

Opinnäytetyö (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma

Käyttöpainotteinen suuntautumisvaihtoehto

Kesäkuu 2015

Samuli Hallivuori

NELITAHTISEN OTTOMOOTTORIN SUUNNITTELU JA VALMISTAMINEN



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma | Käyttöpainotteinen suuntautumisvaihtoehto

Kesäkuu 2015 | 76 sivua

Markku Ikonen

Samuli Hallivuori

NELITAHTISEN OTTOMOOTTORIN SUUNNITTELU JA VALMISTAMINEN

Työn tarkoitus on suunnitella ja valmistaa toimiva nelitahtinen ottomoottori. Päälähteenä työlle toimii Oiva E. Eerolan kirja Polttomoottorit (1976).

Koska aihe on työläs, työstä pyritään karsimaan pois kaikki epäoleellinen. Kuitenkin pyritään pitämään valmiiden osien käyttö mahdollisimman vähäisenä. Suunnittelussa apuna käytetään Eerolan kirjasta löytyviä ohjeita ja kaavoja. Tärkeimmille osille lasketaan lujuuudet mahdollisimman tarkasti mutta vähemmän tärkeät osat suunnitellaan valmiiden vastaavanlaisissa moottoreissa käytettävien osien perusteella. Jokaiseen osaan pyritään kuitenkin ottamaan mallia yhdestä tai useammasta valmiista osasta.

Tavoitteena on käytettävissä olevalla ajalla, rahoituksella ja tiedolla suunnitella ja valmistaa moottori, jonka päätavoitteena on toimivuus, luotettavuus ja korjattavuus. Suunnittelussa pyritään yksinkertaiseen rakenteeseen, helppoon valmistettavuuteen, valmiin tuotteen huollettavuuteen, kestävyuteen ja varmatoimisuuteen. Moottoria ei suunnitella mitään tiettyä käyttötarkoitusta varten, mutta se voidaan varustaa esimerkiksi hihnapyörällä generaattorin tai pumpun pyörittämiseen. Päättävänä ei varsinaisesti ole itse valmis moottori vaan sen suunnittelu- ja valmistusprosessien oppiminen ja niiden tuomien haasteiden selvittäminen.

Lopullisena työn tarkoituksena on työn tekijän tahto haastaa itsensä ja toteuttaa pitkäaikainen haave toimivan polttomoottorin suunnittelemisesta ja valmistamisesta. Työtä olisi voinut vielä helpottaa esimerkiksi suunnittelemalla työkierron kaksitahtiseksi ja jättämällä esimerkiksi painevoitelun pois. Moottorista kuitenkin haluttiin nelitahtinen ja painevoideltu rakenteen kiinnostavuuden ja kestävyuden vuoksi.

Työ kattaa perusmoottorin suunnittelun ja valmistamisen. Siihen kuuluvat pääosin moottorin lohko, sylinteri, sylinterikansi, venttiilikoneisto, mäntä, kampikoneisto ja voitelujärjestelmä. Koska työn tekemiseen käytettiin erittäin paljon aikaa ja vaivaa, tärkeimpiä laskuja, mittoja ja materiaaleja ei haluttu paljastaa.

Mukana työssä ovat myös Janne Lappi ja Reijo Virkki. Heidän osuutensa kattaa polttoaine-, pakokaasu-, käynnistys- ja sytytysjärjestelmät.

ASIASANAT:

Polttomoottori, suunnittelu, mitoitus, valmistus, kokoonpano

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree Automotive and Transportation Engineering | Practically Oriented

June 2015 | 76 pages

Instructor: Markku Ikonen

Samuli Hallivuori

DESIGNING AND MANUFACTURING A FOUR-STROKE OTTO ENGINE

The purpose of this thesis is to design and manufacture a functioning four-stroke petrol engine. The main source for the study is the book of Oiva E. Eerola, Polttomootorit (1976).

As the topic requires a significant amount of effort, any unnecessities were left out. However, the aim was to design and self-manufacture as many parts as possible. The book of Eerola was used for guidelines and formulas. For the most important parts, the stresses were calculated as accurately as possible, but the less important parts were planned mostly by using common sense and using parts from similar engines as reference. However, most parts ended up being fairly close to an already existing engine part.

The aim of this project is, with the knowledge, time and funding available, to design and manufacture an engine with considerable functionality, reliability and reparability. The main points in the design are simple structure, easy manufacturability, serviceability of the ready-made product, durability and reliability. The engine is not designed for any specific purpose, but it can be equipped with, for example, a pulley to drive a generator or a pump. The main objective after all is not the finished engine, but meeting the challenges of designing and manufacturing it.

The ultimate aim of the work is the will of the author to challenge himself to execute a long-term vision for the design and manufacture of an operating internal combustion engine. The work could have been made easier, for example, by changing the combustion process to a two-stroke, or by leaving out the pressurized lubrication system. It was still chosen to design the engine to be a four-stroke with pressurized lubrication only for the allure of this type of design.

This work covers basic engine designing and manufacturing. It mainly consists of the engine block, cylinder, cylinder head, valve gear, piston, crank mechanism and the lubrication system. Because of the amount of time and effort invested in this project, no critical calculations, formulas, measures or material choices are revealed.

Involved in the work are also Janne Lappi and Reijo Virkki. Their parts cover fuel, exhaust, start-up and ignition systems.

KEYWORDS:

Internal combustion engine, design, sizing, manufacturing, assembly

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	7
2 SUUNNITTELU	9
2.1 Perusratkaisu	9
2.2 Moottorin osat	12
2.2.1 Sylinterikansi ja venttiilikoneisto	12
2.2.2 Sylinteri	15
2.2.3 Mäntä, männänrenkaat ja -tappi	17
2.2.4 Kiertokanki	20
2.2.5 Lohko, runkolaakerointi ja öljypohja	20
2.2.6 Kampiakseli	21
2.2.7 Öljypumppu ja öljyn kierto	23
2.2.8 Jakopää	25
2.2.9 Laakeroinnit	26
2.2.10 Vauhtipyörä	27
3 VALMISTUS	29
3.1 Yleistä	29
3.2 Osien valmistusmenetelmät	30
3.2.1 Jakohihnan kiristin	31
3.2.2 Sylinteri	31
3.2.3 Nokka-akseli	35
3.2.4 Kampiakseli	35
3.2.5 Tasapainotus	40
3.2.6 Sylinterikansi ja venttiilikoneisto	42
3.2.7 Lohko	45
3.2.8 Mäntä	46
3.2.9 Männäntappi	53
3.2.10 Kiertokanki	54
3.2.11 Öljypumppu	58
3.2.12 Kannentiiviste	64
3.2.13 Sylinterikannen pultit	65
3.2.14 Öljypohja ja venttiilikoppa	66
3.2.15 Runkolaakeripukit ja nokka-akselin laakeripukit	67

4 KOKOONPANO	70
5 LOPPUMIETTEET JA PÄÄTELMÄT	72
6 YHTEENVETO	74
7 KIITOKSET	75
8 LÄHTEET	76

KUVAT

Kuva 1. Sylinteri päältä.	33
Kuva 2. Sylinteri alta.	34
Kuva 3. Sylinteri sivusta.	34
Kuva 4. Kampiakselin ulkomitta sorvattuna.	36
Kuva 5. Kammenpolven sorvaus aloitettu	37
Kuva 6. Kampiakseli valmiina hehkutukseen.	37
Kuva 7. Öljykanavien porausta.	39
Kuva 8. Kampiakseli valmiina.	40
Kuva 9. Apupainon laskemiseen tarvittavat välineet.	41
Kuva 10. Palotilan jysintää.	42
Kuva 11. Sylinterikansi päältä.	43
Kuva 12. Sylinterikansi sivusta.	43
Kuva 13. Ohjainosan sisäsorvausta muokatulla terävarrella.	44
Kuva 14. Kierteentekoa lohkoon.	45
Kuva 15. Männän raaka-aiho sahauksessa.	46
Kuva 16. Männän ulkomitta sorvattuna.	47
Kuva 17. Männänrenkasurien sorvausta.	48
Kuva 18. Männän aihio katkaistuna.	48
Kuva 19. Männän alapuolen CNC-jysintää.	49
Kuva 20. Valmiina koneistamaan männäntapin reiät.	50
Kuva 21. Männän reiät valmiina.	51
Kuva 22. Valmis mäntä sivusta.	52

Kuva 23. Valmis mäntä altapäin.	53
Kuva 24. Männäntapin viimeistelyhiontaa.	54
Kuva 25. Kiertokangen aihio jysinkoneessa.	55
Kuva 26. Kiertokangen ulkomuodon jysintää.	55
Kuva 27. Kiertokangen muodot valmiina.	56
Kuva 28. Keskitystä tasolaippaan.	57
Kuva 29. Kiertokanki valmiina.	58
Kuva 30. Hammaspyörien muokkausta.	59
Kuva 31. Hammaspyörien sivujen hiontaa.	60
Kuva 32. Keskitystä.	61
Kuva 33. Öljypumpun rungon jysintää.	62
Kuva 34. Öljypumpun osien koesovitus.	62
Kuva 35. Öljypumpun osien sovitus akseleiden kanssa.	63
Kuva 36. Öljypumpun akselin pään kierteistämistä.	64
Kuva 37. Kannentiivisteeseen sorvausta.	65
Kuva 38. Kannenpultti ilman kierteitä.	66
Kuva 39. Pronssinen laakeriholkki.	68
Kuva 40. Runkolaakeripukki osineen.	68
Kuva 41. Mäntä ja kiertokanki heloineen ja liuskoineen.	70
Kuva 42. Mallisovittelua.	71

1 JOHDANTO

Polttomoottorin toiminnan tarkoituksena on muuttaa lämpöenergiaa mekaaniseksi energiaksi (Eerola 1976, 19). Vaikka polttomoottori on jo yli vuosisadan ikäinen keksintö, sen perusidea on pysynyt täsmälleen samana, eli tuottaa kemiallisesta energiasta mekaanista energiaa. Tässä opinnäytetyössä tullaan käsittelemään tämän mielenkiintoisen koneen, eli polttomoottorin suunnittelua ja valmistamista.

Kun mietin opinnäytetyöni aihetta, tiesin tahtovani luoda raportin lisäksi jotain konkreettista. Olen aina ollut kiinnostunut tekniikasta ja varsinkin koneista ja laitteista ja tarkemmin niiden toiminnasta, suunnittelusta ja valmistamisesta. Minulla on ikäisekseni suhteellisen paljon kokemusta koneistamisesta ja metallitöistä. Pidän myös suunnittelusta ja ongelmien ratkaisemisesta. Niinpä päätin opinnäytetyökseni yrittää tehdä jotain hieman tavallista haastavampaa ja myös paljon mielenkiintoisempaa.

Alusta asti oli selvää, etten tahdo työhön erillistä toimeksiantajaa, koska tahdon tehdä työn itselleni ja päättää kokonaan itse, millaisen siitä teen. Minulla oli jo paljon ideoita siitä mitä voisin lopputyökseni tehdä. Piti vain päättää minkä niistä toteuttaa. Ja päätös tuli tehtyä.

Polttomoottorin valikoituminen kohteeksi ei ollut itsestään selvyys. Halusin kohteen olevan haastava ja monipuolinen, niin suunnittelun kuin valmistamisenkin kannalta. Mahdollisuuksia oli useita, erilaisista työstökoneen osista vaihteistoihin. Tahdoin kuitenkin luoda jotakin uutta aivan alusta asti. Mielellään jotakin, joka jo itsessään toimii, ja jota voisi vielä jollakin tavalla hyödyntää.

Sain käsiini 70-luvun puolivälissä kirjoitetun kirjan, Oiva E. Eerolan Polttomoottorit. Tämä teos on niin kattava mutta kuitenkin helposti ymmärrettävissä oleva, että luin sen heti kahteen kertaan läpi. Mielessäni oli kauan ollut polttomoottorin rakentaminen ja tämä kirjan luettuani sain sen verran varmuutta, että päätin alkaa tutkia asiaa tarkemmin.

Jo ajatustasolla laite, joka muuttaa energian olomuotoa, vaikuttaa äärimmäisen kiehtovalta. Moottorin rakentaminen tarjoaisi mainion monipuolisen ja opettavaisen haasteen ja onnistuessaan lopputuote olisi äärimmäisen käyttökelpoinen. Vaikka polttomoottori onkin monimutkainen laite, se on toisaalta yksinkertaisimmillaan myös melko yksinkertainen.

Nicolaus Otto esitteli ottomoottorin periaatteen jo vuonna 1876. Jos melkein puoli vuosisataa sitten on pystytty valmistamaan polttomoottori, miksen minä nyt pystyisi? Nykyisin polttomoottorit kehitetään vastaamaan jatkuvasti kiristyviin päästö- ja tehotavoitteisiin. Alun perin moottorit kuitenkin suunniteltiin ja rakennettiin yksinomaan toimimaan mahdollisimman luotettavasti. Tätä samaa alkupeleistä periaatetta halusin lähteä metsästäämään tässä työssä. Jos projekti onnistuu ja tuloksena syntyy toimiva moottori, se saattaa kenties löytää kysyntää nykypäivän modernien moottorien keskellä.

Polttomoottori on mainio lopputyön aihe myös siksi, että auto- ja kuljetustekniikan opintoja on mahdollista suoraan hyödyntää työssä. Työssä tarvitaan niin lujuus-, kuin materiaalioppia, fysiikkaa, auto- ja moottoritekniikkaa. Jos työ onnistuu, se tulee olemaan sellainen saavutus, että eri alojen työnantajatkin saattavat siitä kiinnostua.

Tavoitteena on siis käytettävissä olevalla tiedon, ajan ja rahoituksen määrällä rakentaa alusta asti oma polttomoottori käyttäen mahdollisimman vähän valmiita osia. Suunnittelun haluan tehdä itse niin suureksi osaksi kuin mahdollista. Kuitenkin, koska aika on rajallinen, joudutaan osa työstä jakamaan. Jätän itselleni kuitenkin mielestäni kiehtovimman aiheen, eli itse perusmoottorin.

Selostan työssä aiheen teoriaa mahdollisimman paljon, mutta rajallisen aikataulun vuoksi yksittäisiin aiheisiin perehtyminen on jätettävä melko pinnalliseksi.

2 SUUNNITTELU

2.1 Perusratkaisuja

Kuten edellä on mainittu, polttomoottori on yksinkertaisimmillaankin erittäin monimutkainen laite, jonka suunnittelussa on huomioitava erittäin suuri määrä asioita. Suunnitteluun käytettävissä oleva aika on yhden syyslukukauden iltojen ja viikonloppujen mittainen. On siis ilmeistä, ettei jokaiseen suunnittelukohteeseen pystytä tutustumaan läheskään toivottavalla syvällisyydellä. Suunnittelussa pyrittiin panostamaan optimaalisten ratkaisujen sijaan tekemään ilmeisen kestäviä ratkaisuja esimerkiksi materiaalihukan, kustannusten ja jopa osan muiden toiminnallisten ominaisuuksien kustannuksella.

Jos koko moottori olisi haluttu tarkkaan laskea ja suunnitella viimeisintä yksityiskohtaa myöten, olisi tarvittava aika ollut moninkertainen. Toisin sanoen työn toteuttaminen palkattomana opinnäytetyönä olisi ollut mahdotonta. Toisaalta moottori on niin monimutkainen laite, ja sen toiminnassa on niin monia muuttujia, että tarkimmatkaan laskukaavat eivät välttämättä tuota onnistunutta lopputulosta. Tehdyllä ajan ja syvällisyyden kompromissilla syntyi kirjoittajan mielestä erittäin kelvollinen lopputulos.

Suunnittelussa tähdätään lähtökohtaisesti kolmeen asiaan: yksinkertaisuuteen (helppo valmistettavuus ja halpa hinta), luotettavuuteen ja korjattavuuteen. Muihin ominaisuuksiin panostetaan mahdollisuuksien mukaan. Osia on siis hyvä olla mahdollisimman vähän, mutta toisaalta valmistettavien osien tulee olla mahdollisimman helposti valmistettavia. Tästä syystä esimerkiksi nokka- ja kampiakselien laakeripukit ovat kokonaan irrotettavat eivätkä sylinterinkanteen ja lohkon kiinteästi koneistetut kuten yleensä on tapana. Myös öljypumppu on kokonaan oma irrotettava ja purettava kokonaisuutensa. Öljyn kierto voitelukohteisiin tapahtuu pääosin ulkoisilla öljyputkilla.

Osien lukumäärän vähentämiseksi ja rakenteen yksinkertaistamiseksi moottori suunnitellaan yksisylinteriseksi. Toinen ennalta valittu arvo on sylinterin mitat. Hyvän valmistettavuuden takaamiseksi sylinterin mitoiksi valitaan noin 70 mm sylinterin halkaisija (lopullinen tarkka mitta 68 mm) ja 65 mm iskunpituus. Näin moottorin sylinterin iskuilavuudeksi tulee karkeasti noin 250 cm³ (lopullinen 236 cm³). Tarkoitus ei siis ole myöskään tehdä moottorista erityisen suurta tai pientä, vain helposti valmistettava.

Kuten edellä on mainittu, moottorin työkierto on nelitahtinen. Sen sijaan kierto-prosessi vaati miettimistä. Alun perin halusin suunnitella moottorista dieselin suoraruiskutuksella ja vakiosyöttömäärällä. Tämä siksi, että dieseltekniikka kiinnostaa suuresti ja vaikka polttoaineensyötön toteuttaminen on haastavaa ilman syöttömäärän säätöäkin, olisi ottoprosessin sytytysjärjestelmä ja kaasutin voitu jättää pois. Dieselprosessissa on kuitenkin ongelmansa tässä yhteydessä. Ongelmista merkittävimpiä ovat suuremmat termiset ja mekaaniset rasitukset (suuret vaatimukset osien lujuuksille), polttoaineen sekoittuminen ilmaan (palotilan ja männän muoto suhteessa suuttimen kuvioon) ja lisäksi erittäin vaikeasti toteutettava ja silti rajallisesti toimiva polttoaineensyöttö.

Näistä syistä moottori päädyttiin toteuttamaan ottoprosessilla.

