

Jarkko Mertanen

SUORAKYTKENTÄVAIHTEISTO

Insinööriö
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikan ja liikenteen ala
Kone- ja tuotantotekniikka
Kevät 2009



**Kajaanin
ammattikorkeakoulu**

OPINNÄYTETYÖ TIIVISTELMÄ

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Tekijä(t) Jarkko Mertanen	
Työn nimi Suorakytkentävaihteisto	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Numeerisesti ohjattu tuotanto Kunnossapito	Ohjaaja(t) Mikko Heikkinen, lehtori Toimeksiantaja AKE-GEARS Oy
Aika Kevät 2009	Sivumäärä ja liitteet 40+10
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin AKE-GEARS Oy:n toimeksiantona. Tehtävänä oli suunnitella viisivaihteinen suorakytkentävaihteisto ja toteuttaa suunnittelun tulos konkreettiseksi tuotteeksi. Työn onnistuessa vaihteisto voitaisiin lisätä yrityksen tuotantoon. Työ tehtiin asiakkaalle, joka halusi etuvetoiseen ralliautoonsa suorakytkentävaihteiston. Suorakytkentävaihteiston käyttö on yleistä kilpa-autojen tehonsiirrossa. Sen tarkoituksena on nopeuttaa vaihteen vaihtamista, koska kytkintä ei tarvitse kuin liikkeelle lähettäessä. Sitä kautta haetaan nopeutta kilpailusuoritukseen.</p> <p>Suunnittelu toteutettiin yritykseltä saatujen rajoitusten mukaisesti. Suunnittelun tarkoituksena oli hyödyntää alkuperäiset siirtovivustot. Tuotteen suunnittelussa tuli käyttää jo valmiita yrityksen käytössä olevia työkaluja ja laitteita. Suunnittelu lähti liikkeelle asiakkaalta tulleen vakiovaihteiston purkamisella ja tutkimisella. Hammaspyörien ja akseleiden mittaamisessa hyödynnettiin erilaisia mittavälineitä ja laitteita. Kun kaikkien kappaleiden piirtämiset ja mitoitukset oli saatu suoritettua, alkoi konkreettisen tuotteen valmistaminen. Tuote valmistettiin käyttämällä yrityksen työstökoneita ja laitteita. Valmistuksen jälkeen kappaleet lähetettiin lämpökäsittelyyn, jonka jälkeen koneistettiin laakeripinnat todelliseen mittaan. Kaiken tämän jälkeen tuote oli valmis kokoamista varten ja lähettämistä asiakkaalle.</p> <p>Toteutettu suorakytkentävaihteisto toimi kokoamisvaiheen yhteydessä tehtyjen muutosten jälkeen suunnitellulla tavalla. Vaihteisto on toimitettu tilaajalle testattavaksi ja lopulliseen käyttöön.</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat	Vaihteisto, hammaspyörä, voimansiirto.
Säilytyspaikka	<input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun Kaktus-tietokanta <input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto

School School of Engineering	Degree Programme Mechanical and Production Engineering
Author(s) Jarkko Mertanen	
Title The Straight-Cut Gearbox	
Optional Professional Studies Numerically Controlled Production Maintenance	Instructor(s) Mr Mikko Heikkinen, Lecturer
	Commissioned by AKE-GEARS Oy
Date Spring 2009	Total Number of Pages and Appendices 40+10
<p>This Bachelor's thesis was commissioned by AKE-GEARS Oy. The purpose was to design a straight-cut gearbox with five gears. The objective was also to construct the gearbox. After the design and construction process the company can start manufacturing same kind of gearboxes.</p> <p>The product was made for a customer who wanted a straight-cut gearbox into his front-wheel driven rally car. It is common to use straight-cut gearboxes in the power transmission of racing cars. It makes the shifting of gears faster because using a clutch is not needed after the start.</p> <p>The commissioner gave orders which affected the design process. The goal was to use original gear linkage. The commissioner's machines and tools were used in the design and construction process. The first phase in the design process was to examine and unpack the gearbox which came from the customer. Different measuring instruments were used to measure toothed wheels and axels. After the pieces were measured, the construction process started. The pieces were machined. After that the pieces were sent to the heat treatment and then the pieces were machined again. The final stage was to put the pieces together in the gearbox.</p> <p>The result of this thesis was a straight-cut gearbox. Because the product was functioning as assumend, it was sent to the customer for further testing and finally for normal use.</p>	
Language of Thesis	Finnish
Keywords	Gearbox, tooth wheel, power transmission.
Deposited at	<input checked="" type="checkbox"/> Kaktus Database at Kajaani University of Applied Sciences <input checked="" type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

ALKUSANAT

Tämä insinöörityö tehtiin AKE-GEARS Oy:n toimeksiannosta. Olen työskennellyt aikaisemmin yrityksen palveluksessa, pääosin valmistamassa mutta myös suunnittelemassa erilaisia koneistettavia kappaleita. Yritys oli saanut asiakkaalta tilauksen suunnitella ja valmistaa Citroën Saxo -merkkiseen ralliautoon viisivaihteisen suorakytkevävaihteiston. Tämän tilauksen sain insinöörityön aiheeksi yritykseltä.

Haluan kiittää AKE-GEARS Oy:n valvojaa Aarni Mertasta mielenkiintoisen aiheen tarjoamisesta sekä kaikesta avusta suunnitteluprosessin aikana. Haluan kiittää ohjaavaa opettajaani Mikko Heikkistä sekä muitakin ohjanneita opettajiani kaikesta avusta. Suuret kiitoksen avopuolisolleni Elina Hoffrénille, joka jaksoi neuvoa ja antaa apuja insinöörityön kirjoittamisen aikana. Kiitos Manu Karjalaiselle kuvien muokkauksissa. Kiitos myös muille lähimmäisille ja tuttaville saamastani tuesta.

