^2 / 4,$$

jossa:

M = männän pinta-ala

D = Sylinterin halkaisija

$$M = \pi * 68^2 \text{ mm} / 4 = 3631,7 \text{ mm}^2$$

Männän keskinopeus on:

$$c = 2 * n * S,$$

jossa:

c = männän keskinopeus m/s

n = maksimikierronnopeus 3000 r/min, 50 r/s

S = iskun pituus

$$c = 2 * 50 \text{ r/s} * 0,066 \text{ m} = 6,6 \text{ m/s}$$

Kaasun virtausnopeus on,

Imuventtiilissä:

$$v = c * M / A$$

$$= 6,6 \text{ m/s} * 3631,7 \text{ mm}^2 / 253,2 \text{ mm}^2 = 94,7 \text{ m/s}$$

Pakoventtiilissä:

$$v = c * M / A$$

$$= 6,6 \text{ m/s} * 3631,7 \text{ mm}^2 / 233,2 \text{ mm}^2 = 102 \text{ m/s}$$

Kaasun nopeus imuventtiilillä on liian suuri seoksen tasaiseen sekoittumiseen, joten venttiilien kokoa päätettiin kasvattaa. Venttiilin nousun kasvattaminen lisäisi luonnollisesti myös virtauspinta-alaa, mutta valitun nokka-akselin ominaisuuksista johtuen päätettiin ainoastaan kasvattaa venttiilien halkaisijaa. Imuventtiilin halkaisijaa kasvatettiin 3 mm ja pakoventtiilin 1,5 mm. Näin venttiilien virtauspinta-alat kasvoivat arvoihin 293,2 mm² ja 253,2 mm². Vastaavasti kaasujen virtausnopeudet pienenevät imuventtiilille arvoon 81,7 m/s ja pakoventtiilille arvoon 94,7 m/s. Nyt imuventtiilin virtausnopeus on ohjeellisten arvojen sisällä. Pakoventtiilin virtausnopeus olisi ollut jo valmiiksi arvojen sisällä, mutta sen kokoa päätettiin kuitenkin suurentaa, jotta ei oltaisi liian lähellä suosituksen ylärajaa 110 m/s.

Myös oikealla venttiilien aukeamisen ajoituksella pystytään vaikuttamaan moottorin hengitykseen. Avaamalla ja sulkemalla venttiilit hieman ennen kunkin tahdin alkamista pystytään kaasujen täyttöä ja poistoa parantamaan. Polttoaine-/ilma-seos ja pakokaasut noudattavat liikkuessaan fysiikan lakeja, kuten mikä tahansa massan omaava aine. Kun mäntä on yläkuolokohdassaan ja lähdössä imutahdilla alaspäin, voivat imu- ja pakoventtiili hetken aikaa olla samaan aikaan auki. Sylinteri on tässä tilanteessa tyhjentymässä pakokaasuista. Kun pakokaasuja virtaa kovalla nopeudella pakoputkistoon, jatkaa kaasujen virtaaminen vielä männän pysähtytyäkin. Venttiilien ollessa samaan aikaan auki, pakoputkeen virtaava kaasu muodostaa sylinteriin jopa pienen alipaineen, joka imee imusarjasta uutta

seosta sylinterille. Näin saadaan pakokaasut poistettua sylinteristä mahdollisimman hyvin uuden seoksen täyttäessä sylinteriä toisesta suunnasta.

Edellä kuvattu ilmiö johtuu pakokaasujen ja polttoaine-/ilmaseoksen massahitaudesta. Kun jokin massa on saatu liikkeelle, ei se pysähdy välittömästi, kun sen liikkeelle saanut voima lakkaa. Esimerkkinä voidaan pitää vaikka kiven heittoa. Jos massahitautta ei olisi, tippuisi kivi maahan heti sen irrottua kädestä. Samaa ilmiötä hyödynnetään myös sylinterin täytössä. Kun mäntä ohittaa alakuolokohdan ja lähtee ylöspäin, on imuventtiili vielä hetken aikaa auki. Männen ylöspäin suuntautuva liike on tässä vaiheessa vielä hidasta. Sylinteriin virtaava seos jatkaa vielä liikettään ja sylinteri ahtautuu mahdollisimman täyteen. Henkilöautojen moottoreissa imu- ja pakoventtiilien avautumisennakko ylä- ja alakuolokohdassa on yleensä noin 60° . Venttiilit sulkeutuvat myös samalla 60° viiveellä. Valmistamamme moottorissa on kiinteä venttiilien ajoitus. Muuttuvalla venttiilienajoi- tuksella pystytään nykyään säätämään moottorin toimintaa sopivaksi eri kierros- luvuille.

2.2 Pakoputkisto

Pakoputkiston tehtävänä on kuljettaa moottorissa syntyvät pakokaasut hallitusti pois moottorilta, puhdistaa niitä ja vaimentaa niiden ääntä. Pakoputkisto koostuu pakosarjasta, puhdistuslaitteista, kuten katalysointilaitteista, äänenvaimentimista, sekä runkoputkesta joka yhdistää kaikki komponentit.

Bensiinimoottorien pakokaasujen puhdistusjärjestelmiin kuuluu lähinnä pakokaasujen takaisinkierätykset (EGR) ja katalysointilaitteet. Koska pienmoottoreille ei ole asetettu päästörajoja, ei omavalmistemoottoriin lähde myöskään suunnittelemaan pakokaasujen puhdistusta.