Kuten jo edellä mainittu, moottorin suorituskyky ja taloudellisuus jäävät taka-alalle, mutta niihin kuitenkin panostetaan mahdollisuuksien mukaan. Kestävyyttä ja luotettavuutta kuitenkin vaalitaan suoraan suorituskyvyn kustannuksella rajoittamalla moottorin pyörintänopeutta. Maksimipyörintänopeudeksi tulee noin 3000 kierrosta minuutissa. Tällä helpotetaan mm. pyörivien osien tasapainotuksen tarvetta ja massan hitausvoimien kasvamista.

Muita valintoja käsitellään yksityiskohtaisemmin seuraavissa alaotsikoissa.

Käytännössä suunnittelu, mallinnus ja piirustusten teko tapahtui Solidworks 2014 -ohjelmalla. Solidworks oli erinomainen ja suorastaan välttämätön apuväline tähän projektiin. Suunnitteluprosessi lähti liikkeelle olemassa olevista osista joiden ympärille moottoria lähdettiin suunnittelemaan. Suunnittelun edetessä moni ratkaisu muuttui vielä useaan kertaan.

Materiaalivalinnat olivat yksi vaikeimmista suunnittelun vaiheista. Materiaalit piti valita hinnan, saatavuuden, työstettävyyden, massan ja muiden ominaisuuksien kompromissina. Apuna käytettiin asiantuntija-apua, kirjallista materiaalia, esimerkkejä vastaavista tuotteista ja Solidworksin simulointia. Tärkein apu saatiin kuitenkin Kaarinan Karkaisutyöt Oy:ltä ja kiitän ja suosittelen heitä suuresti.

Valmiilta moottorilta odotetaan massatuotantopaikallismootoreihin verrattavissa olevaa, lähes ikuista kestävyttä, kohtalaista energiatehokkuutta, helppoa huollettavuutta ja käyttökelpoista tehontuottoa. Käytännössä hyvin mahdollista on, että ainakin joitakin muutoksia joudutaan tekemään kunnollisen kestävyys- ja toimivuuden takaamiseksi. Nämä mahdolliset muutostarpeet tulevat kuitenkin esiin vasta koekäytössä.

2.2 Moottorin osat

2.2.1 Sylinterikansi ja venttiilikoneisto

Sylinterikansi valmistetaan yhdestä 6000 -sarjan alumiinipalasta koneistamalla. Nokka-akseli laakeroidaan kahdesta pisteestä, välittömästi hihnapyörän vierestä ja akselin toisesta ääripäästä. Laakeripukit ovat yksiosaiset, irrotettavat ja ne kiinnitetään kahdella pultilla sylinterikanteen. Pukkien ympärille tulee kuminen öljytiiviste. Laakerit saavat painevoitelun joista öljy jatkaa nokka-akselin porauksia pitkin nokille voitelemaan nokan ja nostimen kosketuspinnan. Nostimille valmistetaan oma ruuviinnitteinen silta, jossa on laakeripesät nostinten sivuttaistukea varten.

Nostinten laakeripesien mitat valitaan Mazdan korjausoppaan mukaan. Pesiin tulee kanavia pitkin paineistettu öljy josta nostimet saavat voitelun ja tarvittavan öljynpaineen. Ylimääräinen öljy valuu nostimen ja pesän välistä venttiilikoneiston pohjalle josta se virtaa paluuputkea pitkin takaisin öljypohjaan. Nokka-akselin laakeripukeissa on pronssiset liukoholkit. Pukkeihin koneistetaan myös pesät paineenkestäville akselitiivisteille. Venttiilikoneiston päälle tulee kiinni ruuvattava venttiilikoppa jossa tulppa öljyn lisäämistä varten.

Palotilan muodossa pyritään puolipalloon, vaikka se ei käytännössä voikaan onnistua venttiilien kulman takia. Käytännössä palotilan muoto jää allasmaiseksi. Venttiilit uppoavat kannen tasoon nähden niin syväälle, ettei mahdollinen kampa ja nokka-akselin välisen yhteyden katkeaminen tai väärä ajoitus aiheuta vahinkoa. Toisin sanoen etäisyys kannen tasosta sulkeutuneen venttiilin lautasen alapintaan on suurempi kuin nokka-akselin nosto. Puristussuhteeksi tulee noin 9:1. Sytytystulppa tulee vinossa kulmassa sylinterikannen pakopuolelle. Tulpan sijoitus pakopuolelle lienee imupuolta turvallisempi ratkaisu siinä tapauksessa, että ilma-polttoaineseosta pääsee virtaamaan kaasuttimesta ulospäin esimerkiksi takapotkun yhteydessä. Sylinterikannen lämmönhaihtuvuuden edistämiseksi kanteen koneistetaan jäähdytysripoja mahdollisuuksien mukaan.

Venttiilien istukat koneistetaan nuorrutusteräksestä. Istukoiden paikallaan pysyminen varmistetaan tiukalla lämpö- ja ahdistussovituksella.

Sylinterikansi kiinnittyy suoraan lohkon pitkillä pinnapulteilla. Kiinnityksessä on se erikoisuus, että pultit eivät mene kannen läpi vaan kiertyvät oikeankätisillä hienokierteillä kannen alaosaan. Vastaavasti pinnapultin toisessa päässä on vasenkätiset kierteet. Tarttumakanta pultissa on sen alaosassa.

Venttiilikoneistosta löytyy useita osia, joita ei valmisteta kokonaan itse. Näitä ovat nokka-akseli, venttiilit, venttiilinohjaimet, nostimet, venttiilijouset ja niiden pidikkeet. Tähän päädyttiin nokka-akselin nokan muodon äärimmäisen vaikean valmistettavuuden vuoksi. Lisäksi venttiilit ja ohjaimet valmistetaan niin erikoisesta materiaalista, että sitä on vaikea löytää. Nämä osat olisi kuitenkin suhteellisen helppo valmistaa mutta koska valmiiden osien yhteishinta jää muutamaan kymmeneen euroon, koin hyväksi ideaksi käyttää tästä ratkaisusta jäävä aika muiden osien suunnitteluun.

Tämä lienee hyvä järjestely myös siksi, että nokka-akseli ja venttiilit ovat ensimmäinen lukkoon lyöty asia moottorin suunnittelussa. Niiden perusteella suunnitellaan koko sylinterikansi laakerointeineen ja venttiilikoneistoineen. Sylinterikannen suunnittelu taas vaikuttaa sylinterin, männän ja lohkon suunnitteluun jne.

Osat valittiin mahdollisimman samankaltaisesta moottorista. Osien luovuttajaksi löytyi Toyotan 2E-moottori. Se on vuonna 1985 esitelty 1.3-litrainen nelisylinterinen ottomoottori, joka tuottaa 48 kW tehoa. Sen erikoisuutena on kolme venttiiliä sylinteriä kohti ja näin ollen myös kolme nokkaa. Tämä ei kuitenkaan haittaa, koska nokka-akselia joudutaan joka tapauksessa modifioimaan ja samalla voidaan jättää kolmas venttiili nokkineen pois. Myös nostinkoneistoa muokataan niin, että venttiilit tulevat välittömästi nokka-akselin alle suoraan kulmaan kannen tasoon nähden.

Koska alun perin venttiilikoneistossa käytetään nokka-akselin alapuolisia keinuviipuja, ne täytyy korvata sivuttaistuen tarjoavilla paininkupeilla. Koska sopivan kokoisia paininkuppeja ei löytynyt, on käytettävä hydraulisia nostimia joita on tar-

jolla paljon suurempi valikoima. Sopivat nostimet löytyivät Mazdan 24-venttiilisestä B6-moottorista. Hydraulisten nostinten käyttö lienee hyvä ratkaisu, koska venttiilien välyksen säätö säätöpaloilla jää tarpeettomaksi hydraulisen nostimen pitäessä välyksen aina oikeana. Venttiilin palautusjousi jää nostinkupin alle.

Nostinten keskipiste sijoitetaan hieman sivuun nokkien keskipisteestä. Näin nokat pyörittävät hiljalleen paininkuppeja, mikä tasaa kulumista. Toyotan osista käytetään myös alkuperäisiä venttiilin ohjaimia ja niiden tiivistekumeja. Venttiilien avauma jää hieman pienemmäksi kuin Toyotan moottorissa, koska keinuvipujen aikaansaama nostoa lisäävä välityssuhde jää pois.

Nokka-akseliin koneistetaan sopiva liukulaakerointi. Laakerivälysten mittatoleranssien ohjeena käytetään Toyotan 2E-moottorin korjauskirjasta löytyviä arvoja. Laakeripintojen olakkeet ottavat vastaan sivuttaisvoimat jotka tosin nokka-akselin tapauksessa jäänevät lähes olemattoman pieniksi. Akselin vasempaan päähän tulee hammashihnapyörän kiinnitys.

Erikoisuutena nokka-akselin oikeaan päähän tulee pieni vauhtipyörä ja sytytysjärjestelmän magneetto. Tämä siksi, että tavallisista yksisylinterisistä paikallismootoreista poiketen suunniteltavassa moottorissa on hammashihnavetoinen venttiilikoneisto. Hammashihnapyörä on sijoitettava kampiakselille samalle puolelle päävauhtipyörän kanssa. Näin kampiakselin toinen pää jää kokonaan vapaaksi voiman ulosottoa varten. Voima voidaan myös ottaa ulos välittömästi runkolaakerin vierestä minimoiden rasitusta. Koska hammashihna vaatii kiristyksen toimiakseen luistamatta, hammaspyörät on sijoitettava mahdollisimman lähelle akselien laakeripisteitä. Näin saadaan helpotettua rajavoitelutilannetta käynnistyksen yhteydessä. Erityisen tärkeää tämä on nokka-akselilla, koska sen laakerien koko jää melko pieneksi. Näin voidaan myös suunnitella päävauhtipyörä lähes ilman rajoituksia, koska se jää kampiakselille ulommaiseksi.

Venttiilien ja sytytyksen ajoituksia käsitellään Reijo Virkin ja Janne Lapin osuuk-sissa.

2.2.2 Sylinteri

Sylinteri on kaksiosainen. Ulkokuori on 6000-sarjan alumiinia ja putki suomugrafiittivalurautaa. Tämä siksi, että koko kappaleen valmistaminen valuraudasta olisi kallista ja toisaalta alumiinin ominaisuudet sylinteriputkena ovat huonot. Alumiinilla on myös paremmat lämmönsiirto-ominaisuudet kuin valuraudalla. Lisäksi alumiini on melko hyvin koneistettavaa ja se lastuuntuu mukavammin kuin pölyävä valurauta. Yleisin tapa valmistaa kaksoismetallinen sylinteri lienee valaa kuori putken ympärille (Taylor 1989, 474). Tämä helpottaisi valmistusta mutta teki sylinteriputken vaihdon onnistuvuudesta kyseenalaista.

Vaikka kuori onkin melko yksinkertainen, se on yksi koko moottorin tärkeimmistä osista. Erillinen kuori mahdollistaa myös sylinteriputken vaihtamisen. Sylinterin kuorella on pääosin kaksi tehtävää: luovuttaa sylinteriputkesta polttoprosessissa syntynyttä lämpöä mahdollisimman tehokkaasti ja toimia ”tukirankana” muille osille. Kuori määrää myös pituudellaan sen, kuinka syväälle putki uppoaa lohkoon ja kuinka ylhäällä männän on käytävä YKK:ssa.

Suhteellisen heikkolujuisen materiaalin ja suurten rasitusten (sylinterikannen kiristys lohkoon) takia kuoren materiaalivahvuus on oltava melko suuri. Kuoreen koneistetaan ulkopuolelle ripoja lämmönhaihtuvuuden parantamiseksi, sopiva ahdistussovitus sylinteriputkelle ja yläpäähän levennys sylinteriputken olakkeelle.

Jotta lämpöä luovuttava pinta-ala saataisiin mahdollisimman suureksi, sylinterikannen kiinnityspultit kulkevat kuoren jäähdytysripojen läpi porattavien reikien kautta sen sijaan, että rivoitus poistettaisiin kokonaan. Näin kuorelle saadaan runsaasti lisää leveyttä. Koska suurin osa lämmöstä syntyy sylinterin yläpäässä, sinne sijoitetaan hieman enemmän rivoitusta kuin alapäähän. Näin pyritään pitämään sylinteri tasalämpöisenä ja näin ollen myös tasamittaisena lämpölaajenemisen vuoksi. Tarvetta tälle lisää myös alapäätä tehokkaasti jäähdyttävä lohko.

Vaikka moottorin teho ja näin ollen myös hukkalämmön määrä on suhteellisen pieni, on jäähdytykseen panostettava, sillä ilman liikkuvuus paikallaan olevan moottorin ympärillä on vähäistä. Koska moottorille ei kuitenkaan ole suunniteltu

mitään varsinaista käyttötarkoitusta, voidaan ilman kierto tarpeen mukaan järjestää esimerkiksi ulkoisella tuulettimella.

Kuori jää puristuksiin sylinterikannen ja lohkon väliin kun pinnapultit kiristetään. Kiristysvoima välittyy sylinterikannesta tiivisteiden kautta sylinteriputkeen ja siinä olevasta olakkeesta sylinterin kuoreen. Kuoren alapinta vastaa suoraan lohkon pintaan. Alapinnan tiivistyksen hoitaa pahvitiiviste.

Sovite sylinteriputkelle on hyvin kriittinen, koska alumiini lämpölaajenee huomattavasti valurautaa enemmän. Sovitteen on oltava tiukka, ettei putken ja kuoren väliin pääse syntymään lämpöä eristävää ilmarakoa korkeassakaan lämpötilassa. Putken ja kuoren sovitteessa on otettava huomioon alumiinisen kuoren ja valurautaisen putken lämpölaajenemiserot. Sovitteesta on siis tehtävä hieman tiukempi kuin jos lämpötilat pysyisivät tasaisina.

Kuoreen asennetaan lämpösovituksella valurautainen sylinteriputki, joka valmistetaan suomugrafiittivaluraudasta sen hyvien voiteluominaisuuksien vuoksi. Putken yläpäässä on olake, joka vastaa kuoren olakkeeseen. Näin estetään putken painuminen. Sylinterin ja sylinterikannen välinen kohdistus tapahtuu olakkeella, eli sylinteriputkessa on uloke ja kannessa syvennys. Lisäksi lohkon ja kannen välille tulee kaksi paikoitusreikää ja -tappia. Tiivistys tapahtuu osien väliin tulevalle hehkutetulle kuparirenkaalla. Alapinnan tiivistys tapahtuu pahvitiivisteellä. Sylinterin kohdistus lohkon tapahtuu helman ja lohkon porauksen sovitteesta.

Sylinteriputken pituus on iskunpituus lisättynä männän korkeudella ja muutamalla millimetrillä. Männän helma ei siis tule sylinteriputkesta ulos alakulokohdassa. Putken sisäpinta on hoonattu. Putken sisäpinnan mittatoleranssi valitaan Nissanin korjausoppaan arvojen mukaan sopimaan MA10-moottorin männälle, koska männänrenkaat päätettiin valita tästä moottorityypistä ja mäntä valmistetaan tämän moottorin mäntää mukailleen. Ilmajäähdytyksen ja männän materiaalin aiheuttamaa suurempaa lämpölaajenemista kompensoidaan sylinterin sijaan männän halkaisijaa pienentämällä. Näin männänrenkaiden sopivuus sylinteriin jää suunnitelluksi.

2.2.3 Mäntä, männänrenkaat ja -tappi

Mäntä valmistetaan alumiinista koneistamalla. Materiaalivalinta oli vaikea. Valinta on tehtävä työstettävyyden, saatavuuden, hinnan ja ominaisuuksien kompromissina. Tavallisesti männät valmistetaan alumiiniseoksista joko takomalla tai valamalla. Myös niin sanottuja billet-mäntiä, eli umpimateriaalista koneistettuja, on saatavilla lähinnä kilpamoottoreihin. Käytännössä vaihtoehtoja on kaksi.

Ensimmäinen vaihtoehto on valmistaa mäntä umpiakselista 2000-, 6000- tai 7000-sarjan alumiinista. Tässä vaihtoehdossa on etuna tarkkaan tunnettu materiaali lujuus- ja lämpölaajenemistietoinensa. 7000- ja 2000- sarjan alumiinit ovat myös erittäin lujia. Haittapuolena on kuitenkin lujien 2000- ja 7000- alumiinilaatujen kallis hinta ja heikko saatavuus ja 6000-sarjan alumiinin heikohkot ominaisuudet. Suurin ongelma näissä seoksissa on kuitenkin suuri lämpölaajenemiskerroin. 68 mm:n mäntä lämpölaajenee 300 K lämpötilaerossa noin kaksinkertaisesti valamalla valmistettuun silumiinimäntään verrattuna. Tästä johtuen sylinterin ja männän kylmävälys on tehtävä hyvin suureksi. Myös männänrenkaiden välystä uriinsa on suurennettava ja toisaalta männäntapin sovitusta tiukennettava.

Suuri välys aikaansaa kehnon toiminnan ja korkeammat päästöt kun moottori on kylmä. Välys saattaa myös nopeuttaa männän ja sylinterin kulumista. Saatavilla on kuitenkin esimerkiksi 4032- seos jossa on jopa 11 % piitä lisäämässä kovuutta ja vähentämässä lämpölaajenemista. Seos on suunniteltu varta vasten mäntien ja vastaavien koneenosien valmistukseen ja se olisikin täydellinen materiaali. Saatavuus on kuitenkin olematonta. Käytännössä mäntä valmistettaisiin siis 6082-seoksesta, joka on lämpökäsitelty T6-tilaan. 6000-sarjan seoksissa tärkein lisäaine on pii mutta sen osuus on vain noin prosentti. 6082- seos on keskilujaa ja sitä on helposti saatavilla kaikissa koissa. Seoksen voitaneen sanoa sopivan tarkoitukseen välttävästi mutta pitkäaikaisesta kestävyydestä ei ole varmuutta. Toinen vaihtoehto on 7075-alumiini, joka on ominaisuuksiltaan huomattavasti parempaa mutta saatavuus lähes olematonta.