Kajaanissa 9.4.2009

Jarkko Mertanen

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 VAIHTEISTO	4
2.1 Tasauspyörästön lukko	5
2.2 Hammaspyörävaihteet	6
3 SUORAKYTKENTÄVAIHTEISTO	11
3.1 Evolventtihammastus	12
3.2 Profilinsiirto	14
4 SUORAKYTKENTÄVAIHTEISTON SUUNNITTELU JA VALMISTUS	16
4.1 Suunniteltavat osat	16
4.1.1 Akselit ja akselivälit	17
4.1.2 Hammaspyörät	18
4.1.3 Kytkentärensas	19
4.1.4 Siirtoholkit	21
4.1.5 Laakeriholkit	21
4.1.6 Rakennemuutos	22
4.2 Väilyssuhde	23
4.3 Geometrian laskenta	24
4.4 Materiaali	29
4.5 Laakerointi	29
4.6 Valmistus	30
4.7 Lämpökäsittely	31
5 SUUNNITTELUPROSESSIN ANALYSOINTI	33
6 TUOTTEENA SUORAKYTKENTÄVAIHTEISTO	35
7 POHDINTA	38
8 YHTEENVETO	40
LÄHTEET	41

LITTEET

1 JOHDANTO

AKE-GEARS Oy on pienimuotoinen konepaja, joka on perustettu vuonna 2002. Yritys toimi toiminimenä vuoden 2008 kesään, jolloin muuttui osakeyhtiöksi. Yritys sijaitsi alkujaan perustajan Aarni Mertasen omassa autotallissa Kajaanin Kirkkoaholla. Tammikuussa 2009 yritys löysi isommat n. 350 m² tilat yrityksen laajentamiseen entiseltä UPM-Kymmeneen tehdasalueelta, jonne muutto käynnistyy toukokuun puolella 2009.

Yrityksen toiminta lähti käyntiin, kun Mertanen oli ostanut omaan ralliautoonsa suorakytken-
tävaihteiston. Tämä kyseinen vaihteisto kesti ”runsaat” 100 erikoiskoekilometriä. Vaihteiston myyjä ei ottanut mitään kantaa laatikon särkymiseen, eikä suostunut minkäänlaiseen takuu-
korjaukseen asiassa. Tästä johtuen Mertanen päätti ottaa vaihteistojen valmistamisesta selvää ja alkaa itse valmistamaan suorakytken-
tävaihteistoja. Yrityksellä on tällä hetkellä tarjottavanaan yhdeksään erimerkkiseen autoon suorakytken-
tävaihteistoja.

Yrityksen toiminta siirtyy kesällä 2009 isompiin tiloihin, jonka jälkeen on tarkoitus palkata lisää työntekijöitä. Toiminnassa on ollut mukana vain kaksi työntekijää, mutta muuton jälkeen on suunnitelmissa palkata ainakin kaksi työntekijää.

Konekanta on suhteellisen monipuolinen. Yrityksellä on tällä hetkellä käytössään seuraavanlaisia työstökoneita:

Automaatti

- cnc-sorvi Nakamura -82 Japani
- cnc-työstökeskus Fanuc -88 Japani

Manuaali

- sorvi Tos -85 Tšekkoslovakia
- kaksi Colchester-sorvia -85 Englanti
- sorvi Harrison -85 Englanti
- jyrsinkone Argo -90 Taiwan

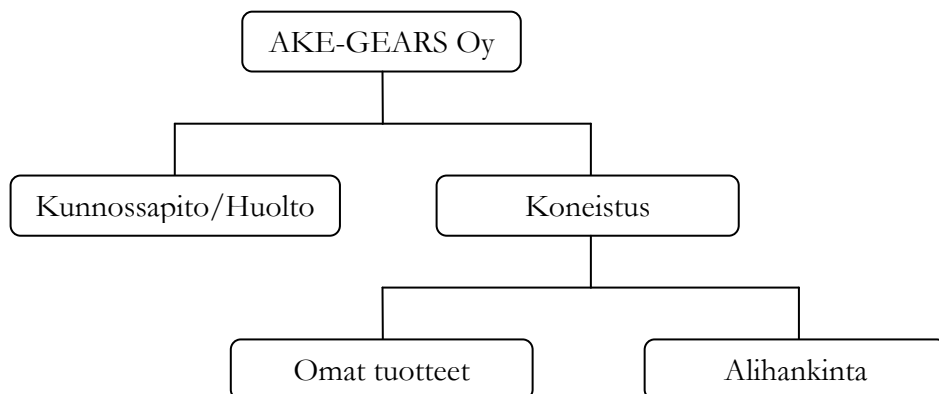
Hammaspyöräkoneet

- vierintäjyrsinkone Pfauter -50 Saksa
- vierintäjyrsinkone Stanko -67 Neuvostoliitto
- vierintäpistokone -68 Neuvostoliitto

Muuta

- nauhahiomakone
- smirgeli
- kiilaurapistokone
- kipinätyöstökoneet (mm. hitsauskone mig/tig, kulmahiomakone)
- prässi

AKE-GEARS Oy tarjoaa vaihteistojen lisäksi muutakin koneistusapua eri yrityksille sekä yksityisille henkilöille. Suuren konekannan ansiosta onnistuvat niin suuret kuin pienetkin sarjat. Tuotanto on aikaisemmin ollut melkoisesti suuntautunut kilpa-autoihin, mutta yritys on vuosien varrella myös hankkinut mainetta erilaisten yritysten keskuudessa, joista on sitten tullut erilaisia tilauspyyntöjä. Yrityksen toiminta ei keskity enää pelkästään koneistettavien kappaleiden valmistamiseen, vaan toimintaan on lisätty myös kunnossapito/huoltopalvelu. Kuvassa 1 on havainnollistettu yrityksen toiminnan eri osa-alueita.



Kuva 1. Yrityksen toimintaperiaate.

Yrityksen koneistusosa-alue on ollut aikaisemmin hyvin pientä, koska toiminta oli pitänyt pienien resurssien ja vähäisen ajan puitteissa pitää pienenä, mutta kuitenkin pikkuhiljaa kasvavana, jolle on voinut pedata tulevaisuutta. Yrityksen toimintaan ryhtymisen syynä olivat vaihteistojen valmistaminen. Markkinointi toimi alkuvaiheessa niin sanotun viidakkorummun kautta ja vaihteistot tekivät kauppansa muun muassa Saksaan ja Ruotsiin. Myöhemmin koneistamiseen tuli mukaan alihankinta, koska kysyntää oli paljon.

Kunnossapito/huoltopalvelu on vasta alkuvaiheessa ja vielä tässä vaiheessa ei voi ennustaa kuinka toiminta lähtee käyntiin. Suunnitelmia siihen on monia ja nähtäväksi jää, miten kunnossapito/huoltopalvelu alkaa tuottaa tulosta.

