



Eemeli Kittilä

Vierasvaihteiston suunnittelu- ja muutostyö

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikka

Insinöörityö

15.12.2025

Tiivistelmä

Tekijä: Eemeli Kittilä
Otsikko: Vierasvaihteiston suunnittelu ja muutostyö
Sivumäärä: 22 sivua
Aika: 15.12.2025

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Ajoneuvotekniikka
Ammatillinen pääaine: Ajoneuvosuunnittelu
Ohjaajat: Projekti-insinööri Aapo Tapaninen

Tämän opinnäytetyö tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa vierasvaihteiston muutostyö ajoneuvoon, johon ei alkuperäiseltä valmistajalta ollut saatavilla kestävää ja kohtuullisen hintaista vaihteistoa moottorin tehoa lisättäessä. Vaihteistomuutos toteutettiin hitsaamalla. Vaihteistomuutoksen mittatarkkuuden ja akselilinjan suoruuden varmistamiseksi valmistettiin hitsausjigi, joka myös helpottaa työn toistettavuutta tulevaisuudessa.

Työssä hyödynnettiin 3D-mallinnusta apuna hitsausjigin osien suunnittelussa sekä sovellettiin erilaisia mittaustekniikoita ja -välineitä riittävän tarkkuuden saavuttamiseksi lopputuotetta valmistettaessa.

Tutkimusosassa suoritettiin hitsattaville materiaaleille analyysi, jotta hitsaukseen saatiin valittua oikea lisäaine. Lisäksi vertailtiin eri hitsausmenetelmiä ja tutkittiin, mikä niistä soveltui parhaiten työn toteutukseen. Työssä pyrittiin valmistamaan tuote, jolla sellaisenaan oli mahdollista korvata alkuperäinen heikoksi todettu komponentti.

Työn lopputuotteena saatiin asennusvalmis, kestävä ja kustannustehokas vaihteisto, sekä työn toistettavuutta, ja haluttaessa kaupallistamista tulevaisuudessa helpottava hitsausjigi. Tähän mennessä tapahtuneessa käytössä ei ole toiminnassa havaittu ongelmia.

Avainsanat: Vaihteistomuutos, hitsaus, koneistus, materiaalianalyysi

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Eemeli Kittilä
Title: Adapting Car Transmission to Engine from Different Manufacturer
Number of Pages: 22 pages
Date: 15 December 2025

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Automotive Engineering
Professional Major: Automotive Design Engineering
Supervisor: Apoo Tapaninen, project Manager

The objective of this thesis was to design and implement a transmission modification for Mercedes-Benz OM-604 engine. The original manufacturer did not offer a durable and reasonably priced transmission when increasing the engine power.

The transmission modification was carried out by welding. To ensure dimensional accuracy and proper alignment of the shaft line, a welding jig was manufactured, which was also used for facilitating the repeatability of the work in future applications. 3D modeling was utilized in the design of the welding jig components. Various measurement techniques and instruments were applied to achieve the required accuracy in the final product.

In the research section, an analysis of the materials to be welded was conducted so that the appropriate filler material could be selected. Different welding methods were compared to determine which was best suited for the implementation. The aim was to produce a component that could directly replace the originally weak part.

As the outcome of the work, an installation-ready, durable, and cost-effective transmission was produced, along with a welding jig that facilitates repeatability of the work and, if desired, future commercialization. No operational issues have been observed in use so far.

Keywords: Transmission modification, machining, welding, material analysis

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Lähtötilanne ja alkuperäinen rakenne	1
3	Uuden vaihteiston valinta ja vertailu	2
3.1	Vaihteiston valintaperusteet	2
3.2	Vaihteistovaihtoehdot	2
3.3	Valinnan perustelut ja yhteenveto	4
4	Hitsausjigin suunnittelu ja valmistus	5
4.1	Jigin suunnitteluperiaate ja tarkoitus	5
4.2	Mittaustekniikat ja tarkkuusvaatimukset	7
4.3	3D-mallinnus ja simulointi	8
4.4	Materiaalivalinnat ja komponentit	9
4.5	Osien koneistus	11
5	Hitsaus ja materiaalitestit	12
5.1	Hitsausprosessin valinta	13
5.1.1	Materiaalien analyysi	13
5.1.2	Lisäaineen valinta	14
5.2	Koehitsaukset	14
5.3	Hitsauksen toteutus	16
6	Toteutus ja tulokset	17
6.1	Vaihteiston asennus ja sovitus	17
6.2	Valmiin rakenteen toimivuus	19
6.3	Kustannuslaskelma	20
7	Yhteenveto	21
7.1	Työn onnistumisen arviointi	21
7.2	Työn hyödynnettävyys ja vaikutukset	22
	Lähteet	23

Lyhenteet

CAD: Computer-aided design, tietokoneavusteinen suunnittelu

MIG: Metal Inert Gas, kaarihitsaus inertillä kaasulla

TIG: Tungsten Inert Gas, volframikaarihitsaus inertillä kaasulla

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö käsittelee ajoneuvon alkuperäisen vaihteiston korvaamista vierasvaihteistolla ja tarvittavan muutostyön suorittamista.

Muutostyön laadun varmistamiseksi, sekä toistettavuuden mahdollistamiseksi suunnitellaan ja valmistetaan hitsausjigi. Hitsaamalla toteutettavan muutoksen takia perehdyttiin hitsauksen teoriaan, materiaalianalyysiin ja lisäaineiden sekä hitsaustavan valintaan.

Jigin osalta perehdyttiin erilaisiin mittaustekniikoihin, mittausvälineisiin ja koneistuksen teorioihin, jotka olivat avainasemassa mittatarkkaa kappaletta suunniteltaessa ja valmistettaessa.