Äänenvaimennin sananmukaisesti vaimentaa moottorin toiminnasta muodostuvaa ääntä. Palava polttoaine-ilmaseos muodostaa laajetessaan sylinteriin noin 15-20 bar paineen, joka pakoventtiilin auetessa virtaa pakoputkistoon. Mäntä tyh-

jentää sylinterin palokaasuista pakotahdilla. Ääni muodostuu siis sylinteristä paineella poistuvista kuumista palokaasuista, sekä männän puristaessa sylinteri tyhjäksi.

Vaimentimelle on olemassa karkeasti kaksi päämallia; absorptiovaimennin ja kammiovaimennin. Absorptiovaimennin on rakenteeltaan yksinkertainen. Siinä on noin kaksi kertaa pakoputken halkaisijaa suurempi putki, jonka läpi pakoputken halkaisijaa vastaava putki kulkee. Sisäputki voi olla valmistettu valmiista reikäputkesta tai itse rei'itetystä putkesta. Näiden kahden putken väliseen tilaan laitetaan vaimennusvilla, joka absorboi pakokaasupulssien ääntä. Tällaista vaimenninta kutsutaan myös läpivirtaavaksi vaimentimeksi eikä siinä ole suuria virtausvastuksia.

Kammiovaimennin muodostuu kirjaimellisesti kammioista, joiden läpi pakokaasu virtaa. Kammioon tullessaan ääniaallot kimpoilevat kammion seinistä vaimentuen koko ajan. Kammioita on yleensä useita ja pakokaasujen reitti ei ole näiden läpi suora. Tällainen vaimennin muodostaa jonkin verran virtausvastusta. Yleensä autossa käytetään molempia vaimentimia peräkkäin, jolloin moottorin käyntiäni voidaan saada todella hiljaiseksi.

Pakosarjaksi kutsutaan moottorin kannesta lähteviä ensiöputkia, jotka yhdistävät sylintereiltä tulevat pakokaasut varsinaiseen pakoputkeen. Yksisylinterisen moottorin pakosarja koostuu luonnollisesti yhdestä ensiöputkesta, joka on mitoitettu moottorin sylinteritilavuuden ja halutun maksimikierron mukaan. Mitoituksessa on sovellettu nelitahtisen auton moottorin ensiöputkien mitoittamista. Mitoitukseen luodun kaavan avulla pystytään suuntaa antavasti mitoittamaan ensiöputkelle oikea pituus sekä sisähalkaisija.

Pituus tuumina saadaan kaavasta (Mauno 1990.):

$$L = [850 * (180 + A) / \text{rpm}] - 3,$$

jossa:

L = ensiöputken pituus

A = venttiilin avautumisennakko asteina

$$L = [850 * (180 + 60^\circ) / 3000 \text{ r/min}] - 3$$

$$= 65''$$

Kun pituus on tiedossa, voidaan laskea putken halkaisija kaavalla:

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4,4 * V}{25 * (L+3)}}$$

jossa:

V = sylinterin iskutilavuus (cm³)

L = ensiöputken pituus (tuumaa)

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4,4 * 240}{25 * (65+3)}} = 0,79'' * 2,54 \text{ cm} = 2,0 \text{ cm}$$

Kaavalla saatu ensiöputken pituus on käytännössä liian pitkä, mutta putken halkaisija 20 mm on karkeasti samansuuruinen pakoventtiin ja -kanavan kanssa. Pakoputken pituutta lyhennetään, mutta se pyritään pitämään mahdollisimman pitkänä mahdollisimman suuren väännön saavuttamiseksi. Oikeanlaisella putken mitoituksella pystyttäisiin luomaan pakotahdin lopussa pakoputken alkuosaan jopa pieni alipaine, joka johtuu edellä kuvatusta massahitaudesta. Tällöin saadaan sylinteri huuhdeltua mahdollisimman hyvin.

Pakoputki rakennetaan kuitenkin toimivuuden ja käytännöllisyyden kompromissina. Äänenvaimentimeksi rakennetaan läpivirtaavan vaimentimen ja kammiovaimentimen yhdistelmä, niin ettei virtaus liika häiriinny. Myös putken seinämävahvuudella on vaikutusta moottorin ääneen. Ohut seinämävahvuus välittää ääniaallot putkea ympäröivään ilmaan, jolloin käyntiääni kovenee. Putken sopiva materiaalivahvuus on noin 1 mm. Pakoputken materiaaliksi valittiin ruostumaton teräs pitkän käyttöiän vuoksi.

3 PAKOPUTKEN VALMISTUS

Pakoputki pyrittiin valmistamaan kokonaan ruostumattomasta teräksestä. Äänenvaimentimen sisään hitsatut välilaipat ja niiden hitsisaumat eivät ole ruostumattomaa terästä. Pakoputken 90° mutkat ovat haponkestävää terästä. Mutkia lukuun ottamatta materiaalit löytyivät koulun metallipajan teräsvarastosta, joten putkeksi valittiin se, mikä on lähimpänä mitoituksen mittoja. Saatavilla olleista putkista lähimpänä oikeaa kokoa oli 23 mm sisämitalla ja 2 mm seinämävahvuudella varustettu putki. Myös äänenvaimentimen ulkokuori on seinämävahvuudeltaan 2 mm ja sisähalkaisija on 59 mm. Kuten yleensä omavalmisteosia valmistettaessa, äänenvaimentimen sisärakenne suunniteltiin tilanteen mukaan saatavilla olleista materiaaleista. Keskelle vaimenninta hitsattiin tavallisesta 1 mm pellistä valmistettu kaksiosainen väliseinä, johon porattiin 23 mm reikä (Kuva 1.). 2 mm pakusta reikälevystä valmistettiin välilaippoja, joita kiinnitettiin MIG -hitsillä hitsaamalla 4 kappaletta putken sisään (Kuva 2.). Laskemalla yhden vaimenninputken sisään tulevan reikälevyn reikien yhteispinta-ala, todettiin, ettei vaimentimen rakenteen pitäisi ahdistaa pakokaasun virtausta. 23 mm putken pinta-ala on:

$$\pi * r^2 = \pi * 11,5^2 = 415,5 \text{ mm}^2$$

Reikälevyn reiät ovat halkaisijaltaan 2 mm, joten yhden reiän pinta-ala on:

$$\pi * r^2 = \pi * 1^2 = 3,141 \text{ mm}^2$$

Vaimentimen sisään mahtuvassa reikälevy kiekossa on noin 215 reikää. Levyjen asennuksen jälkeen reikiä on noin 200 levyä kohden, koska osa rei'istä jäi hitsisauman alle. 200 reiän yhteispinta-ala on:

$$200 * 3,141 \text{ mm}^2 = 628,2 \text{ mm}^2$$

Jakamalla haittalevyn pinta-ala pakoputken pinta-alalla, saadaan pinta-alojen suhde toisiinsa nähden.

$$628,2 \text{ mm}^2 / 415,5 \text{ mm}^2 = 1,51$$

Äänenvaimentimen haittalevyjen läpivirtaus pinta-ala on siis noin 1,5 -kertainen varsinaiseen pakoputken pinta-alaan nähden. Rakenteesta ei ole aikaisempaa kokemusta, mutta sen uskotaan toimivan riittävästi.

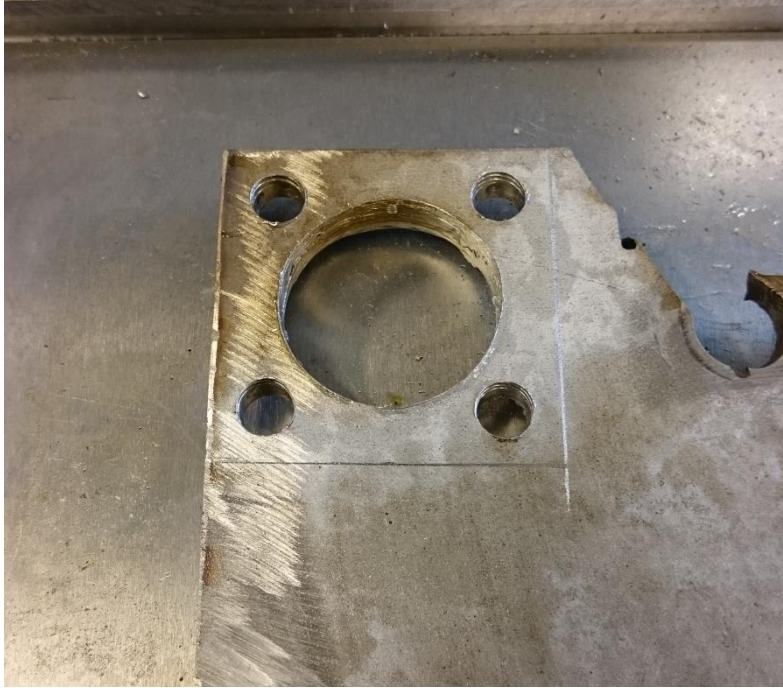


Kuva 1. Äänenvaimentimen sisältö.



Kuva 2. Jokainen välilaippa hitsattiin paikalleen noin 4 cm etäisyydelle toisistaan.

Pakoputken kiinnityslaippa valmistettiin 6 mm ruostumattomasta teräslevystä (Kuva 3.). Reiät porattiin yläjyrsimen avulla, jolloin ne saatiin tarkasti oikeille paikoilleen. Kiinnitys kanteen tapahtuu neljällä 6 mm pultilla, joten reiät porattiin 6,5 mm mittaan asennuksen helpottamiseksi. Laippa leikattiin irti kulmahiomakoneella ja terävät kulmat hiottiin nauhahiomakoneella.



Kuva 3. Pakoputken kiinnityslaipan aihio.



Kuva 4. Laippa oikaistiin sorvissa hitsauksen jälkeen. Tämän jälkeen putki hitsattiin kasaan pätkä kerrallaan.

Kun kiinnityslaippa oli hitsattu ensimmäiseen suoraan putkenosaan, se oikaistiin sorvissa tasaisen kiinnityspinnan aikaansaamiseksi (Kuva 4.). Hitsauksesta syntyvä lämpö sai laipan vääntyilemään, joten sen oikaisu sorvissa oli tarpeen. Pinnan oikaisun jälkeen putken osat hitsattiin yhteen pätkä kerrallaan TIG -hitsiä käyttäen. Myös suorat putkenpätkät oikaistiin sorvissa, jolloin ne muodostivat tiiviin sauman valmiiksi koneistettujen mutkien kanssa. Tällainen tiivis sauma on helppo hitsata yhteen TIG -hitsillä ilman lisäainelankaa.