Insinööriyön aiheen sain Aarni Mertasen ehdotuksena. Mietimme minulle erilaisia insinööri-työaiheita ja lopulta päädyimme suorakytkentävaihteiston suunnitteluun ja toteutukseen. Työaiheen valintaan vaikutti sen haasteellisuus ja sen tuomat uudet kokemukset. Aihe pohjautuu myös omaan harrastukseeni, koska harrastan itsekin moottoriurheilua.

Olen toiminut yrityksen palveluksessa aikaisemmin muun muassa koulun harjoittelujakson ajan. Olen ollut valmistamassa suorakytkentävaihteistoja sekä muitakin koneistettavia kappaleita. Suorakytkentävaihteistojen aikaisemmasta valmistuksesta oli hyötyä suunnitteluprosessin aikana.

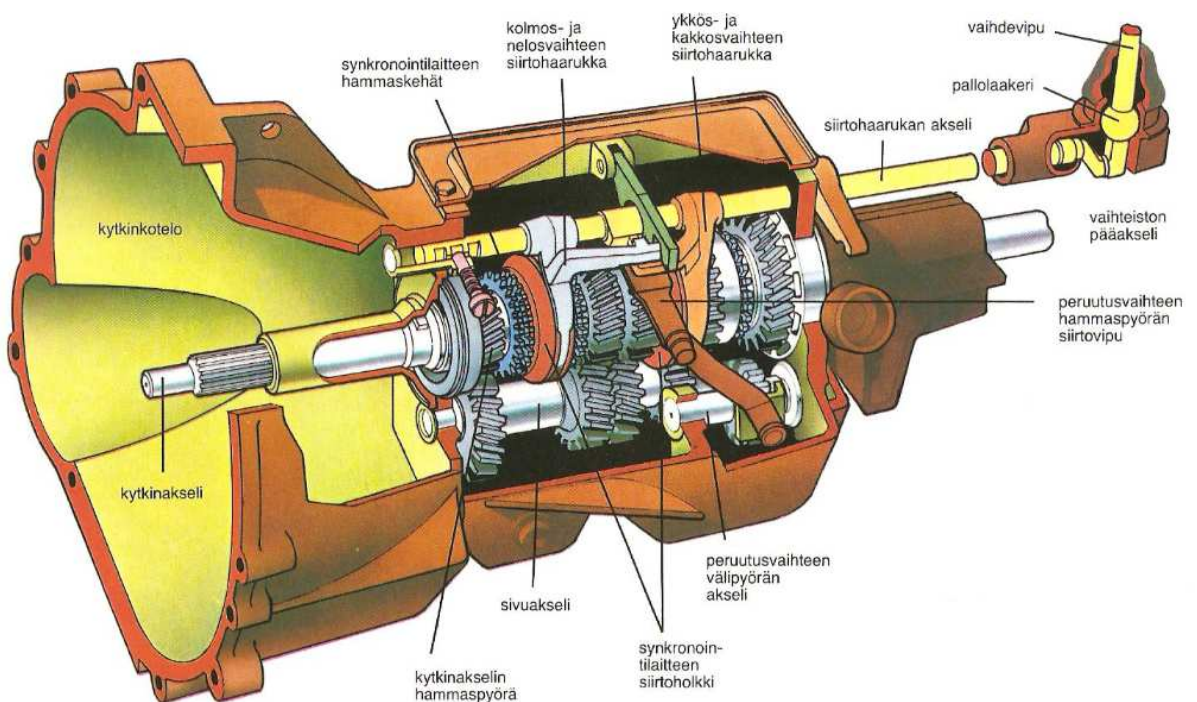
Insinööriyön tarkoituksena oli suunnitella ja toteuttaa konkreettinen tuote tilaajalle. Työn onnistuessa vaihteisto voitaisiin lisätä yrityksen tuotantokapasiteettiin. Samalla saisin itselleni tietoa vaihteiston suunnittelusta, josta uskon olevan hyötyä omassa tulevaisuudessani.

Sovimme valvovan opettajan kanssa, että tämän insinööriyön suunnittelussa ei tarvitse laskea kappaleiden lujuuslaskuja. Toimeksiantaja on laskenut lujuuslaskelmia ensimmäisiä vaihteistoja tehdessään ja huomannut, että laskentakaavat lujuuslaskuihin eivät pidä aivan paikkaansa. Laskennalliset arvot ovat olleet paljon pienempiä, kuin todellisuudessa vaihteisto on kestänyt. Tästä johtuen vaihteiston lujuuslaskelmia ei ole tehty, vaan ainoat laskelmat on tehty hammaspyörien geometrian laskennassa.

2 VAIHTEISTO

Rauno Toivonen määrittelee vaihteiston seuraavasti: ”Yksi voimansiirtojärjestelmän komponenteista on vaihteisto, jonka avulla moottorin ominaisuudet sovitetaan ajotilanteen ja ajoneuvon nopeusalueen mukaisiksi” [1, s. 109].

Vaihteistoksi tai välitykseksi kutsutaan järjestelyä, jonka avulla kahden toisiinsa kytketyn akselin pyörintänopeus ja samalla niissä vaikuttava vääntömomentti saadaan muutettua erilaiseksi. Toisin sanoen vaihteisto välittää mekaanista momenttia kahden komponentin välille. Vaihteisto on usean hammaspyörävaihteen yhdistelmä, jossa on yleensä 4–6 vaihdetta, mikä tekee mahdolliseksi erilaisen välityssuhteen valinnan sekä kytkennän erilaisen käyttötilanteen mukaan. Kuvassa 2 on havainnollistettu vaihteiston rakennetta takavetoisen auton vaihteistolla. Autoissa vaihteistoa käytetään, koska liikkeelle lähettäessä renkaat pyörivät hitaammin kuin nopeasti ajettaessa. [1, s. 71.]



Kuva 2. Takavetoisen Ford Cortinan vaihteiston leikkauskuva. [2, s.138.]