Tutkimusosuudessa tarkasteltiin vierasvaihteiston valintaan vaikuttaneita tekijöitä kustannusten, saatavuuden ja saavutettujen hyötyjen näkökulmasta.

Moottorin tehoa lisättäessä merkittävästi on voimansiirron eri komponenttien kestävyys avainasemassa sekä kilpa- että siviiliautoilussa. Työssä selvitettiin, oliko käytössä toiminnaltaan epävarmaksi todettu komponentti järkevää korvata vierasperäisellä ja oliko saavutettu hyöty riittävä suhteessa kulutettuihin resursseihin. Lisäksi selvitettiin, oliko muita hyötyjä kuin kestävyys, kuten esimerkiksi välitysten muuttaminen edullisemmiksi moottorin käytettävyyden parantamiseksi tai varaosien saatavuus.

2 Lähtötilanne ja alkuperäinen rakenne

Opinnäytetyön esimerkki ajoneuvona käytettiin 80- ja 90-luvulla valmistettua Mercedes-Benz W201 -henkilöautoa, johon oli tehty laajoja muutoksia voimalinjaan, jonka seurauksena moottorin tuottama teho oli kaksinkertaistunut ja vääntö kolminkertaistunut alkuperäisestä. Alkuperäisen OM604-moottorin teho oli ollut 90 hevosvoimaa ja vääntömomentti 140Nm. [1].

Tarpeen muutostyölle määritti alkuperäinen, useita kertoja rikkoutunut vaihteisto, joka lisääntyneen vääntömomentin ja tehon myötä oli osoittautunut todella epäluotettavaksi.

3 Uuden vaihteiston valinta ja vertailu

3.1 Vaihteiston valintaperusteet

Sovitettavan vaihteiston valintaperusteisiin kuului tässä työssä olennaisesti kustannukset. Muita ominaisuuksia olivat fyysinen koko, välityssuhteen sopivuus muihin voimalinjan komponentteihin, sekä luonnollisesti vaihteiston kestävyys.

3.2 Vaihteistovaihtoehdot

Koska tavoitteena oli saada ajoneuvoon kestävä vaihteisto, tehtiin tutkimusta siitä, mitä vaihtoehtoja alkuperäisen vaihteiston korvaamiseksi oli olemassa, sekä mitä hyviä ja huonoja puolia niissä oli. Mercedeksellä on olemassa omilla ajoneuvoissaan käytössä olevia kestävämpiä vaihteistoja, jotka olisivat olleet käyttökelpoisia ja asennettavissa ilman mittavaa muutostyötä.

Getrag 717.404

Näistä ensimmäinen vaihtoehto olisi ollut w201-korimallin Cosworth-malleissa käytössä ollut Getragin valmistama 717.404-vaihteisto, joka on 5-vaihteinen manuaalivaihteisto, ja sopii suoraan esimerkkiautoon ilman muutoksia. Tässä ongelmaksi muodostui vähäinen valmistusmäärä, ja sen seurauksena todella korkea hinta ja heikko saatavuus.

716.654

Toinen Mercedeksen käyttämä, pienin muutostöin soveltuva kestävä vaihteisto olisi ollut w210-korimallissa käytössä ollut 716.654, uudempien yhteispaineruiskutusdieseliin kanssa käytössä ollut 6-vaihteinen manuaalivaihteisto. Tämä

vaihteisto olisi asennettavissa sylinteriryhmään ilman muutoksia, mutta kaksois-massavauhtipyörästä johtuvan väärän mittaisen kytkinakselin takia olisi vauhtipyörä sekä kytkin jouduttu vaihtamaan sopiviin. Tässä ongelmaksi olisi tullut myös huono saatavuus vähäisen valmistusmäärän takia sekä vaihteiston suuri fyysinen koko, joka olisi vaatinut muutostöitä ajoneuvon koriin sekä erityyppinen vaihteenvaihtin.

ZF GS6-37DZ

Kolmas vaihtoehto oli BMW:n 5- ja 3-sarjoissaan käyttämä ZF:n valmistama GS6-37DZ, joka on 6-vaihteinen manuaalivaihteisto. Tällä saatavuus on hyvä, vaihteisto on kestävä, ja sen hankintahinta oli edellä mainittuihin verrattuna hyvin edullinen.

Olisi myös ollut mahdollista valita GS6-37BZ, joka bensiinivoimalinjasta peräisin olevana on välityssuhteiltaan erilainen, mutta todettiin dieselin välitysten olevan tähän käyttöön sopivimmat.

Kilpavaihteistot

Markkinoilta on saatavana kattava valikoima erilaisia kilpavaihteistoja, joissa välityssuhteet ja vaihteiden lukumäärä on muutettavissa asiakkaan toiveiden mukaan. Kilpavaihteistot ovat yleensä suorakytkentäisiä vaihteistoja eli ne käyttävät suorahampaisia hammasrattaita viistettyjen sijaan, minkä seurauksena niiden melutaso ylittäisi selvästi siviiliajoneuvoissa hyväksyttävän tason. Nämä vaihteistot on yleisesti rakennettu normaaleihin vaihteistokuoriin, mikä helpottaisi asennusta.

Tavanomaisimmat markkinoilla saatavilla olevat suorakytkentävaihteistot maksavat noin 2 500–5 000 € [2]. Ne on varustettu perinteisellä H-kaavioisella vaihteenvaihtimella, mikä mahdollistaisi tavanomaisen tieliikennekäytön.

Suorakytkentävaihteistojen lisäksi markkinoilta oli saatavilla myös sekventaalivaihteistoja, joita käytetään myös yleisesti moottoriurheilussa.