Valmis pakoputki (Kuva 5.) suunniteltiin kääntymään kannen päälle, johon sille rakennetaan vielä tuki laippaan kohdistuvien vääntöjen ja värähtelyiden pienentämiseksi. Tuki kiinnitetään venttiilikopan pulttien alle. Tarvittaessa putki voidaan kiinnittää eri asennoissa myös moottorin oikealle tai vasemmalle puolelle. Lopuksi sylinterikannen ja pakoputken välille valmistettiin tiiviste pehmeästä kuparilevystä.



Kuva 5. Valmis pakoputki.

4 KAASUTIN

Moottoria suunniteltaessa harkittiin eri polttoaineiden käyttöä sen voimanlähteenä. Polttoaineeksi valittiin bensiini sen helpon saatavuuden ja varman toiminnan takia. Bensiinin annostelu moottorille onnistuu myös helposti saatavilla olevia osia käytettäessä. Erilaisia kaasuttimia on saatavilla todella paljon erikokoisina. Pienmoottoreissa kaasutin kiinnitetään sylinterikanteen imukaulalla, joka on yleensä mahdollisimman lyhyt tasaisen seoksen aikaansaamiseksi.

Kaasuttimen tehtävä on sekoittaa ilma ja polttoaine sopivassa suhteessa keskenään. Kaasuttimen pitää olla melko tarkkaan säädetty, sillä seos syttyy moottorissa ainoastaan seossuhteen ollessa 9-19 kg ilmaa yhtä bensiinikiloa kohden. Bensiini vaatii täydellisesti palaakseen 3,4 kg happea, ja ilmassa happea on noin 23 painoprosenttia. Jotta saavutetaan stoikiometrinen, eli ihanteellinen ilman ja bensiinin sekoitussuhde, tarvitaan 14,7 kg ilmaa 1 bensiinikiloa kohden. Tätä tilaa kuvataan lambdalla (λ), joka ihannetilassa on 1 ($\lambda = 1$). Jos ilmaa on tätä suhdelukua pienempi määrä, sanotaan seoksen olevan rikas ja päinvastaisella ilmamäärällä sanotaan seoksen olevan laiha. (Eerola 1976.)

Kaasuttimen ja sylinterilohkon välin on oltava tiivis, jottei ylimääräinen ilma pääse sotkemaan seosta. Tämä johtaa moottorin epätasaiseen käyntiin tai moottorin toimimattomuuteen. Ei kuitenkaan riitä, että seos suhde on sylinteriin päädyttyä oikea, vaan seoksen pitäisi olla mahdollisimman homogeeninen, eli mahdollisimman tasaisesti sekoittunut. Tämä edellyttää, että bensiini sekoittuu ilmaan mahdollisimman pieninä pisaroina. Seoksen muodostus tapahtuu kaasuttimen niin kutsutussa kurkussa, joka on kapein kohta, jonka läpi seos virtaa. Moottorin tarvitsema ilmamäärä kulkee ilmansuodattimen, kaasuttimen ja imukaulan läpi. Koska leveimmän ja kapeimman kohdan läpi kulkema ilmamäärä pysyy samana, kurkun kohdalla ilman virtausnopeuden on nopeuduttava. Tässä kohdassa seoksen muodostus tapahtuu.

Seoksen muodostuminen, eli bensiinin höyrystyminen sitoo lämpöä. Tämä johtaa seoksen jäähtymiseen, jolla on kaksijakoinen vaikutus. Jäähtyminen mahdollistaa paremman sylinterin täytöksen ilman kutistuessa. Toisaalta seoksen jäähtyminen alle 0°C johtaa ilmassa olevan kosteuden jäähtymiseen. Ilman ollessa kostea ja lämpötilan ollessa hieman +0°C yläpuolella, voi ilmassa olevat pienet vesipisarat jäähtyä alle jäätyislämpötilan. Tämä johtaa siihen, että alijäähtyneet vesipisarat jäätyvät heti niiden koskettaessa kaasuttimen rakenteita. Kaasutin voi siis sopivissa olosuhteissa jäätyä, eikä luonnollisesti tämän jälkeen toimi.

Seoksen muodostumiseen vaikuttaa lähinnä kaasuttimen kurkun halkaisija ja suuttimen rakenne. Mitä suurempi ilman nopeus on suuttimesta ulos tulevaan bensiiniin nähden, sitä paremmin se sekoittuu. Liian suuri ilman nopeus taas huonontaa sylinterin täytöstä, eli kaasuttimen on tärkeää olla oikean kokoinen. Suurilla kierroksilla käyvissä moottoreissa ongelmana on saada kaasutin toimimaan tyhjäkäynnillä sekä maksimikierroksilla ilman suurten nopeuserojen takia. Ilman nopeus kaasuttimessa on siis tyhjäkäynnillä liian alhainen ja maksimikierroksilla liian suuri. Siksi kaasutin on monen muun osan tavoin kompromissi eri ominaisuuksien välillä.

4.1 Mitoitus

Moottoristamme on tiedossa kierrosluku sekä sylinteritilavuus. Kaasuttimen oikea koko pystytään laskemaan näiden arvojen perusteella. Sylinteritilavuuden ollessa 240 cm³ ja kierrosluvun 3000 r/min, pystytään laskemaan sen sekunnissa kuluttama ilmamäärä. Sylinteri ei täyty aivan täyteen imutahdilla, vaan jäljelle jäävä pakokaasu vie tilaa uudelta seokselta. Siksi voidaan ilmamäärää laskiessa sylinteritilavuuteen käyttää kerrointa 0,85 (volymetrinen hyötysuhde). Koska moottori on nelitahtinen, se imee ilmaa joka toisella kierroksella. Tällöin kierrosluku jaetaan kahdella.

$$3000 \text{ r/min} / 2 = 1500 \text{ r/min} / 60 = 25 \text{ r/s}$$

$$25 \text{ r/s} * (240 \text{ cm}^3 * 0,85) = 5100 \text{ cm}^3/\text{s}$$

Tämä mitoitus on hyvä arvio ilmankulutuksesta ja ilmamäärä voidaankin arvioida myös bensiinin palamiseen tarvittavan ilman määrän perusteella.