Vaihteisto on yleensä asennettu heti kytkimen jälkeen siten, että kytkinlevy pyörittää vaihteiston kytkin akselia. Etuvetoisessa autossa ei ole erillistä kytkin akselia, vaan kytkimen urituslii-

tos on jyrkitty pääakseliin. Etuvetoisessa ja takavetoisessa autossa on vähän erilaiset vaihteiston rakenteet, mutta pääperiaate on kummassakin täysin sama. Tässä kohdassa on havainnollistettu kertomalla etuvetoisen auton vakiovaihteiston toimintaa. Pääakseli on jatkuvassa kosketuksessa vaihteiston toisen akselin, siis ryhmäakselin kanssa ja pyörittää sitä aina, kun auton moottori on käynnissä ja kytkin kytkettynä. Ryhmäakselilla on joukko hammaspyöriä, jotka toimivat pääakselilla olevien hammaspyörien pyöräpareina. Etuvetoisessa autossa pääakselin hammaspyörät on kiinnitetty uritusliitoksella tai puristusliitoksella akseliin, ja ne ovat jatkuvassa hammaskosketuksessa ryhmäakselilla olevien hammaspyörien kanssa. Ryhmäakselin hammaspyörät on laakeroitu, joten ne pääsevät pyörimään vapaasti akselilla silloin, kun vaihdetta ei ole kytketty. [2, s. 138–139.]

Tietyn vaihteen kytkeminen tapahtuu siten, että vaihteensiirtovivuston avulla jokin ryhmäakselin hammaspyörästä kytketään siirtoholkin ja synkronointilaitteiston avulla pääakseliin. Peruutusvaihdetta varten vaihteistossa on vielä kolmas akseli, jolla on vapaasti pyörivä ja akselien suuntaisesti siirtyvä peruutukseen tarkoitettu kolmas hammaspyörä. Peruutusvaihteen kolmas pyörä kytkee toisiinsa tarvittaessa ryhmäakselin ja pääakselin vastaavat hammaspyörät, jolloin pääakseli pyörii päinvastaiseen suuntaan ja auto liikkuu taaksepäin. [2, s. 138–139.] Vaihteiston avulla moottorista kehittyvä voima siirretään tällä tavoin vetäville pyörille.

2.1 Tasauspyörästäön lukko

Autoissa tarvitaan vetävien renkaiden välille tasauspyörästäön lukko, joka tasoittaa vetävien renkaiden pyörimisnopeuden samaksi, kun esimerkiksi kaarteessa sisä- ja ulkorengas kulkevat eripituisen matkan eri nopeuksilla. Etuvetoisissa autoissa tasauspyörästäön lukko sijaitsee vaihteistossa ja takavetoisissa autoissa takapyörästäön akselissa olevassa erityisessä kotelossa. Tasauspyörästäön kitkalukko on perustoiminnaltaan samanlainen kuin tasauspyörästäön lukko. Se tasaa automaattisesti vetävien renkaiden pyörimisnopeuseroa samaksi, kun pyörimisnopeusero kasvaa riittävän suureksi. Tasauspyörästäön kitkalukko on esitetty kuvassa 3. Ilman tasauspyörästäön lukkoa moottorista tuleva teho pyörittäisi vain sitä rengasta, joka tarvitsisi vähemmän voimaa. Kun lukko on kytketty, niin vetoakselit pyörittävät kumpaakin rengasta samalla nopeudella, jotta ylimääräinen renkaiden sutiminen tien pinnassa poistuu ja saadaan paras mahdollinen vetopito renkaiden ja tien väliin. [3.]



Kuva 3. Tasauspyörästön kitkalukko purettuna.

Tasauspyörästön lukon huonona puolena on auton puskeminen jyrkissä mutkissa. Tasauspyörästö ei tässä tilanteessa pääse vaikuttamaan vetävien pyörien eri pyörintänopeuksiin, koska nopeuden tasaaminen täytyy tapahtua tien ja renkaan välissä. Tämä kuitenkin voi johtaa lukon rikkoutumiseen sellaisella tienpinnalla, joka ei ole luistamatonta, esimerkiksi paljas ja kuiva asfaltti. Tasauspyörästön lukkoja käytetään mm. kuorma-autoissa, traktoreissa ja joissakin maastoautoissa. [3.] Tasauspyörästön kitkalukkoa käytetään henkilöautoissa ja on sen takia hyvin yleinen kilpa-autoissa. Kaikissa kilpa-autoissa tasauspyörästön kitkalukko ei ole välttämättä sallittu, koska kilpa-autojen luokitukset voivat kieltää sen käytön.

2.2 Hammaspyörävaihteet

Yleisimmin käytössä oleva hammaspyörävaihte on lieriöhammaspyörä, joita ovat suora-, vino- tai nuolihampainen hammaspyörä. Kuvassa 4 on esitetty suora- ja vinohampainen lie-riöhammaspyörä. Muita yleisiä vaihteita ovat kartio- ja kierukkahammaspyörä. Harvinaisempia vaihteita ovat ruuvipyörät. Markkinoilla on myös olemassa planeettavaihteita, spiraali- ja pehmeitä hammaspyörävaihteita. [4, s. 146.]



Kuva 4. Lieriöhammaspyöriä.

Lieriöhammaspyörävaihde

Suorahampaiset lieriöhammaspyörät ovat halpoja valmistaa, mutta niiden käynti ei ole riittävän tasaista ja äänetöntä vaativissa tarkoituksissa. Parannusta tasaisuuteen ja äännettömämpään käyttöön saadaan valmistamalla hammaspyörät vinohampaisina. Vinohampaiset hammaspyörät aiheuttavat huonontavana seikkana akseliden suuntaisia voimia. Nuolihampaisessa hammaspyörässä aksiaalivoimat kuitenkin kumoavat toisensa. Lieriöhammaspyöriä sijoitetaan sellaisinaan käyttävän ja käytettävän akselin väliin, tai valmiisiin vaihteistoihin, jotka kiinnitetään akseliin. On myös mahdollista käyttää portaittain säädettäviä vaihteistoja, joiden käyttö on yleistä etenkin työstökoneissa ja autoissa. Työstökoneista esimerkiksi jyrsinkoneissa ja sorveissa käytetään suorahampaisia lieriöhammaspyöriä. Autojen vaihteistoissa käytetään sekä vino- että suorahampaisia lieriöhammaspyöriä. Lieriöhammaspyöräsuureet on standardisoitu, ja suomalainen standardi perustuu kansainväliseen ISO-standardiin. [4, s. 147.]