Toinen materiaalivaihtoehto on käyttää vanhoja rikkinäisiä valamäntiä. Niistä valmistettaisiin sulattamalla ja valamalla aihio uutta mäntää varten. Etuna tässä olisi

varmuus materiaalin soveltuvuudesta. Valumännissä on usein huomattava määrä (yli 10 %) piitä, joka vähentää lämpölaajenemista ja toimii eristeenä vähentäen lämmön siirtymistä palokaasuista mäntään. Pii myös koventaa seosta, jolloin männän naarmuuntumisvaara pienenee. Piiseosteisten valumäntien lujuus on kuitenkin suhteellisen pieni. Lujuus tuskin kuitenkaan tulee ongelmaksi tässä yhteydessä. Ongelmat alkavat kuitenkin sulatuksen ja valamisen jälkeen kun aihio tulisi erkaisukarkaista ja vanhentaa. Koska materiaalin koostumuksesta ei ole tarkkaa tietoa, olisi lämpökäsittely tehtävä lähestulkoon arvaamalla eikä lopputulos välttämättä olisi hyvä. Aluksi olisi valettava useampi koekappale erilaisista männistä ja valittava niistä paras. Toisin sanoen tämä menetelmä on riskialtis ja vaatii paljon työtä ja rahaa. Lopputulos voi olla joko erittäin hyvä, erittäin huono tai jotakin siltä väliltä.

Molemmat menetelmät ovat käyttökelpoisia mutta päädyin kuitenkin ensimmäisenä esiteltyyn vaihtoehtoon. Tämän ratkaisun tein lähinnä rajallisen aikataulun takia ja kustannussyistä. 6082 T6- alumiini on suhteellisen halpaa ja se on jo toimitustilassaan mahdollisimman lujaksi lämpökäsiteltyä. Ongelmaksi jää kuitenkin materiaalin suuri lämpölaajeneminen ja pehmeys. Moottori on joka tapauksessa purettava ensimmäisten käyttötuntien jälkeen ja tarkastettava sen kunto. Jos tarkastuksessa esiintyy männän kulumista, on mietittävä toinen ratkaisu. Suurten kylmäkäyntivälysten aiheuttamat korkeat päästötkään eivät liene ongelma.

Männän laki on muodoltaan tasainen. Alapuolelta ja sivuilta koneistetaan materiaalia pois niin, että kiertokangen yläpäälle jää tilaa ja samalla saadaan poistettua ylimääräistä massaa. Koska moottorin pyörintänopeus on alhainen, ei männän keveyteen tarvitse kuitenkaan kiinnittää erityistä huomiota. Kaikki tarpeeton materiaali pyritään silti poistamaan. Männänrenkaita ei valmisteta itse. Tähän päädyin erittäin vaikean valmistettavuuden ja materiaalin tiukkojen vaatimuksien vuoksi. Valmiit männänrenkaat löytyivät Nissanin 1980-luvun puolivälissä esitellystä 1.0–litraisesta MA10–moottorista. Tämän moottorin männän halkaisija on sopiva 68 mm.

Renkaita männässä on kolme kappaletta, kaksi puristusrengasta, ja yksi öljyrenkas. Tämä lienee pienissä moottoreissa tyypillisin rengasratkaisu. Valmiiden männänrenkaiden käytöstä on myös se hyöty, että Nissan Micra K10 huolto- ja korjausoppaasta löytyy valmiit mitat ja toleranssit kaikille MA10-moottorin osille ja sovitteille. Huomattava on kuitenkin, että MA10 on vesijäähdytetty ja tämän työn moottori on ilmajäähdytteinen. Voidaan siis olettaa osien käyvän hieman kuumempina. Tavallisesta alumiinista valmistettu mäntä myös laajenee lämmetessään huomattavasti enemmän kuin Nissanin valettu alkuperäismäntä.

Sylinterin halkaisija voidaan pitää ohjearvojen mukaisena, jotta männänrenkaat tiivistäisivät niin kuin ne on suunniteltu, mutta männän halkaisijaa lienee syytä pienentää jättäen sille enemmän tilaa lämpölaajentua. Alkuperäinen ohjearvo männän ja sylinterin välykselle on 0,024-0,043 mm (Multum Ky 1990, 25). Tätä välystä voitaneen huolelta suurentaa reilustikin.

Männän valmistuksen helpottamiseksi männäntappi kiinnittyy mäntään tiukalla lämpö- ja ahdistussovituksella. Tapin ja männän sovitus ei siis ole kelluva eikä sitä tarvitse voidella eikä lukita sokilla paikalleen. Männäntapin sovite mäntään on laskettava huolellisesti, ettei tappi pääse liikkumaan suurimmillakaan männän lämpötiloilla.

Männäntappi valmistetaan nuorrutusteräksestä sorvaamalla. Lisäksi tappi tyytetään, jolloin se vahvistuu ja liukuominaisuudet paranevat. Lämpökäsittelyn jälkeen suoritetaan viimeistelykoneistus, jossa ulkohalkaisija koneistetaan erittäin tarkaksi ja pinnanlaatu mahdollisimman sileäksi. Tappi saa painevoitelun kiertokangen öljykanavasta. Tapin painoa vähennetään poraamalla se ontoksi.

Tavallisesti tämän kokokuokan moottoreissa männäntappi saa voitelunsa öljyrenkaan keräämästä öljystä, joka roiskuu rengasuran pohjalla olevista rei'istä männän sisäpuolelle. Kiertokangen yläpäässä on reikä johon osa öljystä osuu ja pääsee sitä kautta voitelemaan männäntappia. Samalla öljy jäähdyttää mäntää. Tässä tapauksessa voitelua haluttiin parantaa tuomalla männäntapille painevoitelu kiertokangen lävitse. Öljyn poisto öljyrenkaan urasta tapahtuu silti tavalliseen tapaan. Myös männän jäähdytys tapahtuu perinteisesti öljyroiskeilla.

2.2.4 Kiertokanki

Kiertokanki on yksi kolmesta kampikoneiston pääosasta. Se yhdistää männän ja kampiakselin.

Kiertokanki valmistetaan 7075 T6-alumiinista. Pääsyyinä tähän on keveys ja hyvä koneistettavuus. Lisäksi se on lujuudeltaan samaa luokkaa rakenneteräksen kanssa ja myös kohtuullisen edullista. Kiertokanki on mitoitettu erittäin tukevaksi, jolloin se on riittävän kestävä mutta myös muodoltaan helppo koneistaa. Kanki vastaa muotoilultaan melko tarkkaan kilpamoottoreihin saatavilla olevia H-profiili-kiertokankia. Tämä siksi, että muoto on lujuudeltaan hyvä ja helppo valmistaa.

Kangen yläpäähän asennetaan ahdistussovituksella alumiinipronssinen liukuholkki. Alapää on kaksiosainen, pulttikiinnitteinen ja keskittyy kahdella holkillä. Alapäähän asennetaan valmiit laakeriliuskat, koska kaksiosaisen pronssisen laakeriholkin valmistus on hyvin vaikeaa. Sopivat laakeriliuskat löytyvät Fiatin 903-kuutioisesta moottorista jota on käytetty mm. 127 -mallissa. Laakerit on asennettava kiertokankeen niin, että niiden lukitus toimii oikeaan suuntaan. Kiertokangen pituus on sellainen, että männän ja kampiakselin vastapainon väliin alakuolokohdassa jää tilaa noin 5 mm. Ala- ja yläpäiden välissä kulkee poraus, josta paineistettu öljy pääsee kulkemaan männäntapille.

Kiertokankisuhteeksi valikoitui melko pieni 2,9. Tavallisesti kiertokankisuhde on luokkaa 3...4. Toisin sanoen kiertokanki on siis melko lyhyt iskunpituuteen verrattuna. Tämä syntyi keveyden ja muiden käytännön asioiden kompromissina. Haittana pienestä kiertokankisuhteesta on suuret sivuttaisvoimat mäntään kammenpolven ollessa sivuasennoissa, varsinkin työtahdin aikana.

2.2.5 Lohko, runkolaakerointi ja öljypohja

Sylinterilohko valmistetaan koneistamalla yhdestä 6000-sarjan alumiinipalasta. Lohkon tärkein tehtävä on kiinnittää sylinteri ja sylinterikansi, ja laakeroida kampiakseli. Lisäksi se toimii öljyvarastona ja kiinnityspisteinä monille osille mukaan

lukien moottorille itselleen. Lohkon tulee myös olla tukeva. Lohkon yläpinnassa on poraus sylinterin helmalle. Lohkon alapintaan koneistetaan riittävä tila kampiakselille.

Tavallisesta moottorilohkosta poiketen laakeripintoja ei koneisteta suoraan lohkoon. Sen sijaan laakeroinnit koneistetaan erillisiin pukkeihin jotka pultataan lohkoon kiinni. Laakeripukkeihin sovitetaan pronssiholkit ja paineenkestävät akseliitiivisteet lukitusrenkaineen. Laakeripukkeja on kaksi, sijoitettuna niin lähelle kampiakselin keskipistettä kuin mahdollista. Molempiin laakereihin tulee painevoitelu omaa kanavaansa pitkin. Laakeripukeissa on myös pienet öljynpoistoreiät akseliitiivisteiden puolella. Reikä on niin pieni, että kaikki laakerin välistä poistuva öljy ei mahdu kulkemaan siitä. Näin pyritään saamaan suurin osa öljystä kulkemaan laakeriholkin päädyn ja kampiakselin välistä samalla voidellen. Kuitenkin osa öljystä pääsee poistumaan reiästä, jolloin tiivisteitä vastaan ei tule liian suurta painetta.

Moottorin kiinnityspisteet pultataan lohkon reunoihin kiinni. Öljypohja kiinnittyy pulteilla lohkon pohjaan. Se pitää öljyn sisällään. Öljypohjassa on myös tulppa öljyn valuttamista varten.

Öljypumppu kiinnittyy oikeanpuoleiseen laakeripukkiin kahdella ruuvilla ja saa käyttövoimansa kampiakselilta ratasvälityksellä.

2.2.6 Kampiakseli

Kampiakseli on kenties moottorin tärkein ja huolellisimmin suunniteltava osa. Sen suunnittelussa tulee ottaa huomioon suuri määrä asioita. Sen lisäksi, että akselin tulee olla riittävän luja, sen on oltava tarkoituksenmukainen ja mahdollisimman helposti ja edullisesti valmistettava.

Kampiakselin pääasiallinen tehtävä on muuttaa männän edestakainen liike pyörimisliikkeeksi. Sen tulee myös pystyä toimittamaan öljyä kiertokangen laakerointeihin. Koko akselin läpi on siis kuljettava öljykanava. Kampiakselin tehtävänä on

myös toimia tehon ulosottoakselina. Tehoa tarvitaan moottorin varsinaisen käyttötarkoituksen lisäksi esimerkiksi venttiilikoneiston, sytytysjärjestelmän ja muiden apulaitteiden käyttämiseen. Akselin päiden tulee olla suunniteltu siten, että kaikki tarvittava saadaan tukevasti kiinnitettyä akselille.

Moottorin tasapaino riippuu olennaisesti kampiakselista. Yksisylinterisen moottorin tasapaino eroaa useimmista monisylinterisistä siinä, että tasapainottamattomana mikään ei kumo moottorissa liikkuvia massoja. Esimerkiksi kaksisylinterisessä rivimoottorissa usein käytetään kampiakselia, jossa kammenpolvet ovat 180 asteen päässä toisistaan. Tämä rakenne jo itsessään kumoaa suuren osan tärinöistä, koska liikkeet tapahtuvat täysin päinvastaisesti ja näin kumoavat suurelta osin toisensa.

Yksisylinterisen moottorin pyörivät voimat saadaan kumottua tasapainottamalla kampiakseli. Männän ja kiertokangen edestakainen liike jää kuitenkin tällöin kumoamatta. Käytännössä kampiakseli painotetaan niin, että vastapaino jää hie man painavammaksi kuin kammenpolven puoli. Näin vastapaino kumoaa osittain myös edestakaista liikettä. Joissain moottoreissa käytetään myös erillistä tasapainoakselia.

Kaikissa moottorityypeissä on kuitenkin niin paljon tasapainoon vaikuttavia seikkoja, että täydellisen tärinätöntä käyntiä ei ole mitenkään mahdollista saavuttaa. Koska suunniteltavan moottorin pyörintänopeus tulee olemaan suhteellisen pieni, ei tasapainotukseen ole tarpeen nähdä kovin paljoa vaivaa. Koettiin riittäväksi tasapainottaa kampiakseli saatavilla olevien laskukaavojen mukaan. Kaava kompensoi osittain myös männän edestakaista liikettä.

Kampiakseli on yksiosainen ja koneistetaan yhdestä palasta. Akseli koneistetaan S355-rakenneteräksestä ja lämpökäsitellään. Materiaalivalinnan syynä on lähinnä se, että koulun sorvit eivät pysty pistosorvaamaan nuorrutusteräksiä värinättä edes hyvissä olosuhteissa. Kammenpolven pistosorvaaminen tulee joka tapauksessa olemaan hyvin haastavaa, koska siihen vaaditaan erittäin pitkä pistoterä.

Esimerkiksi 42CrMo4 olisi ollut ominaisuuksiltaan huomattavasti parempi vaihtoehto muun muassa siksi, että se ei olisi välttämättä vaatinut lainkaan lämpökäsittelyä. Myös kokonaiskustannukset ja työhön tarvittava aika olisivat jääneet vähäisemmiksi.

Olen kuitenkin tyytyväinen ratkaisuun käyttää rakenneterästä, sillä siihen saadaan lämpökäsittelmällä jopa paremmat ominaisuudet kuin käsittelemättömään nuorrutusteräkseen. Hiiletyskarkaisu jättää pinnan hyvin kovaksi mutta sisus jää edelleen joustavaksi ja lujaksi. Näin saadaan sopiva lujuuden ja kovuuden yhdistelmä. Lisäksi kova pinta jättää kappaleeseen jatkuvan jännitystilan, joka on edullista lujuuden kannalta. Hiiletyskarkaistulla pinnalla on myös erittäin hyvät liukuominaisuudet.

Aluksi akseli rouhitaan noin millimetrin päähän tavoitemitoista. Tämän jälkeen suoritetaan jännityksenpoistohehkutus koneistusjännitysten laukaisemiseksi. Seuraavaksi akseli koneistetaan lähes tavoitemittaiseksi ja hiiletyskarkaistaan ja päästetään. Näin saadaan kova ja luja pinta mutta sisus jää sitkeäksi. Karkaisun jälkeen suoritetaan viimeistelykoneistus.

Kampiakseli on laakeroitu kahdesta kohdasta alumiinipronssisilla liukulaakeriholkeilla. Holkeissa on olakkeet, jotka vastaavat toiselta puolelta kampiakselin vastapainoon ja toiselta puolelta öljypumpun käyttöhammaspyörään ja hoitavat näin aksiaalisen tuennan. Laakerit saavat painevoitelun ja öljy kulkeutuu kampiakselin kanavistoa pitkin myös kiertokangen laakereille. Kampiakseli tarjoaa käyttövoiman öljypumpulle hammaspyörän välityksellä. Akselin vasemmassa ääripäässä on kiilauralliset sovitteet vauhtipyörälle ja jakopään hammashihnapyörälle. Kampiakselin oikeaan päähän tulee mahdollisuus kiinnittää esimerkiksi kiilahihnapyörä voiman ulosottoa varten.

2.2.7 Öljypumppu ja öljyn kierto

Öljypumppu on hammasratastyypinen ja se valmistetaan itse. Se koostuu kaksiosaisesta pesästä ja kahdesta samankokoisesta hammasrattaasta jotka ovat

rynnössä toisiinsa. Pumpun runko kiinnittyy pulteilla vasemmanpuoleiseen kampiakselin runkolaakeripukkiin. Pumpun sisäistä ja ulkoisista öljyvuodoista ei tarvitse välittää, sillä pumppu sijaitsee kokonaan moottorin sisällä. Vuotava öljy vain voitelee pumppua ja valuu sitten takaisin öljypohjaan. Pumpun on kuitenkin oltava niin tiivis, että se kykenee ylläpitämään riittävän öljynpaineen.

Rattaiden lävitse kulkevat niiden akselit jotka on liukulaakeroitu pumpun runkoon. Veto ensiöratalle tulee sen kanssa samalla akselilla olevasta hammasrattaasta jota käyttää samankokoinen kampiakselilla oleva ratas. Vetoratas ja pumpun ensiöratas on puristussovitettu akselillensa. Vetoakselin aksiaalisen tuennan hoitaa ensiöratas, joka tukeutuu pumpun rungon seinämiä vasten. Toisioratas on liukulaakeroitu akselillensa. Toisioakselin pitää akselin suunnassa paikallaan sen molempiin päihin kiinnitettävät lautaset jotka vastaavat pumpun kuoreen sen ulkoa päin.

Rattaat löytyivät standardikokoisina Etrasta tilaamalla. Akseli on kovakromattua Cromax-akselia jota käytetään muun muassa hydraulisylinterien männänvarsisissa. Pumpun käyttörattaat eivät ole standardimittaisia, joten ne on valmistettava itse. Sylinteriputkesta jäi yli sopiva määrä suomugrafiittivalurautaa josta on helppo ja hyvä valmistaa rattaat.

Öljy imeytyy pumpun toiselta puolelta sisään öljypohjan pohjalta imevän imuputken ja siinä olevan karkeasuodattimen läpi ja siirtyy rattaan hampaiden ja pesän ulkokehän välissä painepuolelle. Toivottu paine on väillä 1-5 bar. Maksimipaineen rajoittaa akselitiivisteiden paineenkestävyys ja minipaineen liukulaakerointien toimivuus ja hydraulisten venttiilinnostinten vaatima paine. Maksimipainetta voidaan säätää öljyputkistossa pumpun jälkeen olevalla säädettävällä jousikuoritteisella ohivirtausventtiilillä. Ohivirtausventtiililtä öljy virtaa suodattimelle, joka on peltikuorinen paperisuodatin Honda CBR 600-moottoripyörästä (mallitunnus PC23). Suodattimelta öljy jakautuu eri voitelukohteisiin ulkoisia putkia pitkin. Suodattimen jälkeen seuraa myös painemittari.