Jos tehoa halutaan 3 kW ja hyötysuhde on noin 15 %, tarvittava polttoaineteho on:

$$3 \text{ kW} / 0,15 = 20 \text{ kW}$$

Bensiinin energiasisältö on noin 12 kWh/kg ($\approx 43 \text{ MJ/kg}$)

Bensiinin massavirta on: $20 \text{ kWh/kg} / 12 \text{ kWh} = 1,67 \text{ kg/h}$

Ilmaa tarvitaan 14,7-kertainen määrä ($\lambda = 1$) bensiinin nähden, eli 24,5 kg/h

Ilman tiheys normaalissa lämpötilassa ja paineessa (NTP) on $1,29 \text{ kg/m}^3$

$$24,5 \text{ kg} / 1,29 \text{ kg} \cdot \text{m}^3 = 19 \text{ m}^3$$

Ilmantarve on siis $19 \text{ m}^3/\text{h} / 3600 = 5,27 \text{ l/s} \approx 5,3 \text{ l/s}$ ($5300 \text{ cm}^3/\text{s}$).

Jälkimmäinen laskutapa antoi vain hieman suuremman tuloksen kuin edellinen, joten tulosta voidaan pitää luotettavana. Koska jälkimmäinen laskutapa antaa tarkemman arvon, käytetään sitä kaasuttimen kurkun läpimitan laskemisessa. Mitoitus suoritetaan yksinkertaisella matematiikalla kokeilemalla eri kurkun läpimittoja, kunnes oikea koko selviää.

Kurkun pinta-alan laskennassa on otettava huomioon suuttimen arvioitu pinta-ala, joka "tukkii" kurkkua. Laskennassa suuttimen pinta-alana on käytetty arvoa 20 mm^2 . Koska tiedetään, että 5300 cm^3 ilmamäärän on kuljettava kaasuttimen läpi sekunnissa, voidaan laskun lopputulos muuttaa metreiksi sekunnissa. Aloitetaan laskemalla virtausnopeus kaasuttimen kurkun halkaisijalla 18 mm.

$$\text{Pinta-ala: } \pi \cdot 0,9^2 \text{ cm} = 2,54 \text{ cm}^2 - 0,2 \text{ cm}^2 = 2,34 \text{ cm}^2$$

$5300 \text{ cm}^3/\text{s} / 2,34 \text{ cm}^2 = 2264,9 \text{ cm/s} / 100 = 22,64 \text{ m/s}$. Tämä nopeus on liian alhainen kunnolliseen seoksen muodostumiseen, joten seuraavaksi kokeillaan pienemmällä 14 mm kurkun läpimitalla.

$$\text{Pinta-ala: } \pi * 0,7^2 \text{ cm} = 1,54 \text{ cm}^2 - 0,2 \text{ cm}^2 = 1,33 \text{ cm}^2$$

$5300 \text{ cm}^3/\text{s} / 1,33 \text{ cm}^2 = 3984,9 \text{ cm/s} / 100 = 39,84 \text{ m/s}$. Seoksen nopeus on vieläkin liian alhainen, joten halkaisija pienennetään 12 mm:iin.

$$\text{Pinta-ala: } \pi * 0,6^2 \text{ cm} = 1,13 \text{ cm}^2 - 0,2 \text{ cm}^2 = 0,93 \text{ cm}^2$$

$$5300 \text{ cm}^3/\text{s} / 0,93 \text{ cm}^2 = 5698,9 \text{ cm/s} / 100 = 56,98 \text{ m/s}$$

Nyt ilman virtausnopeus on riittävän suuri, joten moottorin kaasuttimeksi päätettiin hankkia DellOrto 12 mm kaasutin, jossa pääsuutin on kokoa #56, eli suuttimen reiän halkaisija on 0,56 mm. Suutin on melko pieni, Mutta se saadaan tarpeen tullen porattua isommaksi. Myyjän (Motorshop 2015; Sparewheel 2015) kuvauksen mukaan kaasutinta voidaan käyttää melkein missä mopossa tahansa, joten se on soveltaen kiinnitettävissä myös oman moottorimme sylinterikanteen. Varaosia on myös helposti saatavilla edullisesti samalta samasta kaupasta. Kaasutin on myös melko edullinen, joten tarvittaessa uuden vastaavan hankkiminen ei tuota ongelmaa.