Sekventaalivaihteiston ero suorakytkentävaihteistoon on vaihteiden käyttölogiikassa: vaihteet valitaan peräkkäin, jolloin kuljettaja voi vaihtaa vain seuraavalle tai edelliselle vaihteelle. Esimerkiksi vaihteelta 2 ei voi siirtyä suoraan vaihteelle 5. Sekventaalivaihteistojen hinta on kuitenkin huomattavasti korkeampi, tyypillisesti 8 000–15 000 €, [2] joten kustannustehokasta ratkaisua etsittäessä ne eivät ole varteenotettava vaihtoehto.

3.3 Valinnan perustelut ja yhteenveto

Välityssuhteet

Pohdittaessa valintaa oli otettava huomioon molempien vaihteistojen välityssuhteet. Ajoneuvossa, johon vaihteisto asennettiin, oli myös tasauspyörästäön välitystä muutettu alkuperäistä hitaammaksi matka-ajon kierrosluvun alentamiseksi, mikä johti siihen, että liikkeellelähdössä alkuperäisellä vaihteistolla 1-vaihde oli joissain olosuhteissa liian raskas, vaikka välitys oli muissa olosuhteissa sopiva. ZF-vaihteisto on 6-vaihteinen, ja oli suoritettava vertailu, sopivatko sen välityssuhteet kohdeajoneuvoon. Taulukossa 1 on vertailu välityssuhteista. [3; 4.]

Taulukko 1. Välityssuhteiden vertailu.

Vaihteisto	1. vaihde	2. vaihde	3. vaihde	4. vaihde	5. vaihde	6. vaihde
MB 717.430	3,91	2,17	1,37	1,00	0,80	-
ZF 37 DZ	5,14	2,83	1,79	1,26	1,00	0,83

Vertailun jälkeen havaittiin, että haluttu muutos saataisiin aikaan kuitenkin suurimman vaihteen välityksen juuri muuttumatta, jolloin kierrosluku matka-ajossa säilyisi lähes vastaavana kuin alkuperäisellä vaihteistolla.

Taulukko 2. Vaihteistovaihtoehtojen ominaisuuksien vertailu.

Vaihteisto	Me- kaaninen kestävyys	Hinta	Saatavuus	Muutostyön tarve
ZF GS6-37DZ	Todella hyvä	Kohta- lainen	Hyvä	Suuri
Getrag 717.404	Kohtalainen	Erittäin korkea	Erittäin hu- ono	Ei
Getrag 716.654	Hyvä	Korkea	Huono	Vähäinen

Taulukossa 2 eritellään vaihtoehtoina olleiden vaihteistojen ominaisuuksien perusteella tehty valinta, jossa alkuperäinen 717.430-vaihteisto päätettiin korvata ZF:n valmistamalla GS6-37DZ-vaihteistolla. Kyseisen vaihteiston valintaa puolsi se, että sitä on käytetty kokoluokaltaan saman segmentin ajoneuvossa, mm. BMW 3-sarja, jonka takia vaihteiston mitat olivat kohtalaisen lähellä esimerkkiajoneuvon alkuperäistä vaihteistoa, eikä ajoneuvon koriin jouduttu tekemään muutoksia. Tämä vaihteisto vaati kuitenkin kytkinkotelon muutostyön sopiakseen Mercedesen sylinteriryhmään sekä vaihteenvalitsimen kannakkeen muutoksen koriin, mutta muiden ominaisuuksien ollessa sopivat tämä muutostyö päätettiin tehdä.

4 Hitsausjigin suunnittelu ja valmistus

4.1 Jigin suunnitteluperiaate ja tarkoitus

Koska lopputuotteessa yhdistettiin osia kahdesta eri vaihteistosta, oli kyettävä varmistamaan näiden keskinäisen asennon oikeellisuudesta akseliliinjan nähden. Tästä syystä valmistettiin asennuksen ja hitsauksen ajaksi vaihteistoon kiinnitettävä jigi, jolla akseliliinjan suoruus kyettiin varmistamaan sekä minimoidaan hitsauksessa tapahtuvat muodonmuutokset kappaleessa.

Jigin aihiona käytettiin tyhjäksi puretun ja kevennetyn sylinteriryhmän osaa, jonka runkolaakeriliinjaa käytettiin apuna jigin ja kytkinakselin kohdistuksessa.



Kuva 1. Hitsausjigin holkki.

Käytössä olleen sylinteriryhmän osan ja vaihteiston väliin valmistettiin holkki (kuva 1), jonka toinen pää oli mahdollista kiinnittää vaihteiston akselilinjaan ja toinen pää sylinteriryhmän runkolaakerilinjaan. Holkki valmistettiin alumiiniakselista sorvaamalla. Jigin holkin pituus oli riippuvainen halutusta kytkinakselin mitasta suhteessa kytkinkotelon tiivistepintaan, jotta alkuperäisen vauhtipyörän käyttö mahdollistettiin. Siksi jigin holkista oli tehtävä akselin suuntaisesti säädettävä, jotta se soveltui erilaisten akselimittojen toteuttamiseen samaa jigiä hyödyntäen.