Suodattimelta öljy jakaantuu kahteen suuntaan, lohkoon ja sylinterikanteen. Lohkossa ainoat voitelukohteet ovat runkolaakerit. Kannessa voitelua tarvitaan nokka-akselin laakerointien lisäksi hydraulisille venttiilinnostimille.

Öljy palaa sylinterikannesta öljypohjaan venttiilikoneiston pohjalla olevasta reiästä ja sitä seuraavasta reilunkokoisesta paluuputkesta. On pidettävä huoli siitä, ettei paluuputken virtaus ole heikompi kuin tulovirtaus ettei venttiilikoneisto täyty öljystä.

2.2.8 Jakopää

Voimansiirto kampi- ja nokka-akselien välillä tapahtuu hammashihnalla. Välitysuhteen tulee olla 1:2, eli nokka-akselin pyörimisnopeus on puolet kampiakselin nopeudesta. Venttiilikoneiston pyörittämiseen tarvittava voima voitiin vain arvata. Se on kuitenkin huomattavasti vähemmän kuin Toyotan mallimoottorissa. Tämä siksi, että venttiileitä on samaan aikaan painettuna huomattavasti vähemmän. Lisäksi venttiilien nousu ja näin ollen jousivoima on pienempi keinuvipujen vipusuhteen poisjäämisen vuoksi. Hihna valittiinkin lähes kokonaan ”näppituntumalla”. Hihnamalliksi valikoitui 16 millimetriä leveä T5. Hammashihnapyörät ovat 20- ja 40-hampaiset.

Hihnan kiristys tapahtuu säädettävällä epäkeskoisella laakeroidulla rullalla. Kampiakselin hihnapyörä tulee heti runkolaakeroinnin jälkeen. Tällä pyritään vähentämään hihnan kiristyksestä johtuvaa kampiakselin taivutusta ja laakerirasitusta. Rasitukset lienevät moottorin muihin voimiin verrattuna todennäköisesti lähes olemattomia mutta esimerkiksi käynnistystilanteessa liukulaakerien ollessa raja-voitelutilanteessa, on hyvä saada laakereihin kohdistuva rasitus mahdollisimman pieneksi. Samasta syystä myös nokka-akselissa hihnapyörä on pyritty saamaan mahdollisimman lähelle laakerointipistettä. Akselien suunnassa hihnan pitää paikallaan hihnapyörien peltiset sivuohjaimet. Jakopään suojana on alumiininen kotelo, joka estää vierasesineiden ja esimerkiksi sormien pääsyn hihnavoimansiirtoon.

2.2.9 Laakeroinnit

Runkolaakerit

Kampiakseli on laakeroitu lohkon kahdesta kohdasta painevoidelluin pronssisin liukulaakereihin. Laakeriholkki on painettu teräksiseen laakeripukkiin. Muodoltaan pronssilaakeriholkki on sylinteri, jonka toisessa päässä on olake. Seinämän läpi kulkee reikä, joka on linjassa laakeripukissa olevaan reikään. Voiteluöljy laakerille kulkee tämän porauksen läpi. Holkin sisäpinnassa on poikittainen koko holkin kiertävä ura, joka helpottaa öljyn kiertoa laakerissa ja pitää yhteyden laakerin öljynsyötön ja kampiakselin öljyporauksen välillä jatkuvasti avoinna.

Laakeripukki paikoittuu sivusuunnassa lohkossa olevaan tarkkamittaiseen syvennykseen. Pituussuuntainen paikoitus jää vapaaksi, jotta kampiakselin aksiaalista välystä voidaan säätää. Kampiakselin aksiaalinen tuenta tapahtuu samoilla laakeriholkeilla. Vasemmalla puolella moottoria laakeriholkkiin vastaa hiottu laippa, joka kiinnittyy ruuveilla kampiakseliin. Tämä laippa on ulkoreunastaan hammas-tettu, ja toimii myös öljypumpun käyttöhammaspyöränä. Oikealla puolella laakeri vastaa suoraan kampiakseliin. Tästä johtuen laakerointi on siis hieman epäsymmetrinen. Laakeripukin ja lohkon välinen öljytiivistys tapahtuu laakeripukkiin koneistetussa urissa olevilla kumitiivisteillä.

Laakeripukeissa on myös paineenkestävät akselitiivisteet jotka lukitaan paikalleen lukkorenkailla. Ne toimivat kampiakselin öljytiivisteinä ja niitä vastassa on koko moottorin öljynpaine. Öljyä ei lasketa pois laakerin ja tiivisteiden välistä siksi, että kaikki öljy virtaisi joko laakerin sisäpuolelle voidellen kampiakselin aksiaalisen tuennan tai jatkaisi matkaansa kampiakselin öljyporaukseen. Ongelmaksi tästä tulee akselitiivisteiden paineenkestävyys. Vaikka tiiviste on nimenomaan tarkoitettu korkeille paineille, sen paineenkestävyys laskee pyörintänopeuden kasvaessa. Kolmella tuhannella kierroksella minuutissa paineenkestävyys on enää noin neljä baria. Toisaalta kun pyörintänopeus on alhaisempi, paineenkestävyys paranee nopeasti. Silti jo pahimmassa tapauksessa saavutettava 4 bar paineenkesto on riittävä öljynpaine. Käytännössä hyvällä akselin pinnanlaadulla ja kovuu-

della saavutettaneen huomattavasti ilmoitettua korkeampi paineenkestävyys. Lopullinen öljynpaine on kuitenkin asetettava koeajovaiheessa mahdollisimman suureksi niin, että akselitiivisteet eivät kuitenkaan vuoda.

Vasemmanpuoleisen laakeripukin tehtävänä on myös toimia öljypumpun kiinnittimenä. Siinä on tätä varten kierteet kahdelle ruuville.

Nokka-akselin laakerointi

Myös nokka-akseli laakeroidaan painevoidelluilla pronssisilla liukulaakereilla jotka on asennettu ahdistussovituksella laakeripukkeihin. Aksiaalinen tuenta tapahtuu myös nokka-akselissa samoilla laakeriholkeilla jotka vastaavat nokka-akselin olakkeisiin. Laakeriholkit, öljytiivistys ja öljyn kulku ovat etuineen ja ongelmiseen täsmälleen samanlaista kuin runkolaakereissa. Ainoana erona on se, että nokka-akselin hammashihnapyörän puoleinen laakeri on hieman leveämpi kuin toisella puolella.

Kiertokangen laakerointi

Kiertokangen alapään laakeriksi löytyi pitkän etsinnän jälkeen Fiat 903cc-moottorin kaksiosainen monikerroksinen kiertokangen laakeri. Sitä tulee hieman muokata poraamalla ylimääräinen reikä yläpuolisen laakeriliuskan keskelle. Näin öljy pääsee kulkemaan laakeriliuskan läpi männäntapille kulkevaan öljykanavaan. Kiertokangen alapään ja kampiakselin kaulan mitat on otettu suoraan Fiatin korjausoppaasta.

2.2.10 Vauhtipyörä

Kuten edellä on mainittu, vauhtipyörä voidaan suunnitella lähes ilman rajoituksia ainoana vaatimuksena saada se kiinnitettyä kampiakselille. Koska vauhtipyörä on vain symmetrinen ja tasamittainen valurautakiekko, se ei vaikuta merkittävästi moottorin tasapainoon. Vauhtipyörä asettuu kampiakselille tarkalla kiilaurallisella

sovitteella. Lukitus tapahtuu M10-kuusiokantaruuvilla. Tämän ruuvin kantaa käytetään myös moottorin käynnistämiseen.

3 VALMISTUS

3.1 Yleistä

Valmistusta varjosti sama ongelma kuin suunnittelua: rajallinen aika. Valmistamiseen käytettävissä oli kevätlukukauden illat, viikonloput ja muutama vapaapäivä. Valmistuksen aloittamista siirsi vaikeus saada kulkukortti koulun konepajalaboratorioon. Tämä siirsi aloittamista noin kuukaudella. Ongelmana oli myös pitkäkö ajomatka koululle ja toisaalta myös kirjoittajan omalle pajalle. Valmistuksen aikataulussa jäätiinkin heti alusta lähtien jälkeen. Alussa hukattua aikaa saatiin hiljalleen kurottua kiinni siinä kuitenkin täysin onnistumatta.

Olosuhteet moottoriprototyypin valmistamiseen olivat kuitenkin erittäin hyvät. Pajojen yhdistetty konekanta oli erittäin kattava erilaisine sorvi-, jyrä-, poraus-, hionta-, ja hitsauskoneineen. Koulun Dah Lih CNC-jyräkone osoittautui kaikkein tärkeimmäksi koneeksi. Kaikkein erikoisimpia työvaiheita lukuun ottamatta kaikki työvaiheet saatiin suunnitelmien mukaan tehtyä itse.

Jos moottoria alettaisiin sarjavalmistaa suurempina määrinä, valmistusmenetelmät olisi muutettava lähes kokonaan. Kaikki osat tulisi tehdä valamalla, jolloin materiaalihukka saataisiin mahdollisimman pieneksi ja vaikeiden muotojen valmistamisen helpottuisi. Ainoastaan tärkeät kohdat koneistettaisiin. Myös koneet varustettaisiin niin, että työkappaleen vaihtoon ja asetukseen käytettävä aika olisi mahdollisimman lyhyt. Suurempina erinä tilattuna myös uudenlaiset, paremmin sopivat, materiaalit tulisivat saataville.

Kun Solidworks piirustukset olivat valmistuneet ja materiaalivalinnat tehty, tilattiin ensimmäiseksi osat joita ei valmisteta itse. Osa osista oli hieman vaikeasti saatavia ja niitä jouduttiin tilaamaan eri liikkeistä. Lisäksi laskettiin tarvittavat raaka-aineet itse valmistettaviin osiin. Materiaaleja joutui tilaamaan eri liikkeistä vaikean saatavuuden vuoksi. Kaikki tarvittava kuitenkin löytyi.

Osien valmistus tapahtuu suurimmaksi osin Sepänkadun konepajalaboratoriossa jossa on hyvät laitteet. Joitakin osia valmistettiin myös kirjoittajan omalla pajalla.

Kirjoittajan työkaluja myös lainattiin koululle ja toisin päin. Työhön tarvittavia työmenetelmiä olivat tärkeimpinä jysintä, sorvaaminen, tasohionta ja TIG-hitsaaminen. Tärkeimpinä työkaluina mainittakoon koulun Dah Lih MCV 510 CNC-jyrsinkone, Vertex-kärkisorvi, Stanko 16K25 -kärkisorvi, ja manuaalinen jyrsinkone. Kirjoittajan koneista käytettiin IZH 1I611P kärkisorvia, Jackmill J-40 työkaluhiomakonetta, Stanko 6T82SH-jyrsinkonetta ja Allmax WSME-250 TIG-hitsauskonetta.

Lisähaasteen projektiin tarjosi tutustuminen tietokoneohjatun koneistuksen maailmaan. Toisin sanoen kirjoittajalla ei ollut lainkaan kokemusta CNC-koneiden käytöstä ennen 2015-vuoden alkua. Kuitenkin, koska moni osa muotoutui suunnittelussa hyvin monimutkaiseksi, alettiin jo syksyn puolessa välissä ajatella CNC-koneen hyödyntämistä valmistuksessa. Muutoinkin aihe on kiinnostanut kirjoittajaa jo hyvin pitkään. Tutustuminen ohjelmointiin ja koneen käyttöön aloitettiin Mika Seppäsen opastuksessa. Pian koneen käyttö alkoikin jo onnistua itsenäisesti.

Keskimäärin osat ovatkin valmistuksen vaikeustasoltaan hyvin haastavia. Suurilta osin siksi, että kaikki joudutaan valmistamaan ns. billettinä, eli täysin koneistettuna. Jos moottoria alettaisiin sarjavalmistaa, lähes kaikki osat kannattaisi valmistaa valamalla, jolloin koneistuksen määrä ja hukkamateriaali jäisi oleellisesti pienemmäksi. Toisaalta prototyyppi lienee kuitenkin aina kannattavinta valmistaa täysin koneistamalla. Näin vältetään väliaikaisten valumuottien tekemiseltä.

3.2 Osien valmistusmenetelmät

Tässä luvussa kuvaillaan valmistusmenetelmät erikseen tärkeimmille osille. Myös kunkin osan käyttötarkoitus kuvaillaan lyhyesti. Esitysjärjestys on melko satunnainen, koska käytännössä osia tehtiin hyvin paljon ristiin ja myös samanaikaisesti. Pääsääntöisesti monimutkaisimmat osat valmistettiin ensin. Joitakin osia jouduttiin hieman muuttamaan vielä valmistusvaiheessa yllättävien käytännön ongelmien vuoksi.

3.2.1 Jakohihnan kiristin

Ensimmäinen valmistettava osa oli jakohihnan kiristin. Se koostuu kahdesta rakenneteräksestä koneistettavasta osasta ja kahdesta 6004RS-urakuulalaakerista. Hihnan kiristimen tehtävänä on nimensä mukaisesti toimia säädettävänä hihnan kiristimenä. Kiristin on yksinkertaisuudessaan akseli laakereille jotka korkki lukitsee paikalleen. Korkin sovite uppoaa noin puoleen väliin ulommaista laakeria ja keskittyy siihen. Akselissa ja korkissa on epäkeskoinen akselin suuntainen läpireikä. Näin kiristintä pyörittämällä saadaan siirrettyä sen paikkaa ja samalla hihnan kireyttä.

Akseli ja korkki sorvattiin IZH 1I611P-kärkisorvissa ja läpireikä porattiin Stanko 6T82SH-jyrsinkoneella. Oleellisin mitta osissa on laakerien sisäkehiin vastaavat akselit joihin haluttiin mahdollisimman tarkka liukusovite. Myös korkin ja akselin välissä tulee olla sopivasti tilaa että korkki kiristää laakerit paikalleen.

Osa ei ole missään suhteessa kovinkaan kriittinen, joten sen valmistus tapahtui melko nopeasti.

3.2.2 Sylinteri

Seuraavana vuorossa oli sylinterin valmistus. Kuten edellä mainittu, sylinteri koostuu kahdesta osasta, kuoresta ja putkesta. Molemmat osat voitiin suureksi osaksi valmistaa erillään mutta osa työvaiheista päätettiin tehdä vasta osien yhteen liittämisen jälkeen. Kuvaan tässä työvaiheet samassa järjestyksessä kuin ne suoritettiin.

Sylinterin valmistus aloitettiin kuoresta.

Kuoren koneistus aloitettiin kirjoittajan IZH 1I611P-kärkisorvilla, mutta pääosa työstä tapahtui kuitenkin koulun 16K25 -sorvilla. Aihiona oli 105 mm pätkä 180

mm halkaisijalla olevasta 6000-sarjan alumiiniakselista. Valmistus aloitettiin sisäpinnan rouhinnalla. Kappaleen lämpötilan annettiin tasaantua, jonka jälkeen koneistettiin sylinteriputken sovite tarkkamittaiseksi. Tämä osoittautui hieman haastavaksi, koska koulun sorvi, vähistä käyttötunneistaan huolimatta, tekee 100 mm:n matkalla lähes 0,03 mm kartiota. Tasoitus tehtiin hiomapaperilla. Kuoren yläpään koneistettiin myös vaste sylinteriputken olakkeelle ja yläpään pinta tasoitettiin. Tämän jälkeen kappale käännettiin ja koneistettiin kuoren alapää kohtisuoraksi poraukseen. Kuori lyhennettiin myös lopulliseen mittaansa. Kaikki kuoren tarkat mitat pystyttiin siis koneistamaan kahdella asetuksella.

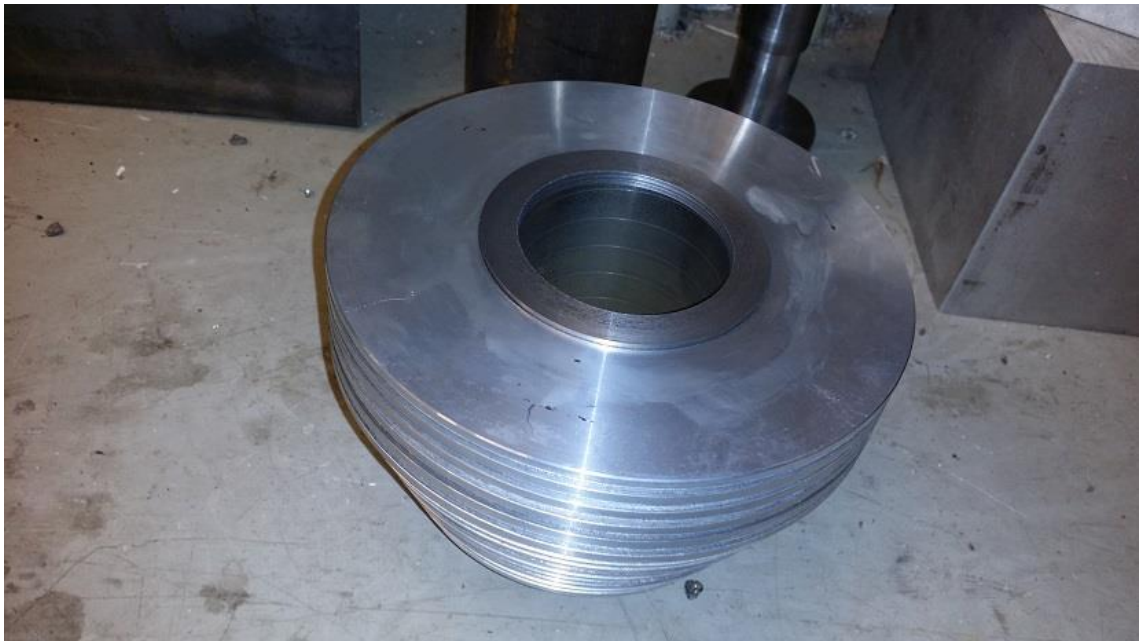
Seuraavaksi siirryttiin suomugrafiittivalurautaiseen sylinteriputkeen. Putki valmistettiin kokonaan koulun 16K25-sorvilla. Aihiona oli 150 mm pitkä pätkä halkaisijaltaan 100 mm paksuisesta umpiakselista. Umpiakselia jouduttiin käyttämään sopivan valmiin putkiahion puutteessa. Vaikka materiaalihukka olikin melkoinen, putki oli helppo valmistaa umpimateriaalista. Valurauta on helppoa koneistaa mutta lastu on melko pölyävää eikä sitä saisi päästää työstökoneiden johdepin-toihin.