Moottorin bensiinisäiliö on lainattu rikkoutuneesta raivaussahasta, joten se on melko pieni, tilavuudeltaan noin 1 litra. Litran bensiinimäärällä moottorin käyntiaika voidaan laskea tehon aikaansaamiseksi tarvitusta bensiinimäärästä. Kaasuttimen mitoituksessa on käytetty hyötysuhteena 15%, joten käytetään samaa arvoa. 3 kW moottoritehon saavuttamiseen tarvittava polttoainetehto on:

$$3 \text{ kW} / 0,15 = 20 \text{ kW}$$

Bensiinin energiasisältö on noin 12 kWh/kg ($\approx 43 \text{ MJ/kg}$)

Bensiinin massavirta on: $20 \text{ kWh/kg} / 12 \text{ kWh} = 1,67 \text{ kg/h}$

Bensiinin tiheys on noin 0,75 kg/l

$$1,67 \text{ kg/h} / 0,75 \text{ kg/l} = 2,23 \text{ l/h}$$

1 litran bensiinisäiliö kestää siis noin:

$$60 \text{ min} / 2,23 \text{ l/h} = 26,9 \text{ min} \approx 27 \text{ min}$$

Bensiinisäiliössä on tiivistetyt polttoaineletkujen läpiviennit valmiina, joten sen muokkaaminen sopivaksi on helppoa. Jos tankki todetaan käytännössä liian pieneksi, se vaihdetaan suurempaan. Otettuna huomioon moottorin käyttötarkoitus, 1 litran bensiinisäiliö lienee riittävän suuri.

4.2 Imukaulan valmistus

Imukaula päätettiin valmistaa itse alumiinista. Materiaaliksi valittiin alumiini, jota oli saatavilla 70 mm sylinterin muotoisena tankkona (Kuva 6.). Näin oli mahdollista sorvata imukaulasta yksiosainen, jolloin ylimääräisiä työvaiheita ei muodostuisi. Materiaali pysyy myös tasalaatuisena, kun sitä ei tarvitse hitsata. Hitsauksesta muodostuva lämpö muuttaa sauman ympärillä olevan alumiinin ominaisuuksia, jolloin kappale saattaa murtua saumojen ympäriltä tärinän vaikutuksesta.



Kuva 6. Imukaulan aihio.

Imukaula jätettiin kaasuttimen jälkeen mahdollisimman paksuksi, jotta se kestäisi tärinän aiheuttamat rasitukset. Kaula levenee heti kaasuttimen jälkeen 45° kulmassa sylinterikanteen päin, 18 millimetristä 35 millimetriin (kuva 7.). 18 mm paksun osan pituus on 15 mm, joka sopii kokonaan kaasuttimen kiinnitysmekanismiin (Kuva 7.).



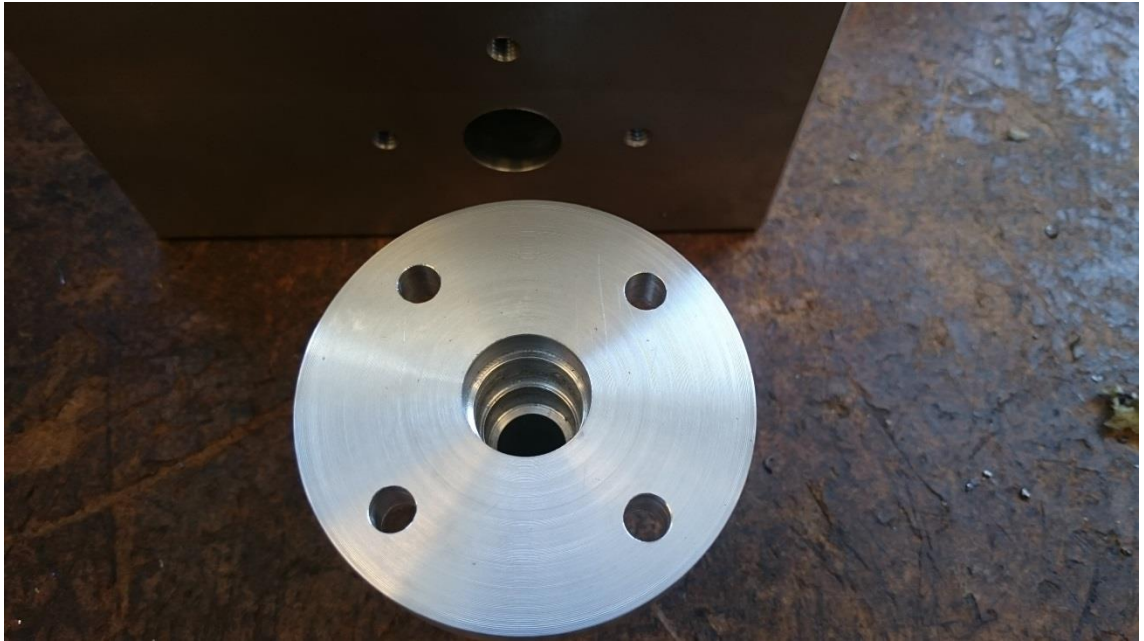
Kuva 7. Imukaulan valmis muoto. Kappaleen muotoilu onnistuu sorvissa helposti.

Kaasutin kiinnitetään imukaulaan putkikiristintä muistuttavalla rakenteella. Kaasuttimen ja imukaulan välinen tiivistys on toteutettu kaasuttimessa vakiona olevalla nylon-tiivisteellä, sekä kaasuttimen runkoa vasten ja imukaulaa vasten päittäin tulevalla kumitiivisteellä (Kuva 8.).