Lieriöhammaspyörien erikoistapaus on ns. hammastanko, jota käytetään esimerkiksi auton ohjauspyörän avulla ohjaamaan kääntyviä renkaita. Hammastankovaihteen voidaan kuvitella syntyvän siten, että hammaspyöräparin ison hammaspyörän kehä katkaistaan ja oikaistaan

suoraksi tangoksi. Hammastankovaihteita käytetään autojen ohjausvaihteina sekä sen lisäksi esimerkiksi hydraulisissa ovensulkimissa ja työstökoneiden työpöytien liikutusmekanismeissa. [1, s. 74.]

Hammaspyörien hampaiden tulee olla sivulta kaarevat, koska muuten ne eivät toimi äänettömästi eivätkä värinättömästi sekä ne kuluvat nopeasti. Hampaan kaareva muoto vastaa tavallisesti ns. evolventtikäyrää, joka on tarkemmin selostettu kohdassa 3.1. Evolventtikäyrä on todettu parhaaksi hampaan sivun muodoksi, koska hammasvoiman välitys hammaspyörältä toiselle tapahtuu tehokkaasti silloinkin, kun akseleiden keskipisteiden välimatka vaihtelee hieman. [1, s. 73.]

Kartiohammaspyörävaihde

Kartiohammaspyörät ovat nimensä mukaisesti muodoltaan kartioita. Niitä käytetään silloin, kun pyörimisliike on siirrettävä yhdeltä akselilta sen kanssa ristikkäiselle akselille esimerkiksi takavetoisen auton perässä. Useimmiten akselien välinen kulma on 90° , mutta myös muunnelliset kulmat ovat mahdollisia. Kartiohammaspyörät on yleensä valmistettu suorahampaisiksi, jolloin jokainen hammas kapenee pyörän kehältä sen keskipisteeseen kohti. Kartiohammaspyörät voivat olla myös kaarevahampaisia, jolloin niiden toiminta on äännettömämpää ja tämän takia hampaiden muodon seurauksena vähintään kaksi hammasparia on aina kosketuksissaan keskenään. Suorahampaisia kartiohammaspyöriä käytetään hitaaseen ja vaatimattomampaan käyttöön. Kartiohammaspyöräsuureet on standardisoitu, ja suomalainen standardi perustuu kansainväliseen ISO-standardiin. [4, s. 153.]

Hypoidihammastuksella varustetut kartiohammaspyörät ovat kaarevahammastettuja pyöriä, joissa hampaat ovat tietyssä kulmassa akseliin nähden. Niitä käytetään siirrettäessä voimia akselilta toiselle tai ristikkäiselle akselille, joka on käyttävän akselin kanssa samalla tasolla. [1, s. 74.]

Kierukkahammaspyörävaihde

Kierukkavaihteella saadaan aikaan suuri välitys, jossa akselit ovat kohtisuorassa toisiaan vastaan. Akselien keskiviivat eivät kuitenkaan leikkaa kuten kartiohammaspyörissä, vaan kulkevat toistensa ohi. Suomalainen ISO-standardi määrittelee kierukkapyöräparin ristikkäisakseliseksi hammaspyöräpariksi, joka sisältää kierukkapyörän ja kierukan. Kierukka on yksi tai useampipäinen ruuvimainen hammaspyörä, jonka kierteen muoto ja hampaiden perusprofiilit on tarkoin määritelty standardissa. Kierukkahammaspyörän hampaat ovat muodoltaan sekä vinoudeltaan sellaiset, että hampaiden välille syntyy viivakosketus pyöräparin ollessa rynnössä. Kierukan ja kierukkapyörän perussuureet ovat standardisoituja kuten kaikilla muillakin hammaspyörillä ja käyttävät näin ollen ollen suomalaista ISO-standardia. Kierukkahammaspyörää käytetään suurivälityksisissä vaihteissa sekä esimerkiksi työstökoneiden jakolaitteissa ja pyöröpöydissä. [4, s. 159.]

Ruuvipyörävaihde

Jos käytävän akselin hammaspyörä muotoillaan ruuvikierukaksi ja käytävä hammaspyörä sitä vastoin vinohampaiseksi hammaspyöräksi, suhteellisen pieneen tilaan voidaan saada aikaan hyvin suuri välityssuhde. Joissakin tapauksissa välityssuhde voi olla jopa 1:100. Ruuvipyörävaihteessa akselien on oltava ristikkäin, mutta ne eivät kuitenkaan voi olla samassa tasossa keskenään. Ruuvipyörän kierre voi olla yksi- tai monipäinen, jolloin yksipäisen ruuvin avulla saadaan suurin mahdollinen välityssuhde käyttöön. Ruuvipyörävaihteita on käytetty joidenkin autojen vetopyörästöissä. [1, s. 74.]

Suuren välityssuhteen ansiosta ruuvipyörävaihde soveltuu erittäin hyvin käytettäväksi alenusvaihteena esimerkiksi käytävän sähkömoottorin ja hitaasti liikkuvan kuljetushihnan välille. Ruuvipyörävaihdetta ei voida koskaan käyttää toisinpäin ylennysvaihteena, jolloin siis isopyörä pyörittäisi ruuvipyörää. [1, s. 74.]

Planeettavaihde

Hammaspyörävaihde jossa on yksi tai useampi ns. planeetta- eli kiertopyörä, pyörii aurinko- eli keskuspyörän varassa ulkopuolella olevan kiinteän hammaskehän ohjaamana. Sitä nimitetään planeetta- eli kiertopyöräksi. ”Kiertopyörävaihde tekee mahdolliseksi välityssuhteen vaihtoman valinnan ilman, että hammaspyörien keskinäinen kosketus on katkaistava ja jälleen kytkettävä”. Planeettavaihdetta käytettäessä välityssuhteen muuttaminen tapahtuu yksinkertaisesti pysäyttämällä jokin kiertopyörävaihteen osa. Tällaisia planeettavaihteistoja käytetään esimerkiksi autojen automaattivaihteistoissa. [1, s. 74.]