Työstö aloitettiin rouhimalla aihioon hieman tarvittavaa pidempi poraus, ei kuitenkaan läpi asti. Tämä siksi, ettei sorvin pakka puristaisi muutoin suhteellisen ohutseinämäiseksi jäävää putkea epämuotoiseksi. Työstövaraa poraukseen jätettiin noin yksi millimetri. Seuraavaksi rouhittiin ulkomitta olakkeineen, jonka jälkeen annettiin lämpötilan tasaantua. Kappaleen jäähtyttyä suoritettiin viimeistelykoneistus. Myös tällä kertaa viimeistely jouduttiin tekemään hiomapaperilla. Tässä vaiheessa pakan leuoissa oli vielä noin 25 mm materiaalia, jota ei vielä katkaistu pois.

Kun molemmat osat oli esikoneistettu, ne sovitettiin toisiinsa. Kuuden sadasosa-millimetrin ahdistus on melko tiukka, mutta sen ei arveltu tarvitsevan lämpöä avukseen. Sovitus tapahtui siis pelkästään painamalla hydraulisella ”korjaamopuristimella”. Puristimen ”tonnimittari” näytti maksimissaan noin kahdeksaa.

Kun sovitukset oli tehty, siirryttiin takaisin sorville. Sylinteri asetettiin kiinni sylinteriputken yläpään jääneestä ylimääräisestä umpipaksuisesta osasta ja putken

avoimeen alapäähän asetettiin kärkikelkan putkikärki. Näin saatiin koko sylinterin ulkopinta vapaaksi koneistukselle. Sorvin käänkökelkka asetettiin piirustuksen mukaiseen kulmaan, ja alettiin koneistaa kuoren ulkopinnan kartiota. Piirustuksista poikettiin sen verran, että kartiota ei koneistettu koko sylinterin pituiseksi, ainoastaan noin kahden kolmanneksen matkalle. Näin saatiin hieman lisää jäähdyttävää pinta-alaa, ja säästyttiin ylimääräiseltä sorvaustyöltä. Kartion sorvaamisen jälkeen koneistettiin jäähdytysrivat pistoterällä. Tässä oli erittäin suuri työ, koska varsinkin pistosorvattaessa käytetyllä alumiinilaadulla on taipumus hitsautua terään kiinni. Tilannetta pahensi vielä koneistettaessa syntyvä lämpöäminen. Ripojen sorvaamiseen kului lähes kaksi tuntia. Kuvissa 1-3 on sylinteri ilman pinna-puttlien reikiä.



Kuva 1. Sylinteri päältä.



Kuva 2. Sylinteri alta.



Kuva 3. Sylinteri sivusta.

Viimeisenä sylinteri asetettiin manuaalijyrsinkoneen pöydälle, keskitettiin kara-akseli sylinterin poraukseen, asetettiin nollapiste ja porattiin pinnapulttien reiät oikeisiin kohtiin.

3.2.3 Nokka-akseli

Nokka-akseli muokattiin Toyotan 2E-moottorissa käytettävästä akselistä. Se karkaistiin sopivan mittaiseksi ja ylimääräiset nokat sorvattiin pois. Koneistettiin sopivat laakeroinnit ja sovitteet akselin molemmin puolin. Molempiin päihin myös porattiin ja kierteistettiin reiät hammashihnapyörän ja sytytyksen vauhtipyörän kiinnittämiseen. Hammashihnapyörän sovitteeseen koneistettiin myös kiilaura.

Yllättävän lisähaasteen akselin työstämiseen toi sen kovuus. Nokat olivat karkaistu usean millin syvyyteen asti erittäin koviksi. Laakerointikohdat sen sijaan olivat pehmeämpiä. Kun akseli oli lopullisissa mitoissaan, kaikki karkaistu materiaali oli poistettu. Viimeistely tehtiin hiomapaperilla.

3.2.4 Kampiakseli

Kampiakseli on valmistuksellisesti ehkä koko projektin haastavin osa. Siihen kuului erilaisia ja eriskummallisia koneistusvaiheita ja kaksi eri lämpökäsittelyä. Akselin valmistus voidaankin jakaa kolmeen osaan:

1. rouhinta, jonka jälkeen jännitystenpoistohehkutus. Tarkoituksena poistaa suurin osa materiaalista ja tämän jälkeen poistaa koneistuksessa syntyneet jännitykset hehkuttamalla.
2. esiviimeistely, jonka jälkeen hiiletyskarkaisu. Esiviimeistelyssä pyritään koneistamaan akseli täysin valmiiksi lukuun ottamatta pientä karkaisussa vetelemisen takia jätettävää työstövaraa laakerikauloille.
3. hiiletyskarkaisun jälkeinen viimeistelykoneistus. Viimeistelyssä akseli koneistetaan lopullisiin mittoihinsa.

Valmistus aloitettiin koneistamalla aihion ulkohalkaisija lähelle 110 mm:n tavoitemittaa. Halkaisijan tulisi olla mahdollisimman tasamittainen (kartioton) seuraavien valmistusvaiheiden helpottamiseksi. Akselin molemmille puolille porattiin myös tarkkakeskeiset keskiöreiät.



Kuva 4. Kampiakselin ulkomitta sorvattuna.

Kun ulkohalkaisija oli sopiva (kuva 4), kappale kiinnitettiin jyrsinkoneen pyöröpöydään. Kappale kelloitettiin samansuuntaiseksi ja -keskeiseksi jyrsinkoneen vaakakaran kanssa. Pyöröpöydän ja jyrsimen akselien mitta-asteikot nollattiin ja lukittiin pyöröpöydän ja jyrsimen X-akselin liikkeet. Z-akselia liikutettiin ylöspäin puolet halutusta iskunpituudesta eli 32,5 mm. Z-akseli lukittiin ja porattiin vaakakaralle kiinnitetyn poraistukan ja keskiöporan avulla epäkeskoinen keskiöreikä. Kappale käännettiin 180 astetta pyöröpöydällä, tarkastettiin ja säädettiin keskeisyys ja samansuuntaisuus ja porattiin toinen epäkeskoinen keskiöreikä.

Kappale irrotettiin jyrsinkoneesta ja hitsattiin toisen pään reunaan kiinni pätkä 25 mm akselia voimansiirtoa varten. Tappi vastaa sorvin istukan leukaan. Näin kappale saadaan sorvattua kokonaan tarkasti sorvin kärkien välissä. Aluksi sorvattiin akselin päät ja runkolaakerien kaulat likimittaisiksi käyttäen keskiössä olevia reikiä. Seuraavaksi kappale siirrettiin pyörimään epäkeskoisista rei'istä ja sorvattiin kammenvolvi likimittaiseksi (kuva 5 ja 6).



Kuva 5. Kammenpolven sorvaus aloitettu

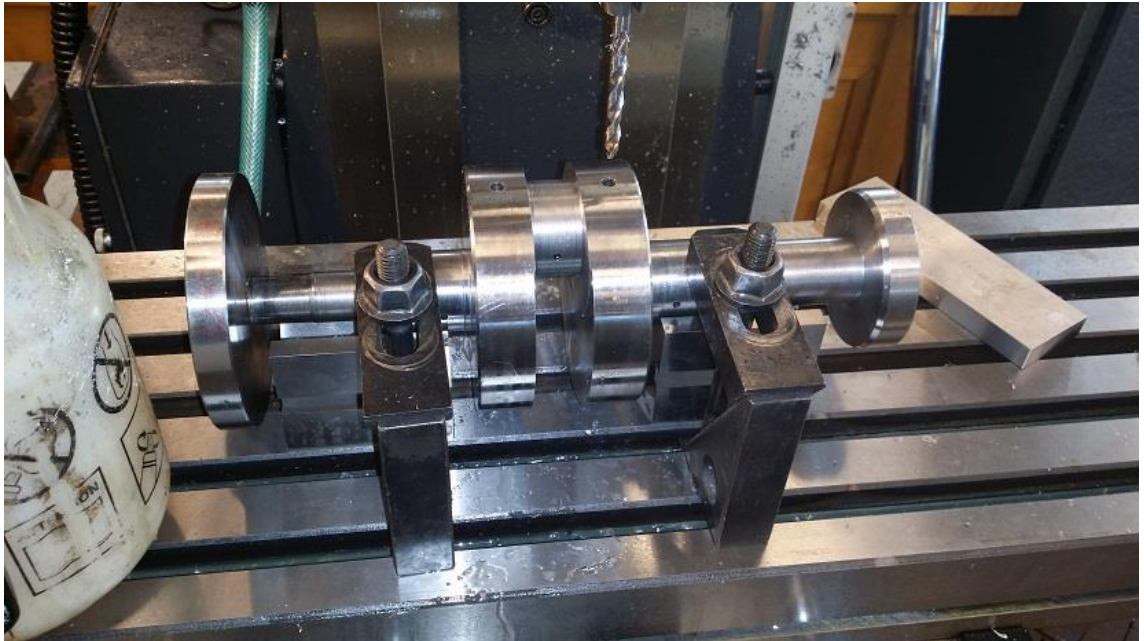
Tämä oli hidas ja haastava prosessi koska pistotyökalun lehti piti asettaa hyvin paljon ulos pitimestään. Poistettavaa materiaalia oli työkalun huonoon tukevuuteen nähden paljon. Kun polven tavoitehalkaisija oli saavutettu, tasattiin ”limppujen” reunat erikätisillä terillä.



Kuva 6. Kampiakseli valmiina hehkutukseen.

Sorvauksen jälkeen porattiin öljykanavat. Reikien poraaminen kampiakselin akselin läpi akselin suunnassa oli hyvin haastavaa, koska porattavan reiän oli hyvä olla melko pieni, mutta porausvyvyys yli 100 mm. Poraus aloitettiin sorvissa. Akseli asetettiin pyörimään kolmileukapakan ja tukilaakerin varaan. Poraus aloitettiin viiden millin terällä jolla työstettiin, kunnes lastunpoistourien pituus loppui kesken. Siirryttiin isompaan 8,5 mm terään, joka myös porattiin mahdollisimman pitkälle. Reiät porattiin loppuun erikoispitkällä 5 mm:n pikateräsboranterällä etenevästi hitaasti noin 5 mm kerrallaan ja puhdistamalla terä lastuista. Reiät porattiin noin viiden millin päähän ”limpun” sisäreunasta, eli ei läpi asti. Lopuksi akselin päihin koneistettiin M10-kierteet.

Kun pitkät reiät oli saatu porattua, siirryttiin jysinkoneelle. Akseli kiinnitettiin pöytään kammennolvi 90 astetta YKK:sta. 90 asteen asetus suoritettiin silmämääräisesti suuntaisaloja apuna käyttäen. 90 asteen kulmaa käytettiin, koska haluttiin saada mahdollisimman suuri laakerin kantopinta suurimman kuormituksen, eli noin YKK:n kohdalle. Samaa kulmaa käytettiin niin runkolaakerien kuin kiertokangenslaakerin kaulojen öljyreissä. Itse poraukseen käytettiin 3 mm boranterää jolla porattiin reikä läpi koko akselista niin, että reikä osui akselin keskellä kulkevaan poraukseen. Lisäksi porattiin hieman isommalla terällä reiät limppuihin akselin keskipisteessä kulkevaan öljykanavaan (kuva 7). Reikien suut tukittiin hitsaamalla ja hiomalla siistiksi. Viimeiseksi jäljelle jäävää kammennolven lävistävää porausta ei saatu vielä tässä vaiheessa poratuksi, joten se tehtiin myöhemmin.



Kuva 7. Öljykanavien porausta.

Tässä kohtaa akseli käytettiin Kaarinan Karkaisutöissä jännityksenpoistohehkuksessa.

Kun hehkuus oli tehty, akselin työstöä jatkettiin sorvaamalla kaulojen halkaisijat noin puolen millin päähän tavoitteesta ja leveydet viimeisteltiin tavoitemittoihinsa. Jokaisen olakkeen alkuun pistettiin pyöreällä terällä syvennykset parantamaan kestävyyttä ja helpottamaan akselin viimeistelyhiontaa. Viimeisenä sorvaustyövaiheena poistettiin apulaipat akselin päistä.

Siirryttiin CNC-jyrsinkoneelle, jossa ainoana riitti Z-liikkeessä tilaa asettaa kampiakseli pystyasentoon ja porata reikä läpi kammenpolvesta. Ylimääräisiin reikiin sorvattiin alumiiniset prässättävät tulpat mutta niitä ei vielä asennettu. Kampiakseli siirrettiin manuaalijyrsinkoneeseen, jossa koneistettiin tappijyrsimillä standardimittaiset 50 mm pituiset kiilaurat akselin päihin. Viimeiseksi siirryttiin takaisin CNC-jyrsimelle ja poistettiin kammenpolven puolelta kaikki poistettavissa oleva materiaali tasapainotuksen helpottamiseksi. Seuraavaksi suoritettiin tasapainotus, josta on tarkempi kertomus seuraavassa luvussa.

Viimeisenä kampiakseli käytettiin hiiletyskarkaisussa ja päästössä. Akseli myös hiekkapuhallettiin. Tämän jälkeen kaulojen hionta suoritettiin Armachine Oy:ssä. Lopputulos (kuva 8) pitkän työn jälkeen on kaikin puolin erittäin miellyttävä.



Kuva 8. Kampiakseli valmiina.

3.2.5 Tasapainotus

Kampiakseliin päätettiin suorittaa vain karkea tasapainotus. Tähän oli useita syitä. Tärkein syy oli se, että saatavilla oli vain epäluotettavasta lähteestä hankittu, erittäin yksinkertainen laskukaava tasapainon laskemiseen. Toisena syynä se, että moottorin pyörintänopeus on hyvin alhainen ja toisaalta kampiakselin lujuus ja näin ollen värinänkestävyys on suuri. Lisäksi yksisylinteristä moottoria ei ole ilman tasapainottavaa sivuakselia edes mahdollista saada käymään värinättömästi. Vaikka pyörintäliike saataisiinkin tasapainotettua, männän ja kiertokangen ylösalainen liike jää.

Dynaamista tasapainotusta kyseltiin useasta moottorikoneistamosta mutta yksikään ei osannut tehdä tasapainotusta yksisylinteriseen kampiakseliin. Päädettiin siis tekemään itse tasapainotus sillä tarkkuudella mihin pystyttiin.

Tasapainotusta varten kampiakseli piti asettaa runkolaakerikauloistaan vapaasti pyörivien laakerirullien päälle. Kiertokangen, männän, männäntapin ja -renkaiden massaa (kuva 9) käyttäen laskettiin massa, joka oli poistettava kampiakselin kammenpolven puolelta. Seuraavaksi valmistettiin teräksestä lasketun massaisen apupaino, joka saatiin kiinnitettyä kammenpolveen.



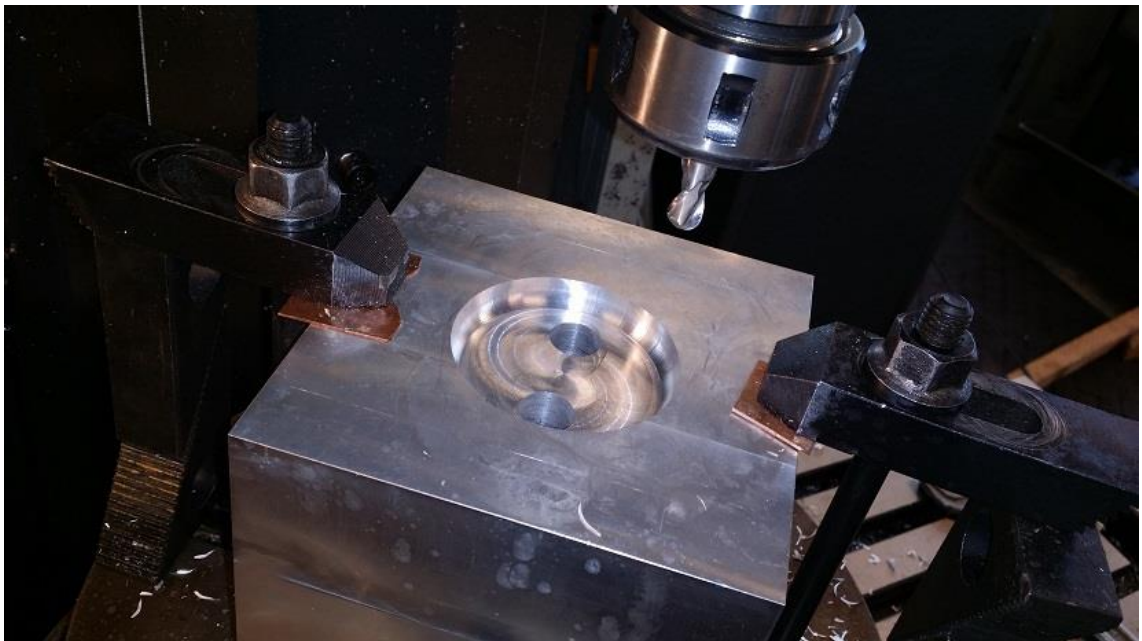
Kuva 9. Apupainon laskemiseen tarvittavat välineet.

Kampiakselista jouduttiin poistamaan vielä hieman materiaalia ensin jyrsimällä ja lopuksi kulmahiomakoneella, kunnes saatiin akseli pyörimään rullilla niin, että se pysähtyi aina eri kohtaan. Yksikään kohta akselilla ei siis ollut toista painavampi. Laskukaavalla saatu massa todennäköisesti kompensoi ainakin osittain myös männän ja kiertokangen edestakaista liikettä jättämällä vastapainon hieman raskaammaksi kuin kammenpolven puolen.