4.2 Mittaustekniikat ja tarkkuusvaatimukset

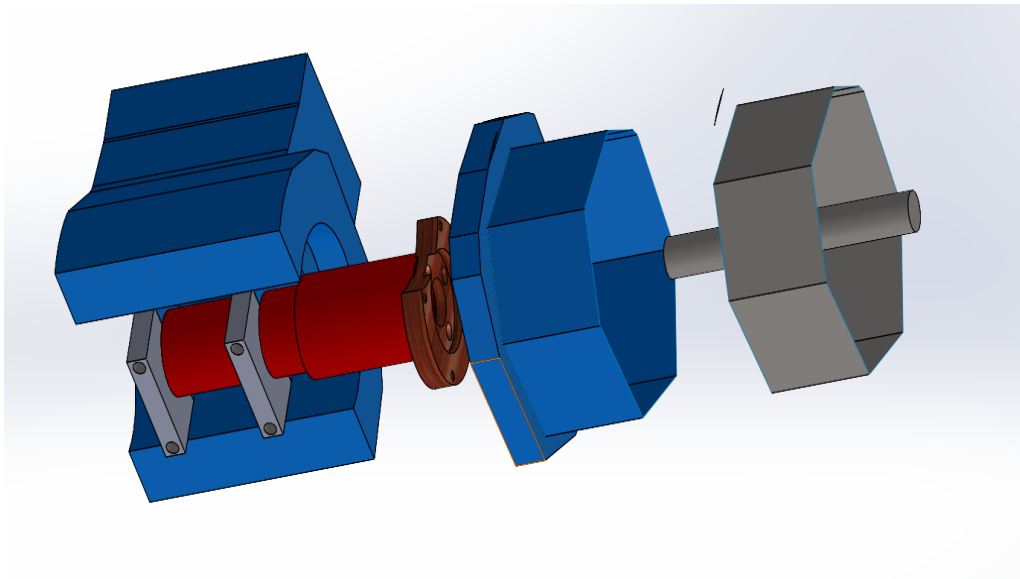
Suunniteltaessa keskittämiseen tarkoitettua työkalua oli mittatarkkuuden oltava erityisen hyvä, sillä vaihteiston keskitykseen käytettävä työstö oli vaihteiston rakenteen takia lyhyt suhteessa muuhun työkaluun. Mitoituksen tuli olla jigin holkin osalta ahdistussovite sekä vaihteiston keskityslaipan osalta liukusovite riittävän keskitystarkkuuden saavuttamiseksi. Tästä syystä kaikki mahdolliset mittaukset suoritettiin mikrometrillä. Joissain kohteissa ei kappaleiden muodon tai tilan ahtauden takia mikrometrillä mittaaminen ollut mahdollista, tai sopivaa mikrometriä ei ollut saatavilla, jolloin jouduttiin mittaus tekemään työntömittaa käyttäen. Työntömitalla päästiin kohtalaiseen mittaustarkkuuteen, mutta valmistusvaiheessa jouduttiin kappaleeseen jättämään sovitussvira, mikä lisäsi työn määrää kokoonpanovaiheessa.



Kuva 2. Runkolaakeripesän mittaus.

4.3 3D-mallinnus ja simulointi

Mittausten pohjalta luotiin SolidWorks-ohjelmistoa käyttäen 3D-malli, jonka avulla pyrittiin selvittämään jigin toiminta ennen varsinaisten osien valmistusta. Jigin aksiaalisen säädettävyyden ansiosta kytkinakselin pituus ei ollut vielä tässä merkitsevässä asemassa, vaan pyrittiin saamaan selville kokoonpanon toimivuus ja valmistettavien osien keskinäinen yhteensopivuus. 3D-kokoonpanoon luotujen komponenttien mitoitusta voitiin myös sellaisenaan käyttää valmistettavien osien piirustuksissa, joiden luomiseen käytettiin SolidWorks-ohjelmistoa.



Kuva 3. 3D-malli, josta ilmenee jigin toiminta.

4.4 Materiaalivalinnat ja komponentit

Jigin aihiona käytettiin tyhjäksi purettua sylinteriryhmää, jolla mahdollistettiin sovittavan kytkinkotelon keskitys kytkinakselin keskilinjaan nähden.

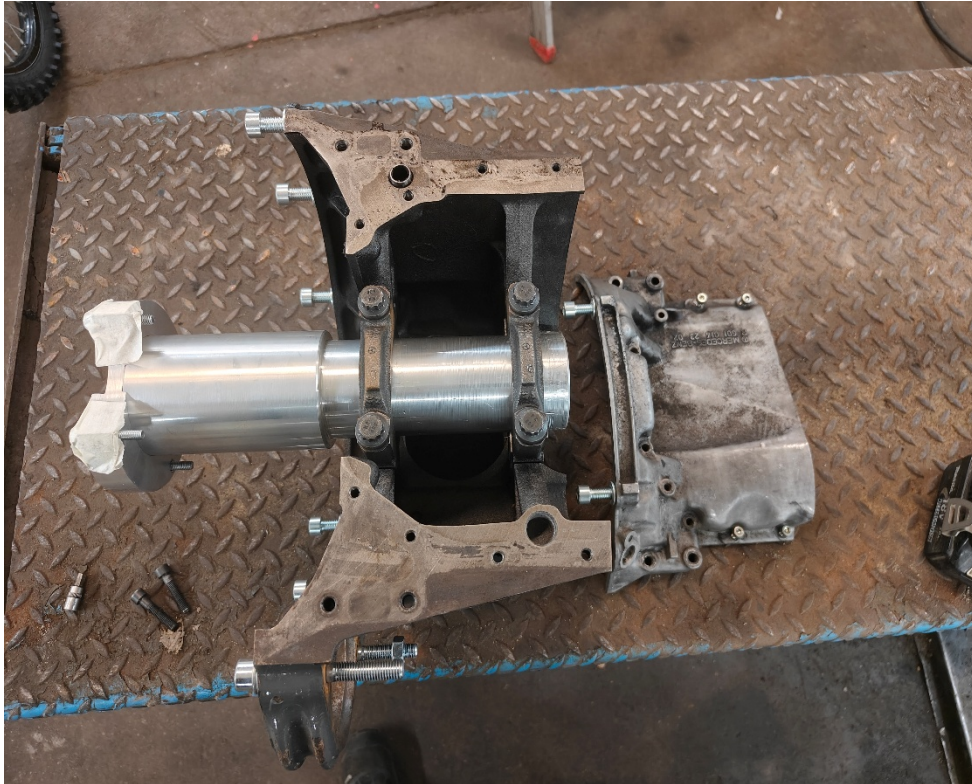
Sylinteriryhmä katkaistiin sen painon vähentämiseksi niin, että käyttöön jäi kaksi runkolaakeripukkia, jotka mahdollistivat keskitysholkille riittävän tarkkuuden kytkinakselin keskitykseen.