Spiraalihammaspyörävaihde

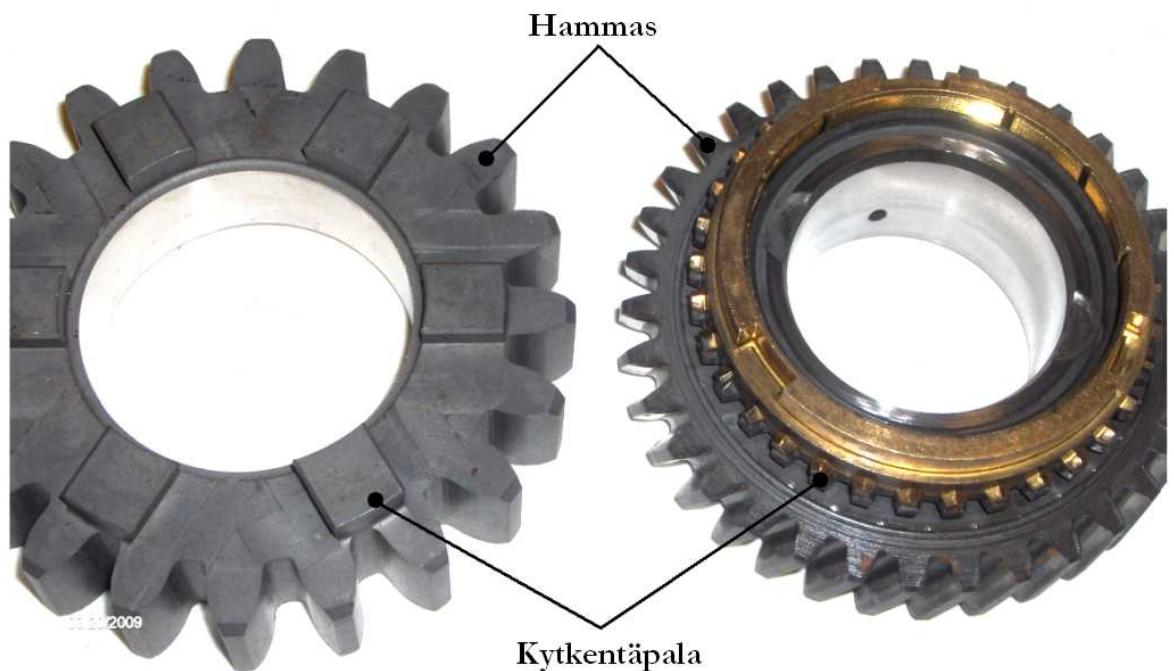
Hammastukseltaan lieriö- tai kartiohammaspyörät voidaan varustaa kierukka- eli spiraalihammastuksella. Spiraalihammastuksella valmistetut akselit voivat olla mielivaltaisessa kulmassa keskenään, aina sen mukaan, millaisessa kulmassa ovat parina toimivien hammaspyörien hampaat. Tällaisia vaihteita kutsutaan kierukka- eli spiraalivaihteiksi. Hampaiden kierukkamaisesta muodosta seuraa, että hammaspyörien pyöriessä niiden hampaat liukuvat akselin suunnassa toisiaan pitkin. Tällä tavoin hammastettuja hammaspyöriä voidaan käyttää vain vaihteistoissa, joiden akselit eivät ole samassa tasossa keskenään. Spiraalihammaspyörien käyttö on yleensä vain erikoistapauksissa. [1, s. 74.]

Pehmeä hammaspyörävaihde

Kun vaihteilta tarvitaan suuren pyörintänopeuden ohella hyvin äänetöntä käyntiä ja siirrettävä vääntömomentti ei ole kovin suuri, toinen tai molemmat hammaspyörät voidaan valmistaa muovista tai jostain muusta pehmeästä epämetallisesta aineesta, kuten esimerkiksi messingistä. Tällainen hammasvaihde löytyy esimerkiksi taikinakoneesta, jossa teräsakselissa on kiinteä hammaspyörä ja vastakappaleena on muovinen hammaspyörä. [1, s. 74.]

3 SUORAKYTKENTÄVAIHTEISTO

Suorakytkentävaihteistot on yleensä valmistettu suorahampaisiksi, kun taas synkronointivaihteistot on valmistettu vinohampaisiksi. Suorakytkentävaihteistot eroavat tavallisesta synkronointivaihteistosta siten, että vaihteen vaihtaminen tapahtuu ilman kytkintä. Kytkintä tarvitaan ainoastaan liikkeelle lähettäessä. Tämä onnistuu vain suorakytkentävaihteistossa, jossa hammaspyörien hampaat ovat isot ja kytkentäpalat ovat leveät. Kytkentäpalojen lukumäärä riippuu vaihteiston valmistajasta, mutta niitä on yleensä kuusi kappaletta yhdessä hammaspyörässä/kytkentärenkaassa. Vastaavasti synkronointivaihteistossa hammaspyörien hampaat ovat pienet ja kytkentä tapahtuu synkronointirenkaassa olevilla monilla hyvin pienillä messinki hampailla. Kuvassa 5 on verrattavissa vasemmalla suorakytkentävaihteiston ja oikealla vinohampaisen synkronointivaihteiston hammaspyörienhampaita ja kytkentäpaloja/synkronointikehä.



Kuva 5. Hammaspyörien eroja.

Kuvasta selviää hyvin, kuinka paljon suuremmat suorakytkentävaihteiston hampaat ja kytkentäpalat ovat verrattuna synkronoidun vaihteiston vastaaviin osiin.

Suorakytkentävaihteistoa käytetään pääosin kilpa-autoissa, koska suorakytkentävaihteistosta syntyvä melu ei ole mukavaa siviiliautoissa.

Vaihteiston hyödyt:

- Nopeuttaa vaihteen vaihtamista, kun ei tarvitse kytkintä.
- Pitää vedon koko ajan vetävillä pyörillä vaihteen vaihtamisen aikana.
- Kestää suurempia voimia kuin vinohampainen vaihteisto.

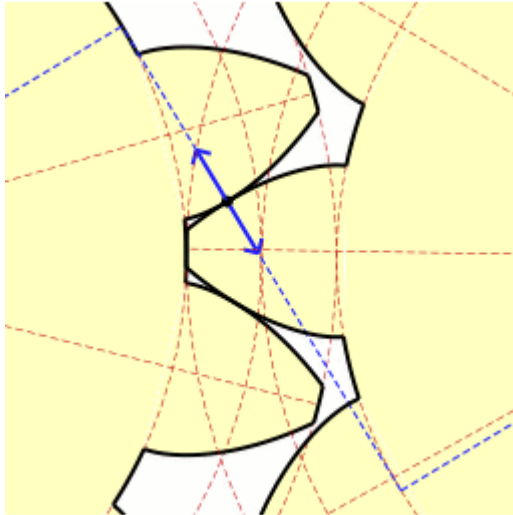
Haitta:

- Äänekkyyys on suurempi verrattuna vinohampaiseen vaihteistoon.