3.2.6 Sylinterikansi ja venttiilikoneisto

Sylinterikansi oli yksi työläimmistä osista. Kansi jysyttiin yhdestä 6000-sarjan suurikokoisesta alumiinineliotangon pätkästä. Aihio koneistettiin ensin ulkomitoiltaan oikeiksi ja mahdollisimman suoraksi. Tämän jälkeen se koneistettiin sivu kerrallaan valmiiksi. Sylinterikannen valmistus koostui lähinnä kannen yläpuolelta venttiilikoneiston tilasta, sivuilla olevista kierteistettävistä rei'istä, ja alapuolen palotilasta. Vaikka asetuksia jouduttiin tekemään monta, lopputuloksesta tuli hyvä, koska suurta tarkkuutta vaativia kohtia oli melko vähän. Kriittisimmät kohdat olivat venttiili-istukan ja -ohjaimen mitat ja keskilinjat. Myös nokka-akselin laakeripukkien urien oli oltava erittäin tarkkamittaiset.

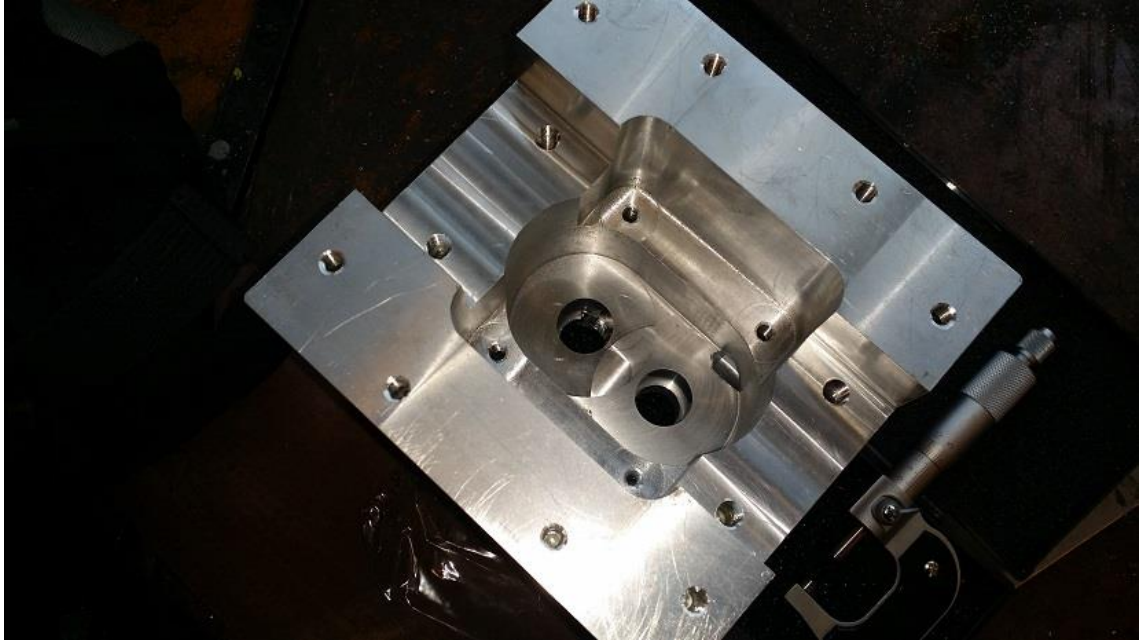
Haastetta sylinterikannen koneistamiseen loi se, ettei CNC-jyrsimen automaattikäyttö ollut toiminnassa. Kaikki koneistusvaiheet tehtiin siis manuaalisesti (kuvat 10-12).



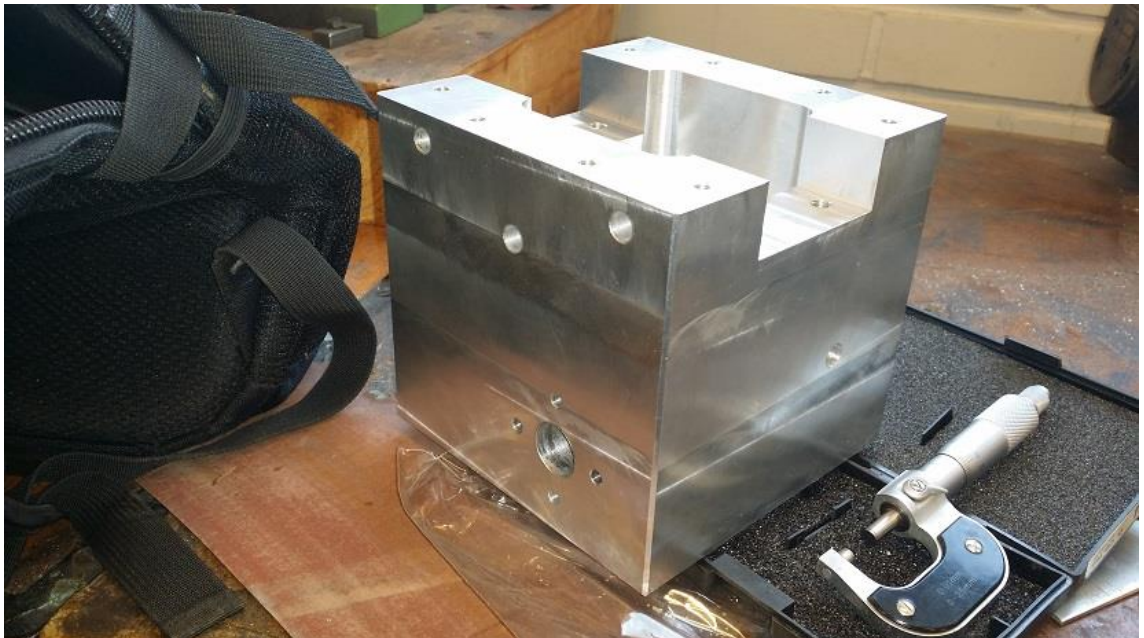
Kuva 10. Palotilan jysyntää.

Itse sylinterikannen lisäksi valmistettiin säteittäistuen hydraulisille nostimille tarjoava silta. Se tehtiin kokonaan CNC-ohjelmalla, lukuun ottamatta laakeriporausten viimeistelyhoonasta pienellä akkuporaan kiinnitetyllä hoonauslaitteella.

Tähän laakerisiltaan tulee painevoitelu sylinterikannen läpi poratusta reiästä. Kannen ja sillan väli tiivistettiin O-renkaalla. Sillan läpi porattiin myös reikä josta öljy pääsee valumaan lävitse.



Kuva 11. Sylinterikansi päältä.



Kuva 12. Sylinterikansi sivusta.

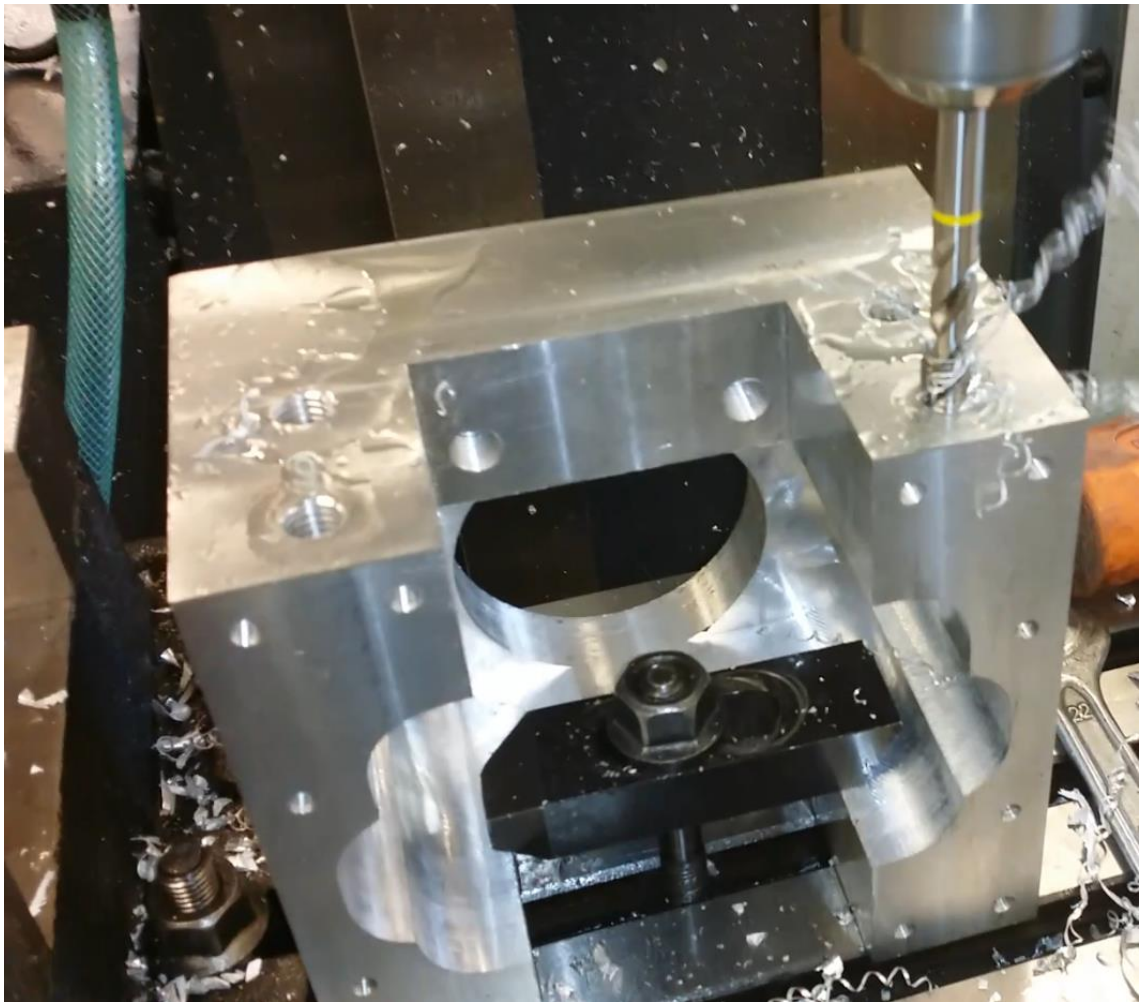
Koska venttiiliohjaimien sovite on erittäin tarkka ja sijaitsee vaikeassa kohdassa, päätettiin ohjaimien ympärille tehdä vielä toinen osa (kuva 13), jonka ulkohalkaisija saatiin sorvattua mielivaltaisen mittaiseksi sopivalla puristussovitteella. Voitiin siis tehdä sylinterikanteen sen mittaiset reiät, jotka oli helppo valmistaa. Osassa on olake, joka estää osaa painumasta liian syvälle sylinterikannen poraukseen. Tämä olake toimii samalla myös venttiilijousten alempana lautasena, estäen jousia kuluttamasta suoraan pehmeää alumiinia. Kun osat oli valmistettu, painettiin ensin ulommat osat kanteen, ja sen jälkeen itse ohjaimet paikalleen sopivaan syvyyteen.



Kuva 13. Ohjainosan sisäsorvausta muokatulla terävarrella.

3.2.7 Lohko

Myös moottorilohko valmistettiin yhdestä palasta 6000-sarjan alumiineliötan-
koa. Se oli valmistusteknisesti hyvin samankaltainen sylinterikannen kanssa.
Erona oli huomattavan suuri määrä poistettavaa materiaalia lohkon alapuolella.
Lisäksi runkolaakeripukkien pesät oli koneistettava erittäin tarkasti. Tavoitteena
oli pieni ahdistusovitus. Moottorin kiinnityskehto kiinnitetään lohkossa oleviin
M12-kierteisiin (kuva 14).



Kuva 14. Kierteentekoa lohkoon.

3.2.8 Mäntä

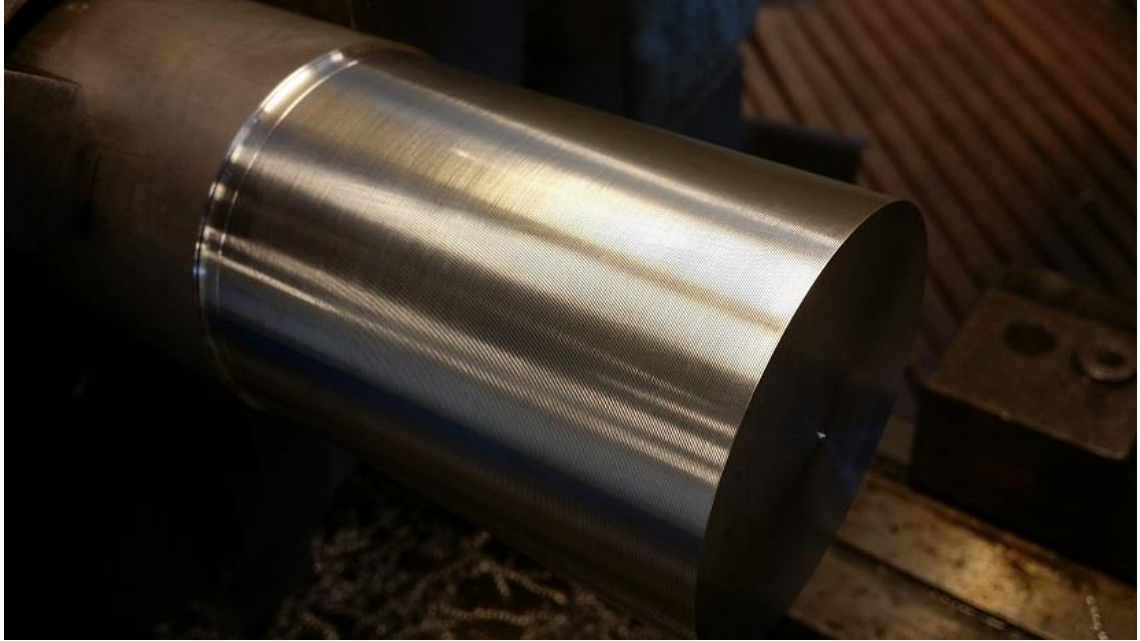
Mäntä on ehkä projektin kaikkein suurinta tarkkuutta ja huolellisuutta vaativa osa. Valmistus pyrittiin tekemään käyttäen mahdollisimman pientä määrää asetuksia ja näin pitämään virheet mahdollisimman pieninä. Valmistusta helpotti huomattavasti CNC-jyrsimen käyttö, mutta kappale on silti täysin mahdollista valmistaa manuaalikoneilla. Mäntä valmistettiin 70 mm paksusta 7075-alumiiniakselista.

Valmistus aloitettiin sahaamalla akselista reilun mittainen pätkä (kuva 15).



Kuva 15. Männän raaka-aiho sahauksessa.

Seuraavaksi aihio kiinnitettiin koulun 16K25-sorvin kolmileukaistukkaan ja sorvattiin ulkopinta valmiiksi lopulliseen mittaansa. Pinnanlaatu jätettiin tarkoituksella hieman karkeaksi. Tämä siinä toivossa, että voiteluöljy tarttuisi männän helmaan paremmin. Karhea pinnanlaatu toteutettiin korkealla syöttönopeudella ja pieninirkkoisella teräpalalla. Myös männän laki tasattiin. Suunnitelmista poiketen keskiosa sorvattiin hieman reunoja syvemmäksi. Tämä lähinnä siksi, että sorvin akselien suoruudesta ei ole varmuutta. Valmistuksen seuraavia vaiheita varten laen on parempi olla kovera kuin kupera, näin voidaan varmistaa männän tukeva kiinnittäminen ruuvipenkkiin.



Kuva 16. Männän ulkomitta sorvattuna.

Kun ulkopinta oli sorvattu mittaansa (kuva 16), oli vuorossa männänrenkaiden urien koneistus. Koska urien oli oltava hyvin kapeat, terä oli käsin hiottava pika-teräksestä. Rengasurien koneistus onnistui melko helposti tiukasta leveystoleranssista huolimatta (kuva 17). Männänrenkaita sovitettiin ja todettiin urat toivotun laisiksi. Lopuksi koneistettiin männän ulkohalkaisija rengasurien kohdalta hieman pienemmäksi kompensoimaan yläpään lämpölaajenemista. Lisäksi kevenys auttaa palokaasuja pääsemään männänrenkaan taakse puristamaan sitä kohti sylinterin seinämää. Laen terävään reunaan tehtiin samalla pieni pyöristys.



Kuva 17. Männänrengasurien sorvausta.

Kun sorvaustyöt oli saatu valmiiksi, aihio vietiin sahalle ja katkaistiin alapäästään hieman ylimittaiseksi (kuva 18).



Kuva 18. Männän aihio katkaistuna.

Männän alapään jyrsiminen aloitettiin asettamalla se huolellisesti ylösalaisin ruuvipuristimeen V-lohkon avustuksella. Puristinta ei kiristetty loppuun asti, joten säästettiin kiristysjäljiltä männän ulkopinnassa. Pehmikepaloja ei käytetty paremman tarkkuuden toivossa. Mäntä keskitettiin koneeseen karaan kiinnitetyn heittokellon avulla. Jyrsintään käytettiin koulun Dah Lih MCV 510 -CNC-jyrsinkonetta. Työstö aloitettiin lyhentämällä mäntä tavoitemittaansa. Seuraavaksi jyrsittiin pohjasta pois ylimääräinen materiaali (kuva 19). Männän alapuolta ei voitu koneistaa täysin piirustuksia vastaavaksi, joten työstöratioja jouduttiin hieman soveltamaan.

Alapinnan koneistus tehtiin kolmella eri työstövaiheella. Ensimmäisellä poistettiin pitkällä ohuella tappiperällä valtaosa materiaalista lähes öljyrenkaan uraan asti. Myös kiertokangen aksiaalisen laakeroinnin laakeripinnat koneistettiin. Seuraavaksi siirryttiin paksumpaan ja pidempään tappiterään, jolla päästiin vielä syvemmälle, mutta reunapyöristykset jouduttiin jättämään suuremmiksi. Kolmantena koneistettiin vielä männän alapäästä materiaalia pois ja tasattiin helman ulkoreunat.



Kuva 19. Männän alapuolen CNC-jyrsintää.



Kuva 21. Männän reiät valmiina.