Koska kytkinakselia ei voitu sen radiaalivälyksen takia käyttää keskitykseen, oli siihen käytettävä uuden vaihteiston kytkinkotelon pohjassa olevaa, akselilinjan suhteen keskittävää olaketta, joka normaalisti toimii kytkinakselin akselitiivisteiden tukirenkaan keskitykseen. Tähän valmistettiin erillinen laippa (kuva 4), joka kiinnittyi akselitiivisteiden rungon paikalle vaihteistoon ja ruuviliitoksella holkkiin, joka taas kiinnittyi sylinteriryhmän runkolinjaan.



Kuva 4 Vaihteiston keskityslaippa.

Holkki ja siihen kiinnitettävä keskityslaippa valmistettiin 6061-T6-alumiiniakselista sorvaamalla. Perusteina materiaalivalinnalle olivat keveys ja siten helpompi käsiteltävyys, kustannukset sekä hyvä työstettävyys.



Kuva 5. Käyttövalmis jigi.

4.5 Osien koneistus

Koneistus on materiaalia poistava työmenetelmä, jota voidaan koneistukseen käytettävän laitteen mukaan käyttää todella moneen erilaiseen tarkoitukseen ja erilaisten kappaleiden valmistukseen. [5.]

Yleisimpiä koneistusmenetelmiä ovat poraaminen, sorvaus, jyrskintä ja hionta.

Poraaminen

Poraamisessa kappaleesta poistetaan materiaalia poralla, jolloin lopputuotteena on poran kokoa vastaava reikä. Tässä kappale pysyy paikallaan ja pora pyörii.

Sorvaus

Sorvauksessa työstettävä kappale on kiinnitetty pyörivään pakkaan ja työkalut pysyvät paikallaan. Sorvaamalla voidaan poistaa materiaalia kappaleen ulkopinnalta, porata ja tehdä sisäsorvauksia. Sorvaaminen mahdollistaa pyörähdyssymmetristen kappaleiden työstön.

Jyrsintä

Jyrsinnässä kappale on paikallaan, ja pyörivällä työkalulla voidaan poistaa materiaalia normaalisti kaikkialta lukuun ottamatta kiinnityspintaa.

Hionta

Hiontaa käytetään pinnan viimeistelyyn, jos esimerkiksi pinnankarheus on merkitsevässä osassa, eikä lastuavilla työkaluilla kyetä riittävään lopputulokseen. Se on myös lastuavaa työstöä tarkempi menetelmä mittatarkkoja kappaleita työstettäessä.

Osien koneistus

Jigin holkin valmistamiseen käytettiin sorvia, joka oli soveltuva pyörähdyssymmetristen kappaleiden valmistukseen. Yksittäiskappaletta valmistettaessa laitteeksi valikoitui manuaalisorvi. Holkin materiaali oli valittu huomioiden työstön tarve, jolloin lastuavan työstön käyttö valmistuksessa helpottui. Holkkiin kiinnitettävä keskityslaippa valmistettiin myös pääosin sorvaamalla ja siihen tehty väistö vaihteiston rakenteelle jyrsimällä.

5 Hitsaus ja materiaalitestit

Vaihteiston kuorien liittäminen yhteen toteutettiin hitsaamalla. Vaihteiston kuoret ovat sarjavalmisteisissa autoissa lähes poikkeuksetta valettua alumiiniseosta, joka ei tyypillisesti ole hitsattavana materiaalina hyvä huokoisuutensa takia. Tämä yhdistettynä yleensä pitkään esimerkiksi öljyä imeneeseen materiaaliin tekee siitä vaikean hitsattavan.

5.1 Hitsausprosessin valinta

Hitsausprosessin valinta ei yksittäiskappaletta valmistettaessa ole määräävä tekijä, mutta tulevaisuudessa mahdollisesti toistettavan työn kannalta oli hyvä selvittää kohteeseen parhaiten soveltuva hitsaustapa. Menetelmänä oli kaarihitsaus, ja valinta tehtiin TIG- ja MIG-hitsauksen välillä, jotka ovat yleisimmät alumiinien hitsaukseen soveltuvat menetelmät.

5.1.1 Materiaalien analyysi

Hitsattaessa koostumukseltaan tuntematonta materiaalia oli oikean hitsauslisäaineen löytämiseksi tehtävä materiaalianalyysi. Tässä tapauksessa materiaali oli tunnettu, mutta sen koostumus ei, sillä materiaalit olivat peräisin kahdelta eri aikakaudelta ja valmistajalta.

Materiaalianalyysia varten molemmista vaihteistoista leikattiin koepalat materiaalianalyysia varten. Samoja koepaloja käytettiin myöhemmin myös koehitsauksessa.

Materiaalianalyysi suoritettiin Hitachi X-MET8000CG-laitteella, joka on kannettava röntgenfluoresenssi analysaattori. [6.]

Kyseinen laite soveltui hyvin materiaalin koostumuksen testaukseen, ja sen tarkkuus riitti tähän käyttökohteeseen erittäin hyvin.