Lopputuloksena suorakytkentävaihteisto on sopivampi vaihtoehto kilpa-autoihin käytettäväksi kuin vinohampainen synkronointivaihteisto, koska kilpa-autoissa ei melulla ole merkitystä vaan tärkeämpää on nopea vaihteen vaihtuminen ja vaihteiston kestäminen kilpailusta toiseen.

3.1 Evolventtihammastus

Suorakytkentävaihteiston suorien lieriöhammaspyörien hammaskylkimuotoa nimitetään evolventtihammastukseksi. Evolventti syntyy ryntösuoran vieressä liukumatta ympyrän kehällä, kuten kuvassa 6 on esitetty sinisellä värillä, tätä pitkin nuoli liikkuu ja kuvaa evolventin kosketuslinjaa hammaspyörien välissä.



Kuva 6. Evolventtihammastettu pyöräpari [5].

Evolventtihammaspyörien rakenteen ansiosta jokainen evolventtihammas sopii hetkellisesti toisen evolventtihammaan vastaprofiiliksi. Jatkuvan toiminnon kannalta pyöräparin hampaiden tulee kuitenkin olla samalla modulilla valmistettu. Evolventtihammaspyöräparin kosketuspiste löytyy aina pyöräparin perusympyröiden yhteiseltä tangentilta. [6, s. 255.]

Suomessa ja muuallakin maailmassa on evolventtihammastus standardisoitu niin, että ryntökulmana on 20° . Tästä huolimatta jotkut valmistajat käyttävät silti toista perusryntökulmaa, mm. 25° . Tällä on huomattu olevan omanlaisiaan etuja käytännössä. [6, s. 255.] Tänä päivänä markkinoilta löytyy myös sellaisiakin moduliteriä, joiden ryntökulma on 20° , mutta niissä käytetään hampaanpään kevennystä. Tämä terä kaventaa hampaan pään ohuemmaksi, jolla saadaan hammaspyörien käyntiääntä pienennettyä ja pyörintää tasaisemmaksi.

Suoran evolventtihammaan valmistuksen helppous on suurin syy siihen, että evolventtihammasmuoto on saavuttanut nykyisen valta-asemansa eri kylkimuotojen keskuudessa. Muita kylkimuotoja ovat mm. sykloidi- ja wildhaber-noviko (WN)-hammastus. Evolventtihammaan kyljet voi valmistaa monella eri tavalla mm. vierintäjyrsinkoneella, vierintäpistokoneella, manuaalijyrsinkoneessa kiekkoaihiolla, kampapistolla tai hiomalla. Näistä vierintäjyrsinkoneella valmistus on yleisin tapa, sillä se on nopea ja helppo hammaspyörien valmistusmuoto. Hiontaa käytetään silloin, kun kovaksi karkaistujen hammaspyörien hampaiden on oltava tarkkuusluokaltaan IT6 tai sitäkin parempi. [6, s. 256–257.] Vierintäpiston käyttö on hitaampaa kuin vierintäjyrsinkoneen, koska sillä ei voida valmistaa montaa kappaletta kerralla. Se sovel-

tuu parhaiten yhden kappaleen tai sellaisten kappaleiden valmistukseen, joissa hammastus- tai uritusliitoksien pohja täytyy olla jotain tiettyä otsapintaa vasten.

Evolventtihammastuksella saavutettuja etuja:

- Evolventtihammaspyörissä on suuri valmistustarkkuus.
- Valmistuksen aikana voidaan käyttää yksinkertaisia työkaluja.
- Akselivälissä esiintyvät pienet virheet eivät haittaa pyörien todellista toimintaa.
- Evolventtipyörät sopivat yleisesti toisiinsa.
- Evolventtihampaan tarkistusmittaus on helppo tehdä. [6, s. 257.]

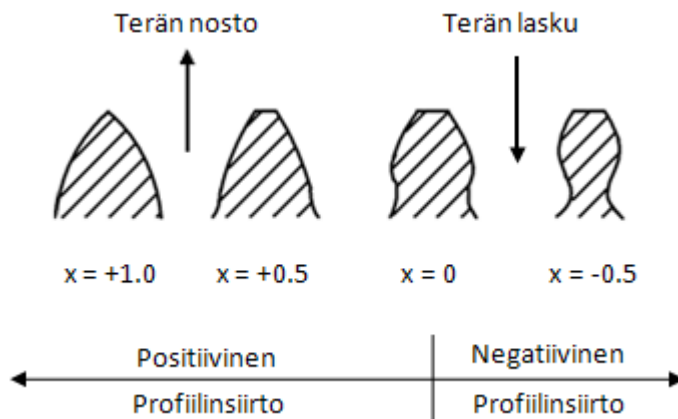
Evolventtihammastukseen kuuluu myös profiilinsiirto. Profiilinsiirto muuttaa hampaan muotoa positiiviseksi taikka negatiiviseksi, mikä muuttaa samalla evolventtihampaan ryntökulmaa suuremmaksi tai pienemmäksi.

3.2 Profiilinsiirto

Profiilinsiirto tarkoittaa hampaan muodon positiivisuutta tai negatiivisuutta. Vierintätyöstössä profiilinsiirto saadaan aikaan siten, että leikkaavaa terää työnnetään, joko työkappaleen keskiötä kohti, jolloin saadaan negatiivinen profiilinsiirto, tai pois päin kappaleen keskiöstä, jolloin saadaan aikaan positiivinen profiilinsiirto. [6, s. 259.]

Profiilinsiirtoa tarvitaan käytännössä lähes aina, kun tavoitteena on esimerkiksi standardoituun akseliväliin pääseminen tai jossakin tapauksissa, jos halutaan lujuuden takia paksuntaa hammasta tyvestä. Myös akselivälin säätö toteutetaan profiilinsiirrolla. [7, s. 248.]

Positiivisella profiilinsiirrolla tarkoitetaan hampaan tyven vahventamista ja kärjen ohentamista. Negatiivisella profiilinsiirrolla tarkoitetaan vastaavasti hampaan tyven ohentamista ja kärjen paksuntamista. Profiilinsiirtoa on havainnollistettu kuvan 7 avulla, joka on mallinnettu kirjan kuvan mukaisesti. [7, s. 248.]



Kuva 7. Profiilisiirron vaikutus hampaan muotoon.