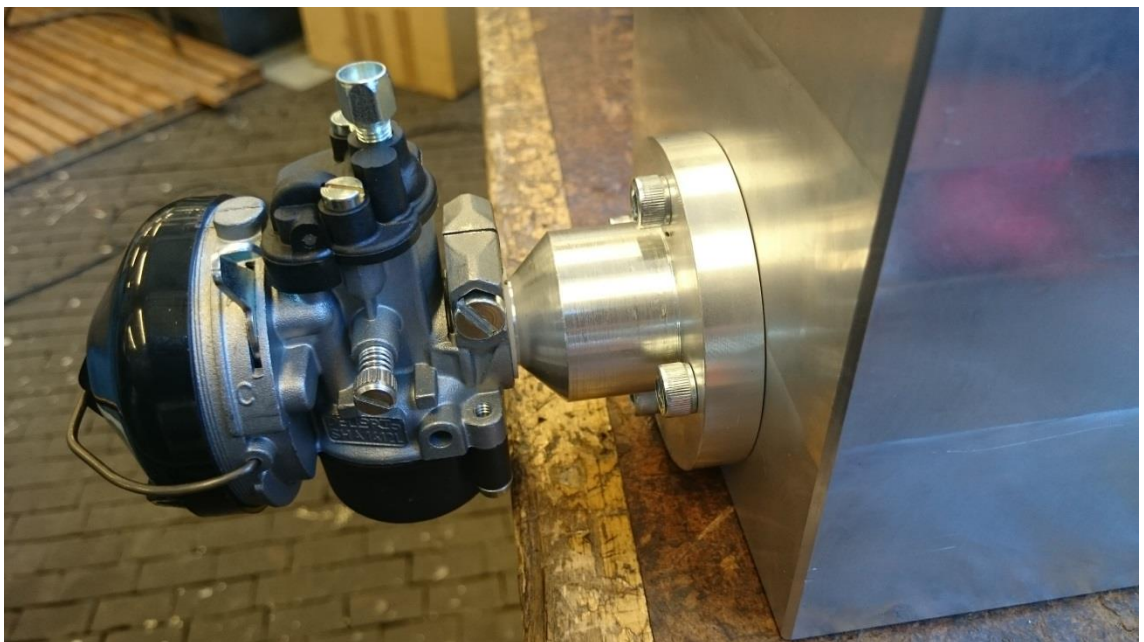
Kuva 8. Kaasuttimen kiinnitysmekanismi, nylon-tiiviste ja kumitiiviste.

Imukaulan pituuteen vaikuttivat sylinterilohkon jäähdytysrivat, joiden halkaisija oli suurempi kuin sylinterikannen leveys. Kaula jätettiin mahdollisimman lyhyeksi, jotta moottori vastaisi kaasuun mahdollisimman hyvin. Kaasuttimen ja jäähdytysripijen väliin jätettiin tilaa noin 5 mm.



Kuva 9. Imukaulan porrastetusti levenevä sisäosa.

Lopputuloksena on jämässä yksiosainen imukaula. Imukaulan sisähalkaisija kasvaa porrastetusti 12 mm:stä 19 mm:iin, eli halkaisijaan, johon sylinterikannen imukanava on koneistettu. Tämä toteutettiin poraamalla vaihteittain eri paksuisilla porilla ja poraussyvyyttä lyhentämällä (Kuva 9.).



Kuva 10. Kaasutin ja imukaula kiinnitettynä sylinterikanteen, jota ei ole kiinnitetty paikoilleen sylinterilohkoon.

Kaasuttimen ja sylinterin väliltä mahdollisesti vuotava ilma sotkee seossuhteen, jolloin moottorin käynti häiriintyy tai moottori ei käy ollenkaan. Niinpä imusarjan ja sylinterikannen väliin valmistettiin tiiviste tähän tehtävään sopivasta tiivistepaperista (Kuva 11.). Molemmat pinnat ovat koneistettu suoriksi, mutta ilma mahtuu yleensä silti kulkemaan pintojen välistä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että työstöjäljet ja pintojen väliin jäävät roskat saattavat pitää pintoja erillään. Paperitiiviste tasoittaa ja tiivistää mahdolliset raot.



Kuva 11. Paperitiivistettä ja siitä valmistettu imusarjan ja sylinterikannen välinen tiiviste.

5 KÄYNNISTYS

Omavalmistemoottoriimme ei liitetä starttimoottoria, joten sen käynnistykseen on kehitettävä jokin korvaava tapa. Käynnistystavan on oltava helppo, yksinkertaisesti toteutettu ja mahdollisimman kevyt. Monessa 1900-luvun alun moottorissa oli kampikäynnistys. Moottori siis käynnistettiin pyörittämällä sitä kampiakselin päässä olleesta viistosta hammastuksesta kammen avulla, jossa oli tähän hammastukseen sopiva vastakappale. Kun moottori lähti käyntiin, viisto hammastus mahdollisti kammen poistamisen kampiakselilta ilman että se olisi lähtenyt pyörimään moottorin mukana.

5.1 Käynnistysavaimen valmistus

Käynnistys päätettiin toteuttaa vanhaa käynnistystapaa hieman modernisoimalla. Jo aikaisemmin esimerkiksi polttomoottorikäyttöisessä reppuruiskussa toimivaksi todettu käynnistystapa on rakentaa räikkälänkkiavaimen päästä käynnistysavain. Käynnistysavainta voidaan käyttää vaikkapa akkuporakoneella tai vaihtoehtoisesti se voidaan kiinnittää vanhanajan moottoreista tuttuun kampeen.



Kuva 12. Räikkälänkkiavain katkaistaan varoen rikkomasta räikän koneistoa.