Käytettävien vaihteistojen kuoret olivat valettua alumiiniseosta, joissa molemmissa oli tyypillisen valualumiinikappaleen tapaan suurimpana seosaineena pii.

BMW:n ZF-vaihteiston seos vastasi hyvin EN AC-4650/ AISi8Cu3 -standardia, joka on yleinen ajoneuvoteollisuudessa käytetty seostus alumiinista valetuille osille.

Mercedeksen vaihteiston seos ei täysin vastannut mitään tunnettua standardiseosta, joten oli käytettävä oletusta lähimpänä olevasta standardista ja käytettävä sitä lisäaineen valinnassa. Lähimpänä oleva standardiseos oli EN 1706/AlSi12Cu3, [7] jossa erona standardiin magnesiumipitoisuus on matalampi kuin näytteestä mitattu.

ALKUAINE	% ↑	+/-	RAJA
Al	>89.44	0.674	81.50 - 89.00
Si	>7.95	0.083	7.50 - 9.50
Zn	0.89	0.019	0.00 - 3.00
Te	>0.53	0.035	
Sn	0.41	0.027	0.00 - 0.50
Pb	0.35	0.032	0.00 - 0.50
Fe	0.25	0.011	0.00 - 2.00
Mn	0.08	0.008	0.00 - 0.50

ALKUAINE	% ↑	+/-	RAJA
Al	79.66	0.086	78.15 - 86.50
Si	13.19	0.101	10.50 - 12.00
Cu	3.79	0.032	3.00 - 4.50
Fe	>1.29	0.049	0.00 - 1.30
Zn	0.89	0.019	0.00 - 3.00
Mg	0.64	0.167	0.00 - 0.10
Mn	0.19	0.030	0.00 - 0.50
Pb	0.15	0.011	0.00 - 0.50

Kuva 6. ZF:n materiaalianalyysi

Kuva 7. Mercedeksen materiaalianalyysi

5.1.2 Lisäaineen valinta

Lisäaineen valinnassa käytettiin ESAB:n materiaalia hitsauslisäaineiden valintaan [8]. Analysoitujen seosten hitsaukseen parhaiten sopi EN ISO18273:S Al 4043, joka tunnetaan paremmin merkinnällä AlSi5. Tämä tarkoittaa noin 95 % osuutta alumiinia ja noin 5 % osuutta piitä, joka teki lisäaineen ominaisuuksista hyvät tässä hitsattavien seosten liittämiseen.

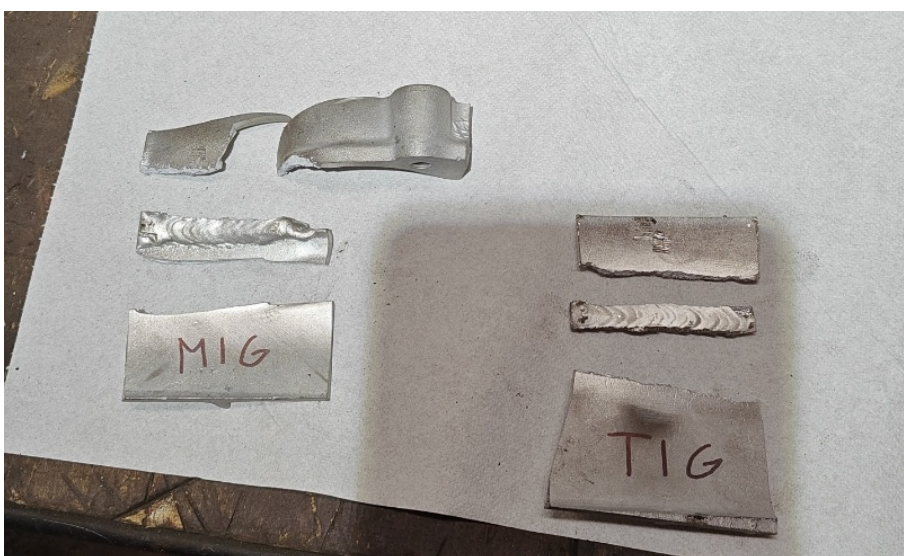
5.2 Koehitsaukset

Molemmista hitsattavista materiaaleista leikattiin koepala, ja ne hitsattiin käyttäen molempia suunniteltuja hitsausmenetelmiä.



Kuva 8. Koehitsatut kappaleet.

Hitsatuille koepaloille tehtiin taivutuskoe, joka valittiin sopivaksi kokeeksi selvittäessä liitoksen ominaisuuksia. Oletuksena voitiin pitää hitsin kestävän taivutusta perusainetta enemmän, koska perusaine oli huokoista valua, joka on haurasta. Oli otettava myös huomioon se, etteivät koepalat olleet dimensioiltaan yhtenevät, joka johti kokeen tuloksissa odotettuihin eroihin.



Kuva 9. Kappaleet taivutuskokeen jälkeen.

Molemmat hitsatut kappaleet murtuivat taivutuskokeessa perusaineen ja hitsin rajapinnasta tai sen välittömästä läheisyydestä. Tämä oli odotettua perusaineen ollessa valettua materiaalia. Taivutuskokeen jälkeen voitiin todeta molemmissa hitsin ominaisuuksien olevan perusainetta paremmat ja molempien hitsaustapojen olevan työhön soveltuvat.

5.3 Hitsauksen toteutus

Tähän työhön TIG-hitsaus todettiin soveltuvammaksi johtuen MIG-hitsauksen vaikeasta sulan hallinnasta hitsauksen aikana. Tämä oli todennäköisesti seurausta materiaalien epätasalaatuisuudesta ja erilaisesta sekä vaihtelevasta koostumuksesta. Molemmilla tavoilla olisi kyetty muutostyöhön, mutta valinta kohdistui tässä TIG-menetelmään. Syy valintaan oli jo olemassa oleva sopiva laitteisto ja lisäaine TIG:ille, jota MIG-hitsaukseen ei ollut ja se olisi jouduttu hankkimaan tarpeettoman suuressa erässä työn kokoluokka huomioiden.