Viimeinen vaihe oli porata öljyrenkaan uran pohjan läpi reikiä, että öljyrenkaan kaapima öljy pääsisi kulkemaan männän sisäpuolelle jäähdyttämään sitä. Reiät porattiin manuaalijyrsinkoneessa ruuvipuristimeen kiinnitettynä. Koska reikien etäisyys toisiinsa ei ollut kriittinen, mäntää käännettiin ruuvipenkissä silmämääräisesti. Valmis mäntä on esitetty kuvissa 22 ja 23.



Kuva 22. Valmis mäntä sivusta.



Kuva 23. Valmis mäntä alapäin.

3.2.9 Männäntappi

Vaikka männäntappi onkin nimensä mukaisesti vain yksinkertainen tappi, se ansaitsee silti oman kertomuksensa. Tapin ulkomitan ja pinnanlaadun on oltava erittäin tarkat. Tappi koneistettiin 25 mm:n akselista 42CrMo4–nuorrutusterästä. Akseli kiinnitettiin sorvin kolmileukapakkaan ja porattiin ensin reikä tapin keskelle massan vähentämiseksi ja rouhittiin ulkomitta. Seuraavaksi koneistettiin ulkomitta erittäin tarkasti mittaansa muutaman sadasosamillimetrin päähän tavoitteesta ja tappi katkaistiin mittaansa.

Tappiin tehtiin Kaarinan Karkaisutyöissä niin sanottu ”pitkä nitraus”, eli useamman kymmenen tunnin pintatypetys. ”Typetetyin kappaleen pintapaineen kestävyys on kohtalainen, pinnan taivutusväsymislujuus hyvä sekä pinnan liukuominaisuudet erinomaiset. Typetyksellä saadaan aikaan perusteräkseen verrattuna parempi pinnan kulutuskestävyys, pienempi kitka ja parempi väsymislujuus.” (Kaarinan Karkaisutyöt 2015.)

Typetyksen jälkeen kappale asetettiin sorviin kärkien väliin ja hiottiin hiomapaperilla pois viimeiset millin sadasosat (kuva 24).



Kuva 24. Männäntapin viimeistelyhiontaa.

3.2.10 Kiertokanki

Myös kiertokanki oli erittäin haastava valmistettava lähinnä erittäin tarkan alapäänsä vuoksi. Kiertokanki sai alkunsa 70 mm paksusta akselistä 7075-alumiinia. Aihiona käytettiin akselia, koska 7075-alumiinia ei ollut saatavilla lattana. Akselista sahattiin sopiva aihio, jonka päät tasattiin jyrsinkoneessa. Tasapäinen akseli asetettiin pitkittäin ruuvipuristimeen.

Työstäminen aloitettiin poistamalla suurin osa kappaleen yläosasta (kuva 25). Osa oli tarkoitus koneistaa niin, että sen keskikohta tehdään aihiona olevan akselin paksuimmasta kohdasta. Ahiosta jyrtsittiin materiaalia pois niin, että akselin keskikohdan yläpuolelle jäi puolet kiertokangen paksuudesta.

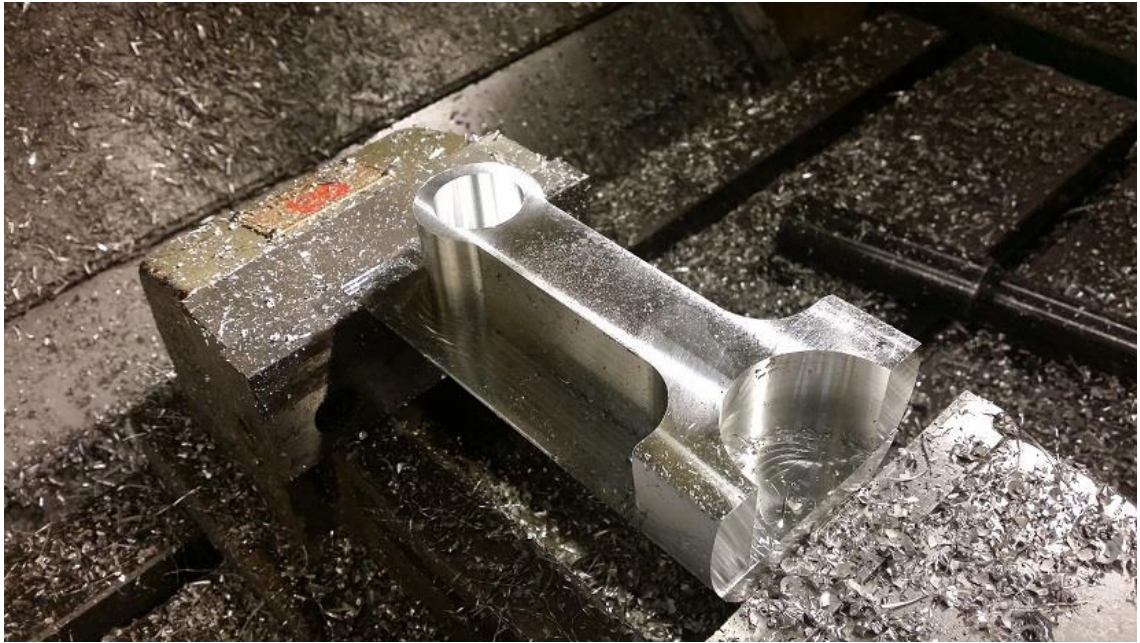


Kuva 25. Kiertokangen aihio jyrsinkoneessa.

Itse profiilin jyrsiminen tapahtui tämän jälkeen helposti yhdellä työvaiheella 14 mm:n tappiterällä (kuva 26 ja 27). Aihio oli hieman vajaamittainen, josta aiheutui alapään sivuihin pyöreä muoto. Tämä ei kuitenkaan haittaa. Piirustuksista jouduttiin kuitenkin hieman poikkeamaan alapään osalta.



Kuva 26. Kiertokangen ulkomuodon jyrsintää.



Kuva 27. Kiertokangen muodot valmiina.

Vastaavalla tavalla valmistettiin myös kiertokangen alapää. Kun rouhintajyrsintä oli valmis, kappaleet käännettiin ja poistettiin ylimääräinen materiaali takapuolelta. Seuraavaksi kappaleet asetettiin jyrsinkoneeseen ylösalaisin tarkasti mittakellolla. Reiät alapään kiinnityspulteille porattiin ja kierteistettiin, ja paikoitusholkeille jyrsittiin tarkat syvennykset. Samalla porattiin erikoispitkällä poranterällä kiertokangen varren läpi öljykanava männäntapille. Tarkkamittaiset paikoitusholkit sorvattiin messingistä.

Kun ylä- ja alapää saatiin kiinnitettyä tarkasti toisiinsa, viimeisteltiin kiertokangen sivut tavoitepaksuuteensa jyrsimällä. Seuraavaksi kiertokangas asetettiin sorvin tasolaippaan. Käytettiin Vertex-sorvin tasolaippaa jota ei kuitenkaan saatu sopimaan sorvin karalle riittävällä tarkkuudella. Päädyttiin asettamaan tasolaikka isomman 16K25-sorvin kolmileukapakkaan. Samalla selvisi, että tasolaipan pinta on sekä kiero että kovera. Tilanne saatiin korjattua sorvaamalla laipan taso suoraksi.

Kiertokangen yläpää keskitettiin mittakellolla pyörimään heitoitta (kuva 28) ja yläpään helan sovite sorvattiin tavoitemittaansa. Sama tehtiin alapäälle sillä erolla, että se koneistettiin Fiatin korjauskirjan mukaiseen, erittäin tarkkaan mittaan.

Käytännössä kiertokangen alapää vastaa mitoiltaan lähes täysin Fiat 903 cm³:n kiertokankea. Pienenä erona sovite Fiatin laakeriliuskoille tehtiin hieman alamittaiseksi kompensoimaan alumiinisen kiertokangen suurempaa lämpölaajenemista.



Kuva 28. Keskitystä tasolaippaan.

Seuraavaksi siirryttiin jyrsinkoneelle ja koneistettiin urat laakeriliuskojen lukitukseen. Viimeisenä sorvattiin yläpään hela ja prässättiin se paikoilleen. Sovitus männäntappiin on erittäin tarkka, joten sitä varten jätettiin vielä pieni viimeistelyvara. Täydellinen sovitus saatiin viimeistelyä hienolla hiomapaperilla. Kuvassa 29 on valmis kiertokanki.



Kuva 29. Kiertokanki valmiina.

3.2.11 Öljypumppu

Öljypumppu oli haastavimpien osien joukossa, sillä sen osien tuli olla erittäin tarkkamittaisia ja kooltaan melko pieniä. Osia on myös melko monta.

Pumpun hammaspyörät tilattiin valmiiksi hammastettuina ja esiporattuina. Keski-reiän lisäksi myös leveyttä oli muutettava.

Työstö suoritettiin omalla 11611P-sorvillani, joka on erinomainen myös pienten tarkkamittaisten osien työstämiseen. Sorvin pakka irrotettiin ja karan MK4-kartiin asetettiin ER40-holkki-istukka. Ratas asetettiin sen ulkohalkaisijan kokoiseen holkkiin jossa se saatiin pyörimään lähes heitoitta (kuva 30).



Kuva 30. Hammaspyörien muokkausta.

Aluksi ratas kavennettiin haluttuun mittaan. Seuraavaksi sorvattiin tarkasti keski-reikä pikateräksestä hiotulla pienellä sisäterällä. Vetorattaalle tehtiin kahden sadasosamillimetrin ahdistusovite ja toisorattaalle kahden sadasosan vällys. Lopuksi rattaiden sivut viimeisteltiin tasohiomalla (kuva 31).



Kuva 31. Hammaspyörien sivujen hiontaa.

Pumpun runko tehtiin pätkästä paksua reilunmittaista S-355 -lattarautaa. Aihio kiinnitettiin jyrsinkoneen ruuvipenkkiin, ja rungon ulkomitat koneistettiin hieman ylimittaisiksi. Seuraavaksi porattiin reiät M4-kierteitä varten, reiät kierteistettiin, ja suunnitelmista poiketen porattiin lisäksi kaksi reikää paikoituspinneille. Lopuksi porattiin hammaspyörien akseleiden reiät likimittaisiksi ja kalvittiin ne tarkoiksi sopivan toleranssin kalvimella.

Runko käännettiin ruuvipenkissä ja koneistettiin pois alapuolelle jäänyt ylimääräinen materiaali. Lisäksi pumpun takapuolelle porattiin reiät sisään- ja ulostuloputkien kierteille ja kierteistettiin ne. Osa käännettiin vielä kerran ja porattiin pumpun kiinnityspulteille reiät kantaupotuksineen.

Tämän jälkeen siirryttiin manuaalijyrsinkoneelle, jonka pöydälle asetettiin pyöröpöytä. Öljypumpun runko-osa keskitettiin ensin pyöröpöydän akseliin käyttämällä akselireikien keskittämistä varten tehtyä tarkkamittaista tappia ja magneettijalokaista mittakelloa (kuva 32).



Kuva 32. Keskitystä.

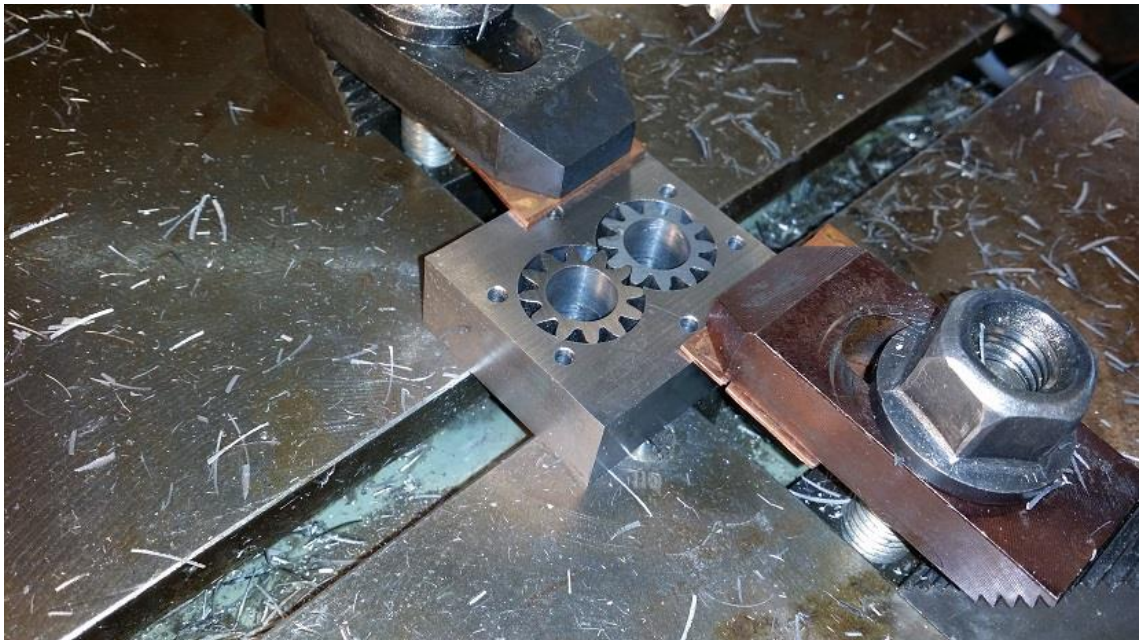
Seuraavaksi keskitettiin koneen kara pyöröpöydän karan kanssa.

Käyttämällä 10 mm:n tappijyrsintä 5,5 mm:n jyrsimiseksi keskiön sivusta saatiin haluttu 21 mm:n aukko hammaspyörää varten (kuva 33).



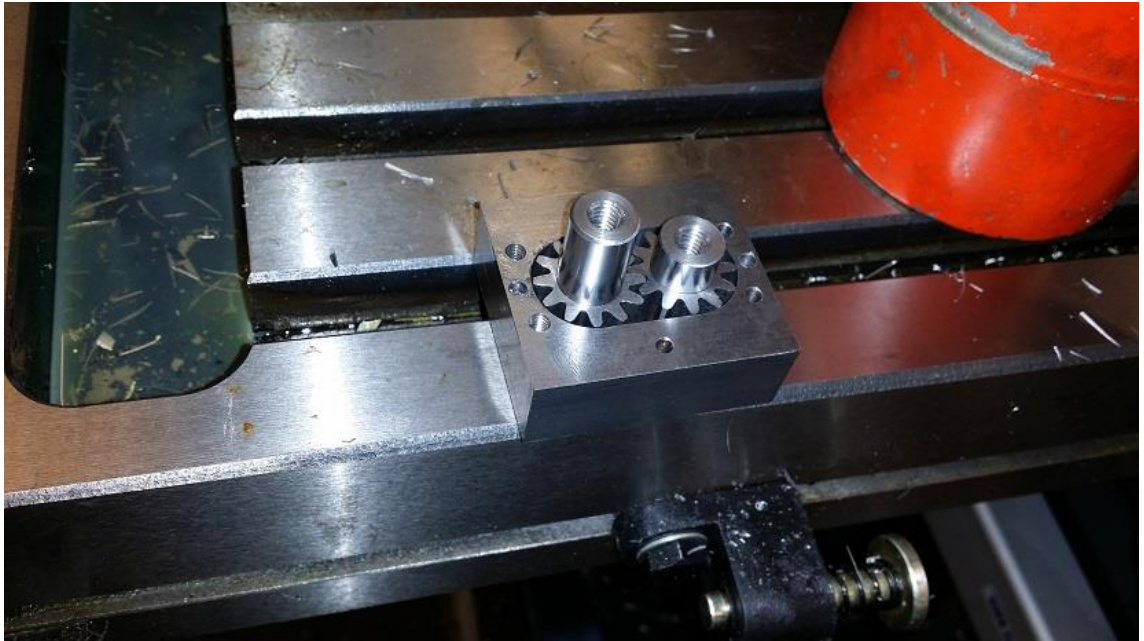
Kuva 33. Öljypumpun rungon jysintää.

Sama keskitys toistettiin toisen hammaspyörän keskiön kanssa. Sopivuus testattiin rattaiden kanssa (kuva 34 ja 35).



Kuva 34. Öljypumpun osien koesovitus.

Lopuksi koneistettiin hammaspyöräaukkojen väliin jäänyt ylimääräinen materiaali pois ja sovitettiin hammaspyöriä akseleiden kanssa. Aluksi rattaat pyörivät nihkeästi, mutta paineilmalla sai käytettyä pumppua suurella nopeudella. Näin pumppu saatiin sisäänajettua, jonka jälkeen se pyöri vapaasti.



Kuva 35. Öljypumpun osien sovitus akseleiden kanssa.

Seuraavaksi koneistettiin runko-osan koordinaatteja ja työkaluja apuna käyttäen pumpun kansi. Poikkeuksena ruuvinreiät joissa käytettiin 4,5 mm:n poranterää M4-ruuveille.

Lopuksi sekä rungon että kannen tiivistepinnat hiottiin tasaisiksi tasohiomalla.

Pumpun rungon ja kannen valmistamista olisi helpottanut erittäin paljon CNC-jyrsinkoneen käyttö. Kone oli kuitenkin tähän aikaan huollon tarpeessa. Valmistus onnistui kuitenkin manuaalikoneillakin riittävällä tarkkuudella, vaikkakin suurella vaivalla.

Hammaspyörien akselit valmistettiin kovakromipintaisesta 12 mm:n Cromax-akselista jota käytetään muun muassa hydraulisylinterien männänvarsissa. Akselit sorvattiin sopivan mittaisiksi ja päihin koneistettiin M6 kierteet (kuva 36).



Kuva 36. Öljypumpun akselin pään kierteistämistä.

Ensiöakselin lyhempään päähän ja toisioakselin molempiin päihin valmistettiin pienet, hieman akselin halkaisijaa suuremmat ruuvikiinnitteiset lautaset jotka pitävät akselit paikallaan niiden akselien suunnassa.

Viimeisenä valmistettiin pumpun valurautaiset käyttöhammaspyörät. Ne muokattiin koulun varastosta löytyneistä moduulin 2 hammasrattaista. Ensiöratas toimii myös kampiakselin aksiaalisen laakeroinnin laakeripintana ja kiinnittyy kampiakseliin kolmella ruuvilla. Keskityksen ratas saa keskireikänsä runkolaakerin kaulasta. Toisioratas kiinnittyy pumpun ensiöakseliin ahdustusovitteella ja Loctite-lukitteella.