Vauhtipyörä lukitaan pultilla kiinni kampiakseliin. Valitaan tähän pulttiin sopiva räikkälentävä, jossa ei ole räikän suunnanvaihto- ominaisuutta. Katkaistaan avain mahdollisimman läheltä räikkälentävää, varoen rikkomasta räikkää (Kuva 12.). Leikkauspinnan terävät kulmat on hyvä pyöristää, vaikka sillä ei ole muuta merkitystä kuin käyttömukavuus. Myöskään avaimen epätasapainolla ei ole vaikutusta sen toimivuuteen. Epätasapaino johtuu räikän koneistosta, jonka vuoksi avaimen pää on epäsymmetrinen.



Kuva 13. Käynnistysavaimen materiaalit.

Räikkä kiinnitetään varovasti hitsaamalla porakoneen istukkaan sopivaan karaan. Karan mitoitus riippuu käyttökohteesta, mutta muuten sen rakennetta rajoittaa vain mielikuvitus. Lyhyt pätkä putkea on helppo hitsata räikän reunalle. (Kuva 13.). Hitsisaumaa jäähdytetään vedessä jokaisen lyhyen sauman jälkeen, jotta räikkä ei vaurioidu. Ennen hitsausta on syytä varmistaa, että räikkä tulee oikein päin karaan kiinni.



Kuva 14. Valmis käynnistysavain kiinnitettynä akkuporakoneeseen.

5.2 Käynnistysavaimen toiminta

Valmis käynnistysavain on ulkonäöltään melko karkea, mutta toimivuus on pääasia. (Kuva 14.) Kun moottoria käynnistetään, räikän tulee lukkiutua moottorin pyörimissuuntaan, jolloin moottoria voidaan pyörittää. Moottorin käynnistyessä ja lähtiessä pyörimään käynnistintä nopeammin, voidaan käynnistysavain poistaa pultin kannasta räikän ollessa vapaa moottorin pyörimissuuntaa vastaan. Tällainen käynnistystapa on helppo toteuttaa ja on varmatoiminen. Lisäksi räikän mahdollisesti rikkoutuessa on se helppo korvata uudella vastaavalla.

6 YHTEENVETO

Päämääränä työtä aloitettaessa oli suunnitella ja valmistaa polttoainejärjestelmä sekä pakoputkiston osat omavalmisteiseen yksisylinteriseen bensiinikäyttöiseen nelitahtimoottoriin. Moottorin suunnittelu ja valmistusprosessi on opiskelutoveri Samuli Hallivuoren opinnäytetyön aihe. Mukana projektissa oli myös opiskelutoveri Janne Lappi, jonka opinnäytetyön aiheena oli moottorin sähköjärjestelmä.

Työn suoritus eteni teoriaan perehtymisen jälkeen eri osien mitoitukseen ja valmistukseen. Mitoituksessa käytettiin apuna kaavoja Esko Maunon kirjoittamasta Virittäjän käsikirjasta, sekä Oiva Eerolan Polttomoottorit – kirjasta. Pakoputken ja sylinterikannen osien mitoitus onnistui melko helposti valmiilla kaavoilla. Kaasuttimen mitoitus suoritettiin yksinkertaisella laskutavalla ja päättelemällä, kun moottorin toiminnan kannalta ratkaisevat arvot saatiin ensin laskettua. Lopputuloksena oikeankokoinen kaasutin saatiin valittua.

Osien valmistus tapahtui Turun ammattikorkeakoulun sepänkadun toimipisteen metallipajassa. Valmistusmateriaalit löytyivät metallipajan metallivarastosta. Käytännössä valmiista osista pakoputken mitat poikkeavat hieman mitoitus tuloksista. Tämä johtuu saatavilla olleista putkiaihoista, joista materiaaliksi valittiin lähimpänä mitoitus tulosta ollut putki. Osien muodot ja rakenne suunniteltiin rakentamisen ohessa. Käynnistysavaimen rakenne perustuu aiempaan kokemukseen vastaavasta rakenteesta, joka on todettu käytännössä toimivaksi.

Työn suoritus onnistui sekä mitoituksen että valmistuksen osalta odotusten mukaan tai jopa hieman paremmin. Kaikki mitoitukset saatiin laskettua ja osat valmistettua asennusta vaille valmiiksi. Moottorin koekäyttöä ei ehditty suorittaa ennen määräaika, mutta osien uskotaan toimivan hyvin.

LÄHTEET

Kirjat:

Eerola O. 1976, Polttomoottorit, 2. painos, Jyväskylä, Gummerus.

Mauno E. 1994, Virittäjän käsikirja 1: Nelitahtimoottorit, 3. painos, Helsinki, Alfa-mer.

Sähköiset Julkaisut:

Industriacenter 2015. Suojakaasukäsikirja. Viitattu 1.6.2015.

<http://www.industriacenter.fi/cms/tiedostot/tiedostopankki/AGA%20Suojakaasuk%C3%A4sikirja.pdf>

Motorshop 2015. DellOrto kaasutin, SHA14.12 L. Viitattu 26.4.2015.

<http://www.motorshop.fi/product/DellOrto--kaasutin%2C-SHA14.12-L.html>

Peda 2015. NTP-olosuhteet - Normaali lämpötila ja –paine. Viitattu 4.6.2015.

<https://peda.net/oppimateriaalit/e-oppi/lukio/n%C3%A4yteluvut/orbitaali-33/kjk/kaasulait/nljp>

Sparewheel 2015. DellOrto -kaasutin, SHA14.12 L. Viitattu 26.4.2015.

https://sparewheel.fi/product_info.php/products_id/1026

Turbotec 2015. EGR- venttiili. Viitattu 1.6.2015.

<http://www.turbotec.com/henkiloautot/chiptuning/egr.php>