TIG-hitsauksessa voidaan valokaarella kappaletta lämmittää hallitusti halutulta alueelta oksidikerroksen poistamiseksi kuitenkin aiheuttamatta koko kappaleeseen ei-toivottua lämpökuormaa, jota ei laakereita sisältävään hitsattavaan kappaleeseen haluttu tuoda kuin välttämätön määrä. Molemmilla menetelmillä hitsin ominaisuudet olivat työhön riittävät, mutta TIG-hitsauksessa sulan hallinta on tämänkaltaista materiaalia hitsattaessa huomattavasti helpompaa ja lämmöntuonti paremmin hallittavissa.

MIG-hitsaaminen olisi ollut myös mahdollista, mutta yksittäiskappaletta valmistettaessa olisivat sen lisäainekustannukset olleet merkittävästi korkeammat johtuen työn kokoluokan huomioiden tarpeettoman suuren lisäaine-erän hankinnasta. MIG-hitsauksessa olisi myös ollut järkevää toteuttaa kappaleen esilämmitys ennen hitsausta, koska valokaaren lämpö ei aina riitä rikkomaan oksidikerrosta hitsauksen alkuvaiheessa, mikä johtaa hitsissä huonoon fuusioon eli kylmäliitokseen. [9.] Kappaleessa, joka sisältää pyöriviä osia kuten laakereita, on kaikkea ylimääräistä lämpökuormaa vältettävä.

Kokoonpanohitsaus onnistui odotetun hyvin, eikä valmiille hitsille nähty tarpeelliseksi suorittaa lisäksi esimerkiksi tunkeuma-ainetestiä, koska visuaalisessa tarkastelussa ei havaittu hitsatulle alumiinille tyypillisiä kuumahalkeamia eikä huokoisuutta hitsin osalta.

6 Toteutus ja tulokset

Kun kaikki muutostyöhön tarvittavat komponentit olivat valmiina käyttöön, suoritettiin muutostyö. Koska tässä käytettiin jo olemassa olevaa vauhtipyörää, oli muutettavan vaihteiston kytkinakselin pituus mitoitettava sopivaksi jo olemassa olevalle kytkimen ohjauslaakerille. Akseli mitoitettiin alkuperäisen vaihteiston kytkinakselia apuna käyttäen.

Seuraavaksi oli päätettävä molempien vaihteistojen katkaisukohta, joka määräytyi pitkälti kytkinkoteloiden halkaisijan mukaan. Oli hyvä pyrkiä tekemään katkaisu halkaisijoiltaan mahdollisimman lähellä toisiaan, jolloin hitsatessa säästettiin ylimääräiseltä täyttämiseltä.

Katkaiseminen tehtiin kulmahiomakoneella, koska kappaleiden epäsäännöllisen muodon takia kiinnitys esimerkiksi vannesahaan ei ollut mahdollista, ja poikkeileikkauksen pituuden takia olisi leikkauspinta pitänyt sen jäljiltä joka tapauksessa oikaista, kappaletta olisi pitänyt myös kääntää useasti katkaisun aikana, jotta kytkinakseli ei olisi vaurioitunut. Käyttäen kytkinkotelon ja sylinteriryhmän välistä tiivistepintaa mittareferenssinä oli mahdollista mitata ja merkitä katkaisukohta riittävän tarkasti katkaisua varten.

6.1 Vaihteiston asennus ja sovitus

Hitsattavan kytkinkotelon asento oli otettava huomioon vaihteiston oikean voitelun toteutumiseksi sekä vaihteenvaihtimen haluttuun asentoon saamiseksi. Tässä käytettäessä Mercedes-moottoria sekä BMW-vaihteistoa oli otettava huomioon moottorien erilaiset asennuskulmat suhteessa koriin. Molempien moottorien alkuperäinen asennuskulma todettiin digitaalista kulmamittaa

käyttäen öljypohjasta mittaamalla. BMW-moottorin asennuskulma suhteessa koriin on n. 30° ja Mercedesen vastaava n. 15° , ja tämä täytyi ottaa huomioon hitsattavia kappaleita sovitettaessa, jotta vaihteisto asennettuna uuteen moottoriin ei ollut väärässä asennossa suhteessa koriin.

Asennon ollessa haluttu seuraava työvaihe oli hitsattavien pintojen huolellinen puhdistus. Koska hitsattava materiaali oli alumiini, oli varmistuttava pintojen oksidivapaudesta ennen hitsausta. Alumiini reagoi nopeasti hapen kanssa muodostaen kovan oksidikerroksen, joka heikentää hitsin tarttumista perusaineeseen.

Seuraavaksi voitiin kappaleet esihitsata toisiinsa kiinni, jonka jälkeen tehtiin koesovitus irralliseen mallimoottoriin kaikkien mittojen oikeellisuuden varmistamiseksi.



Kuva 10. Osittain hitsattu vaihteisto.

6.2 Valmiin rakenteen toimivuus

Suoritettujen muutosten toimivuus on tähän asti tehdyn lyhyen testauksen perusteella todettu onnistuneeksi. Ajoneuvoon asennettujen vaihteiston välityssuhteet ovat pienin varauksin sopivat, koska 1-vaihte on tavanomaisessa käytössä hiukan lyhyt omaan tottumukseen nähden. Muilta ominaisuuksiltaan vaihteisto on vähintäänkin alkuperäisen tasolla, mikä mahdollistaa esimerkkipäivittävään käyttöön päivittäiseen liikkumiseen myös tulevaisuudessa.