Pumpun osat asennettiin yhteen vetoratasta lukuun ottamatta ja kuori viimeisteltiin tasohiomalla jokainen sivu.

3.2.12 Kannentiiviste

Kannentiiviste tehtiin 2 mm:n paksuisesta kuparipelistä. Malliltaan tiiviste on pyöreä laippatiiviste. Tiivisteitä valmistettiin kaksi kappaletta. Valmistus tapahtui sor-

vaamalla. Ensin oli kuitenkin valmistettava pidike, jossa kuparipeltiä voitiin sorvata. Pidike on käytännössä kuppi, jonka neljässä kulmassa on kierteet, joihin neliskulmainen pellinpala saadaan kiinnitettyä. Terälle on tilaa pellin takana olevassa syvennyksessä. Pidike valmistettiin jämälaatikosta löytyneistä paloista.

Itse tiivisteiden työstö sujui helposti ja nopeasti kapealla pikateräksestä valmistetulla aksiaalipistoterällä (kuva 37). Sisäpinnan jäysteet saatiin pyöristettyä sorvattaessa mutta ulkopinta oli viimeisteltävä käsin viilalla.



Kuva 37. Kannentiivisteiden sorvausta.

Viimeiseksi tiivisteet pehmenyshehkutettiin happi-asetyleenipolttimella. Ensin harjoiteltiin hehkuttamista jämäpalalla ja todettiin tiivisteiden olevan pehmenneet kun kuparin väri oli käynyt punahehkuisena. Samaa tekniikkaa sovellettiin itse tiivisteisiin ja todettiin kuparin pehmenneen.

3.2.13 Sylinterikannen pultit

Pinnapultit sylinterikannen ja lohkon välille valmistettiin 25 mm paksusta akselistä 42CrMo4–nuorrutusterästä. Aluksi sorvattiin pultin pyöreä aihio kannalle, varrelle

ja kierteille kevennyksineen. Seuraavaksi siirryttiin jysinkoneelle, jossa pyöröpöydän avustuksella jysittiin kuusikulmainen kanta 21 mm:n avaimelle (kuva 38).



Kuva 38. Kannenpultti ilman kierteitä.

Tämän jälkeen siirryttiin takaisin sorville, jossa koneistettiin M14x1,5 kierteet. Lähempänä kantaa oleva kierre on vasenkätinen ja toinen oikeankätinen. Kierretellä tehtiin myös viisteet vääntökannan reunoihin ja kierteiden alkupäihin.

3.2.14 Öljypohja ja venttiilikoppa

Venttiilikoppa ja öljypohja valmistettiin alumiinilevystä leikkaamalla ja hitsaamalla. Laippaosat kiinnitysreikineen koneistettiin yhdestä palasta paksua latta-tankoa. Itse kopan seinämät leikattiin 3 mm vahvuisesta alumiinilevystä, ja TIG-hitsattiin kiinni laippoihin. Lopuksi kiinnityspinnat suoristettiin jysinkoneella.

3.2.15 Runkolaakeripukit ja nokka-akselin laakeripukit

Laakeripukit aiheuttivat hieman ongelmia, sillä niiden on oltava erittäin tarkkamittaiset. Pukkien ulkomittojen on oltava hyvin mittatarkat, mutta reunojen myös täysin suorakulmaiset toisiinsa nähden. Lisäksi täsmälleen pukin keskelle ja täsmälleen suoraan oli saatava tehtyä pesä pronssisille liukulaakeriholkeille. Jos pukki olisi väärän mittainen tai vino, ei laakeroinnin linja täsmäisi kampiakselin keskilinjan kanssa. Tämä aiheuttaisi nopean kulumisen. Pukkien rungon materiaali on rakenneteräs ja laakerimateriaali alumiinipronssi.

Valmistus päätettiin suorittaa CNC-jyrsimällä. Näin saatiin koneistettua, takasivua lukuun ottamatta, kaikki mitat tarkasti yhdellä asetuksella. Aihiona oli 100 mm:n vahvuinen umpiakseli S355 rakenneterästä. Materiaalin rouhinta sujui nopeasti kovametalliterällä. Viimeistely tehtiin pitkällä pikaterästerällä ottamalla useampi ohut lastu. Kun ohjelma oli valmis, kappale käännettiin ja jyrsittiin takapuolelta materiaalia pois kunnes paksuus oli haluttu.

Seuraavaksi siirryttiin koulun pienelle Vertex-kärkisorville. Pukki asetettiin istukkaan pyörimään sisäreiästään, jolloin päästiin koneistamaan reiän takapuolelle pesä akselitiivisteelle ja ura sen lukkorenkaalle. Samalla pyöristettiin CNC-koneen jättämät terävät reunat.

Sorvaamisen jälkeen vuorossa oli reikien poraus M12-kiinnityspulteille. Tämä tehtiin manuaalijyrsinkoneessa asettamalla pukit vierekkäin koneruuvipuristimeen. Reiät porattiin tarkasti ja niiden yläpään tehtiin upotukset kuusiokoloruuvien kannoille. Toiseen runkolaakeripukkiin koneistettiin myös M6-kierteet öljypumpun kiinnittämistä varten.

Kun pukkien rungot oli viimeistelty, sorvattiin pronssiset laakeriholkit (kuva 39). Laakerit rouhittiin lähes tavoitemittoihinsa, ja annettiin jäähtyä. Lämmön tasaannuttua koneistettiin ulkomittaan ahdistusovite, ja sisäpuolelle liukusovite kampiakselin kaulalle. Valmiit laakeriholkit prässättiin paikoilleen. Voiteluöljykanavat porattiin läpi pukkien sivuista ja sorvattiin niiden kohdalle syvennykset koko laa-

kerin ympäri. Viimeisenä laakerien sisäpinnat hoonattiin tavoitemittoihinsa pienellä porakonekäyttöisellä hoonaustyökälulla. Kuvassa 40 on esitetty laakeripukin runko, laakeri, tiiviste ja lukkorengas.



Kuva 39. Pronssinen laakeriholkki.



Kuva 40. Runkolaakeripukki osineen.

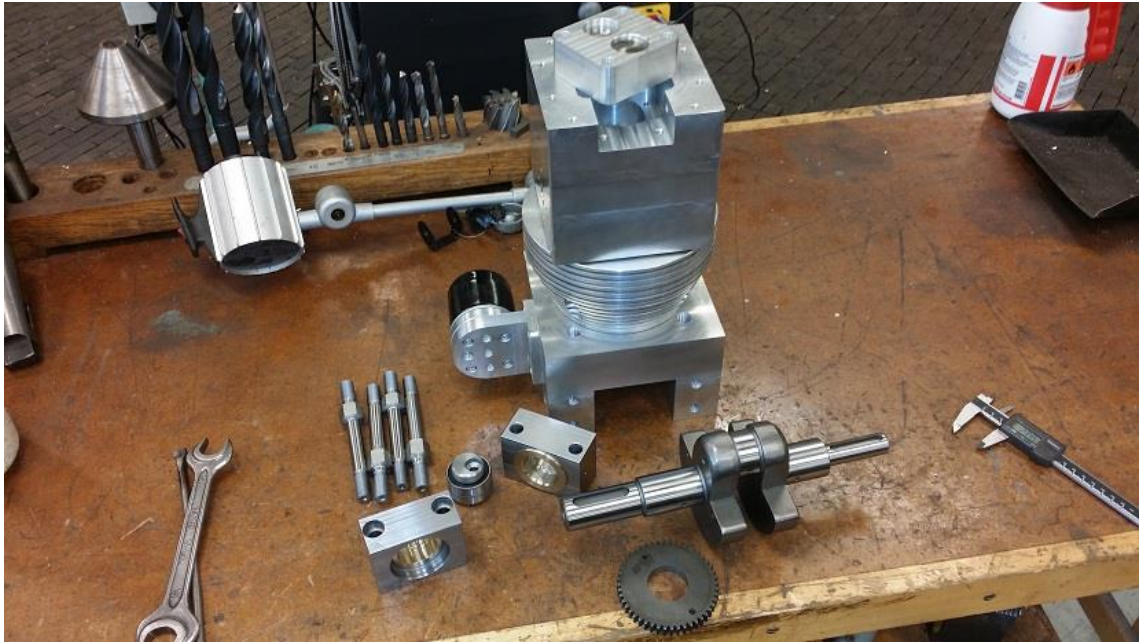
Nokka-akselin laakeripukit valmistettiin samalla menetelmällä. Erona ainoastaan se, että öljytiivisteiden ja lukkorenkaiden pesät urineen piti sorvata nelileukaistukassa, koska laakeripukin sisäreikä oli niin pieni, ettei siitä saanut otetta kolmileukapakalla.

4 KOKOONPANO

Kun projektiin käytettävissä oleva aika oli käytetty loppuun, muutamien osien viimeistely oli vielä kesken. Niinpä moottorin kokoonpano saatiin viimeistelyä vasta tekstiosuuden palauttamisen jälkeen. Osa kokoonpanosta saatiin kuitenkin jo tehtyä. Esimerkiksi koko kampikoneisto on valmis (kuva 41). Myös moottorin pääosia soviteltiin toisiinsa. Jonkin verran työtä kuitenkin vaaditaan vielä ennen kuin moottori alkaa näyttää valmiilta (kuva 42).



Kuva 41. Mäntä ja kiertokanki heloineen ja liuskoineen.



Kuva 42. Mallisovittelua.

5 LOPPUMIETTEET JA PÄÄTELMÄT

Jo suunnitteluvaiheen alussa oli ilmeistä, että projekti tulisi olemaan erittäin työläs ja kenties jopa mahdoton toteuttaa. Suunnitteluvaihe eteni kuitenkin odotetusti ja alkuperäisessä ideassa ja aikataulussa pysyttiin melko hyvin. Pieniä myönnytyksiä jouduttiin tekemään valmiiden osien käytön suhteen. Joitakin itse tehtäviä osia kuitenkin myös kehitettiin pidemmälle ja monimutkaisemmiksi. Suunnittelun lopputulos oli ehkä jopa hieman monimutkaisempi mitä oli toivottu. Samalla pelko valmistusvaiheen ajan riittävydestä oli hieman kasvanut.

Kaiken kaikkiaan suunnitteluvaihe onnistui kuitenkin erittäin hyvin ja myös valmistui ajallaan. Olisi ollut vielä mielekkäämpää saada tutustua joihinkin aiheisiin hieman syvällisemmin. Kuitenkin jo tässä ajassa ehdittiin kerätä aivan riittävästi tietoa prototyypimoottorin valmistamiseen.

Valmistusvaihe alkoi vuodenvaihteen jälkeen ja jatkuu vielä kesäkuun loppuun asti, vaikka työn tekstiosuus onkin jo palautettava. Valmistuksen alkupäässä oli vaikeuksia saada kulkukortti koulun konepajalle. Joitakin osia pystyttiin kuitenkin jo valmistamaan kirjoittajan omalla pajalla. Toden teolla valmistus kuitenkin alkoi vasta helmikuun puolessa välissä.

Kun kulkulupa oli saatu, valmistus tapahtui pääosin parina vapaapäivänä viikossa ja iltaisin työn lomassa. Kun kiireen todellisuus alkoi hahmottua, viimeisen kuu-kauden vapaapäivät vietettiin koululla aamusta iltamyöhään. Kuitenkaan kaikkea ei ehditty saada tavoiteaikataulussa valmiiksi.

Työn tavoitteena oli käytettävissä olevalla ajalla, rahoituksella ja tiedolla suunnitella ja valmistaa toimiva polttomoottori. Vaikka olenkin tyytyväinen lopputulokseen, lopullinen tavoite eli moottorin valmistuminen tavoiteaikataulussa jäi saavuttamatta. Ongelmaksi jäi loppujen lopuksi aika. Koulu henkilökuntineen tarjosi huomattavan määrän apua monin keinoin. Apua saatiin myös monesta muusta lähteestä. Kuitenkin, koska aikaa olisi voinut olla käytettävissä enemmän, suurin

ongelma lienee siinä, että aikaa oli käytettävissä suunniteltua vähemmän. Joitakin osia jouduttiin myös tekemään kahteen kertaan epäonnistumisten takia. Pääosin itse valmistustyöskentely sujui kuitenkin ongelmitta.

Myös työn raportointi jäi hieman toivottua heikommaksi ajan puutteen vuoksi. Tarkoituksena oli sekä suunnittelu- että rakennusvaiheissa kirjata ja kuvata heti saavutettu edistys. Tässä kuitenkin oli tyydyttävä hieman toivottua vähempään, vaikka melko paljon materiaalia saatiinkin taltioitua. Varsinkin suunnitteluvaiheesta olisi voinut saada enemmän mietteitä kirjoitettua muistiin. Syynä tähän on ainakin se, että työtä tehtiin niin suurella innolla ja vauhdilla, että raportointi oli välillä unohtua.

Kaikesta huolimatta, koska suunnitteluvaihe onnistui lähes täysin suunnitelmien mukaan ja suurin osa valmistuksesta, mukaan lukien kaikki monimutkaisimmat ja tärkeimmät osat, saatiin tehdyksi, on lopputulokseen oltava tyytyväinen. Myös kirjoittajan henkilökohtainen tavoite haastaa itsensä ja oppia uutta koneenrakentamisesta ja valmistustekniikasta, tuli täytettyä vähintään toivotussa määrin.

6 YHTEENVETO

Työn aiheena oli toimivan polttomoottorin suunnittelu ja rakentaminen. Aihe oli lähtökohtaisesti haastava, ja tavoitteena oli valmiin moottorin aikaansaamisen lisäksi ammentaa se oppi ja kokemus, joka tällaisesta prosessista voidaan saada.

Lopputuloksena syntyi 1-sylinterinen 236 cm³:n ilmajäähdytteinen ottomoottori, jonka sylinterin halkaisija on 68 mm, iskun pituus 65 mm, puristussuhde noin 9:1 ja arvioitu moottoriteho 3 - 5 kW / 3000 1/min.

Moottorin suunnittelussa pyrittiin yksinkertaiseen rakenteeseen, helppoon valmistettavuuteen, valmiin tuotteen huollettavuuteen, kestävyYTEEN ja varmatoimisuuteen. Työ kattoi perusmoottorin suunnittelun ja valmistamisen. Siihen kuuluivat pääosin moottorin lohko, sylinteri, sylinterikansi, venttiilikoneisto, mäntä, kampikoneisto ja voitelujärjestelmä.

Moottori valmistettiin lastuavilla työmenetelmillä. Keskimäärin osat olivatkin valmistuksen vaikeustasoltaan hyvin haastavia. Suurilta osin siksi, että kaikki joudutaan valmistamaan ns. billettinä, eli täysin koneistettuna. Jos moottoria alettaisiin sarjavalmistaa, lähes kaikki osat kannattaisi valmistaa valamalla, jolloin koneistuksen määrä ja hukkamateriaali jäisi oleellisesti pienemmäksi.

Ainoat tehdasvalmisteiset osat olivat nokka-akseli (autonmoottorista modifioituna) sekä muut venttiilikoneiston osat sekä männänrenkaat. Myös öljypumppu valmistettiin itse.

Valmistettavuuden helpottamiseksi sekä toiminnallisuuden varmistamiseksi suunnittelussa päädyttiin muutamaaan epätavalliseen rakenneratkaisuun. Näitä ovat yksiosaiset ympyrämäiset laakeripukit sekä kampi- että nokka-akselille, sylinterinkannen ulkosyrjille sijoitetut näkyvillä olevat kansipultit sekä sylinterilohkon ulkopuolinen putkitus voiteluöljyn kierrolle.

Tätä kirjoitettaessa moottorin viimeisten osien valmistus sekä loppukokoonpano on vielä kesken, joten käyttökokemuksia ei tässä vaiheessa voida valitettavasti raportoida.

7 KIITOKSET

Lopuksi tahdon kiittää muutamia henkilöitä ja yrityksiä jotka ovat auttaneet projektissa ja käytännössä tehneet sen mahdolliseksi.

Ensimmäisenä tahdon kiittää avopuolisoani, Pauliina Arosta, joka on koko lukuvuoden kärsivällisesti käyttänyt suuren määrän omaa vapaa-aikaansa asioihin, joita minä en työtä tehdessäni ole ehtinyt hoitaa. Lisäksi hän on ollut suoraan edistämässä projektia monin tavoin.

Seuraavaksi kiitän työn ohjaajaa, Markku Ikosta, joka on monin tavoin auttanut projektia. Ilman hänen apuansa ja kannustustansa työ olisi jäänyt tekemättä.

Haluan kiittää myös Tommi Metsoa hänen avustaan suunnitteluun liittyvissä asioissa. Kiitän Pekka Kärkkäistä, Mika Seppästä ja Aarni Anderssonia koulun konepajaan liittyvissä asioissa.

Kiitän Reijo Virkkiä ja Janne Lappia osallistumisesta työhön omilla osuuksillaan ja avustamisesta minunkin osuudessani.

Yrityksistä tahdon ensimmäisenä kiittää Turun Ammattikorkeakoulu Oy:tä rahoitusavussa, joka helpotti projektia erittäin paljon.

Kiitän Kaarinan Karkaisutyöt Oy:tä erinomaisesta avusta niin neuvonnassa kuin sovittujen töiden suorittamisessa. Yhtä hyvää, ystävällistä, nopeaa ja aidosti kiinnostunutta palvelua ei saa muualta.

Kiitän myös Armachine Oy:tä mahtavasta avusta ja toiminnasta koneistustöihin ja suunnitteluun liittyen.

Kiitän K1-Katsastajat Oy:tä ja Joni Järvelää joustavuudessa vapaapäivien ja vuoromuutosten suhteen.

8 LÄHTEET

Eerola O.E. 1976. Polttomoottorit, toinen painos, Jyväskylä: Gummerus Oy

Kaarinan karkaisutyöt 2015. Typetys (nitraus). Viitattu 4.6.2015

<http://www.karkaisu.fi/index.phtml/art/10328/t/articles1>

Taylor C.F. 1989. Internal-Combustion Engine in Theory and Practice, Cambridge: MIT Press

Multum Ky 1990. Nissan Micra, korjausopas, 1. painos, Tampere: Multum Ky