Vaihteiston kestävyys arviointi tapahtuu luonnollisesti pidemmällä aikavälillä, mutta toistaiseksi ei siinä ole havaittu ongelmia.

6.3 Kustannuslaskelma

Kustannukset koostuivat hankituista osista sekä materiaaliainehioista ja hitsaukseen kuluneista tarvikkeista ja suojakaasusta.

Työssä käytetyn ZF GS6-37dz-vaihteiston hinta on 250–350 €, jonka lisäksi oli hankittava kytkinkotelo haluttuun moottoriin sopivasta vaihteistosta. Tähän sopi esimerkiksi rikkoontuneen vaihteiston osa, jolloin kustannus oli vähäinen, arviolta 40 €. Näiden lisäksi valmistuskustannuksiin oli laskettava hitsauksessa käytettävä lisäaine sekä suojakaasu, joskin tässä kulutettu määrä oli niin vähäinen, ettei se aiheuttanut merkittävää kustannusta. Voitiin siis olettaa tällaisen vaihteiston olevan asennusvalmis n. 400 € kustannuksella.

Toteutuneisiin kustannuksiin lasketaan työn hinta esimerkinomaisesti ja se on eritelty kustannusyhteenvedossa, koska tässä kaikki työ toteutettiin itse, eikä esimerkiksi laitteiden käytöstä koitunut kustannuksia. Työtunteja muutostyön toteuttamiseen kului n. 20, ja lisäksi laskettiin käytetyt materiaalit, kuten hitsauslisäaine, suojakaasu sekä hankitut komponentit. Koska kaikki muutostyöhön käytetyt osat hankittiin käytettyinä, ei tässä käytettyjä kustannuksia voi käyttää vertailuun hankintoja tehtäessä. Kustannustaso pysyi odotetun alhaisena.

Taulukko 3. Toteutuneet kustannukset.

Tuote	Hinta (€)
ZF GS6-37DZ	280,00
MB kytkinkotelo	40,00
Hitsauslisäaine	21,91
Akseliahio	44,00
Rikkonainen sylinteriryhmä 160/1000 kg	
Suojakaasu	89,90
Työ 20 h	55
Yhteensä	475,81
Yhteensä + työ	1575,81

7 Yhteenveto

7.1 Työn onnistumisen arviointi

Tämän työn tavoitteena oli saada valmistettua kustannustehokas korvaava tuote voimalinjaan, jossa jo pitkään on ollut luotettavuusongelma vaihteistossa.

Näissä tavoitteissa onnistuttiin hyvin tähän mennessä tehdyn testauksen perusteella.

Työ osoittautui osittain haastavaksi toteuttaa alkuperäisen suunnitelman mukaan, koska joitain mittauksia ei voitu mitattavien kappaleiden muodon takia mitata halutuilla välineillä, eikä mittaustulos tämän takia ollut halutussa tarkkuudessa. Tämä aiheutti kokoonpanovaiheessa lisätyötä, kun osia jouduttiin sovitamaan. Tämä kuitenkin käsittää vain hitsausjigin osuuden työstä, ja siihen tehtyjen sovitusten jälkeen on vaihteistoon hitsaamalla toteutettava muutostyö huomattavasti vaivattomampaa toteuttaa kuin kaikki mittaukset yksitellen suorittamalla.

7.2 Työn hyödynnettävyys ja vaikutukset

Tulevaisuudessa työstä hyödynnettävä osa on valmistettu hitsausjigi, jonka tarkoituksena oli helpottaa vaihteistomuutoksen toteutusta ja vähentää yksittäisiin työvaiheisiin kuluva työtä. Työssä tehtyä tutkimusta vaihteiston välitysten osalta voi myös hyödyntää samankaltaista muutosta tehdessä vaihteiston valinnassa.

Lähteet

- 1 Mercedes OM604 2.0–2.2 engine. Verkkoaineisto. Enginedna. <<https://www.enginedna.com/mercedes-om604-2-0-2-2-engine/>>. Luettu: 30.10.2025.
- 2 Lampola Gearboxes. Verkkoaineisto. Esa Peltonen. <<https://www.esapeltonen.fi/fi/lampola-gearboxes/>> Luettu: 3.10.2025.
- 3 Manual transmission 5-speed ratios. Verkkoaineisto. Peachparts. <<https://www.peachparts.com/shopforum/tech-help/101235-manual-transmission-5-speed-ratios.html>> Luettu: 22.10.2025.
- 4 ZF GS6-37DZ gearbox. Verkkoaineisto. Henanmotors. <<https://www.henanmotors.com/tuote/zf-gs6-37dz-vaihteisto/>> Luettu: 10.10.2025.
- 5 Heinonen, Mika & Kalliolahti, Jyrki. 2020. Koneistustekniikka 2, Helsinki: Sanoma Pro.
- 6 Hitachi X-MET8000CG Material analyzer. Verkkoaineisto. Hitachi. <<https://hha.hitachi-hightech.com/en/product-range/products/handheld-xrf-libs-analyzers/handheld-xrf-analyzers> > Luettu: 17.9.2025.
- 7 Properties of metals. Verkkoaineisto. Steelnumber. <https://steelnumber.com/en/standard_nonferrous_eu.php> Luettu: 21.9.2025.
- 8 Filler metals. Verkkoaineisto. Esab. <https://esab.com/us/nam_en/support/tools/resources/filler-metal-product-selector/> Luettu: 10.9.2025.
- 9 Alumiinin hitsaus. Verkkoaineisto. Kemppe. <<https://www.kemppi.com/fi/blogit/nain-hitsaat-alumiinia>> Luettu: 17.9.2025.