Jos kahden yhdessä pyörivän profiilinsiirtokertoimen summa on pienempi tai suurempi kuin 0, ryntökulma α muuttuu vastaavasti, negatiivisella profiilinsiirrolla pienemmäksi ja vastaavasti positiivisella suuremmaksi kuin perusryntökulma. [6, s. 259.] Yleensä hammaspyörien valmistuksessa pyritään jättämään hampaanmuoto positiiviseksi, jolloin hammas olisi tyvestä paksumpi ja näin ollen kestäisi paremmin kaikki momentit ja erinäiset rasitukset.

Positiivisen tai negatiivisen profiilinsiirron mukaan hammaspyörä on nimetty V+ tai V- pyöräksi, ja sellaisia hammaspyöriä, joissa ei ole profiilinsiirtoa, kutsutaan 0-pyöräksi. Kaikkia näitä pyörämalleja voidaan käyttää rajoituksetta keskenään ja niistä muodostuu seuraavat pyöräparityypit:

- V+ -pyöräpari. Hammaspyörien yhteinen profiilinsiirtosumma $x_1 + x_2$ on positiivinen ($a_w > a$).
- V- -pyöräpari. Hammaspyörien yhteinen profiilinsiirtosumma $x_1 + x_2$ on negatiivinen ($a_w < a$).
- V₀- pyöräpari. Profiilinsiirtokertoimet ovat erimerkkiset, mutta itseisarvoltaan samansuuruiset ($a_w = a$).
- 0- pyöräpari. Kumpikin hammaspyörä on ilman profiilinsiirtoa ja todellinen akseliväli (a_w) on samansuuruinen kuin perusakseliväli (a). [6, s. 259].

4 SUORAKYTKENTÄVAIhteiston SUUNNITTELU JA VALMISTUS

Suunnitteluprosessissa täytyi suunnitella kaikki hammaspyörät ja akselit alkuperäisen vaihteiston kuoriin. Suunnittelun lähtökohtana oli jättää alkuperäiset siirtotangot ja siirtäjät paikoilleen, jos mahdollista. Tilaavalta yritykseltä tuli selvät ohjeet materiaalin valinnassa ja hammaspyörien lämpökäsittelyssä.

4.1 Suunniteltavat osat

Koko suunnitteluprosessin lähtökohta oli purkaa vakiovaihteisto akseleiksi pöydälle, kuten kuvassa 8 on esitetty. Tästä lähtökohdasta päästiin mittailemaan akseleiden pituudet ja hammaspyörät sekä tutustumaan muutenkin vaihteiston rakenteeseen. Suunniteltavista kappaleista löytyy esimerkkikuvat liitteessä 2.



Kuva 8. Synkronoitu vakiovaihteisto.

4.1.1 Akselit ja akselivälit

Pääakselin pituus pysyi samana kuin vakiovaihteistossakin. Ryhmäakseli mitoitettiin suunnitteluvaiheessa samanpituiseksi kuin vakiovaihteistossakin, mutta kokoamisvaiheessa huomattiin, että akselin täytyi olla kolme millimetriä pidempi. Syy pidentämiseen on selitetty tarkemmin kohdassa 5.

Akseleille tulevat tukilaakerit täytyi mitoittaa alkuperäisille paikoille, jotta ei tarvitse valaa tai muuttaa vaihteiston kuoria uudelleen. Akseleiden uritusliitoksilla (tunnetaan myös pooreina) on valmistukseen tarkoitettuja standardeja. Vaihteistojen uritusliitoksia ei tarvinnut kuitenkaan suunnitella näiden standardien mukaan, vaan ne pystyivät olemaan mielivaltaisia. Yritys on itse suunnitellut kaikki uritusliitoksensa ja näille kaikille valmistanut avartimet valmistusta varten. Suunniteltavaan vaihteistoon täytyi siis huomioida, mitä valmiita avartimia uritusliitoksien valmistamiseen tuotteen tilaavalla yrityksellä oli valmiina. Sen mukaan täytyi mitoittaa uritusliitokset, jotka samalla määräsivät akselin halkaisijat siltä kohtaa. Ainut uritusliitos, joka täytyi jättää alkuperäiseksi, oli kytkimelle tarkoitettu uritus, joka sijaitsee pääakselin päässä. Tämä uritusliitos jätettiin alkuperäiseksi siksi, että tilaajan ei tarvitse enää muuttaa kytkintä autoonsa, joten hän säästyy turhilta lisäkustannuksilta.

Akseleiden halkaisijat määräytyivät sen mukaan, minkä kokoiset ovat uritusliitokset sekä mitä laakereita akseleilla käytettiin. Akseleiden laakeripinnoille täytyi jättää 0,25 mm työvarat, jotka koneistettiin lämpökäsittelyn jälkeen todelliseen mittaan. Akselit mitoitettiin mahdollisimman paksuiksi, jotta saataisiin suuri lujuus. Paksuuden mitoittamisessa täytyi kuitenkin huomioida käytettävät laakerit ja akseleille tulevien kiinteiden hammaspyörien päähalkaisijat.

Akselivälin mittaaminen täytyi selvittää ennen geometrian laskentaa, joka on selostettu kohdassa 4.3. Akselivälin mittaaminen pää- ja ryhmäakselin väliltä saatiin mitattua vaihteiston kuorissa olevien laakeripesien väliltä työntömitalla. Perävälityksen akselivälin mittaaminen ei onnistunut työntömitalla, koska laakeripesät olivat etäällä toisistaan. Akselivälin mittaaminen tapahtui jyrsinkoneessa, jossa saatiin poraa hyväksikäyttäen keskitettyä laakeripesät. Ensin täytyi selvittää toisen laakeripesän keskipiste ja tähän nollata jyrsinkoneen mittanäyttö. Seuraavaksi keskitettiin toisen laakeripesän keskipisteeseen, jonka jälkeen saatiin mittanäytöstä katsottua x- ja y-mitat. Tämän jälkeen trigonometrian avulla pystyttiin määrittämään akseliväliksi 105 millimetriä.

4.1.2 Hammaspyörät

Alkuperäisessä vaihteistossa hammaspyörien leveys on 16 mm. Hammaspyörien kestävyys ja lujuuden parantamiseksi niitä levennettiin 18 mm:iin. Tällä muutoksella parannettiin hammaspyörien kestävyttä. Leventämisessä täytyi ottaa huomioon akseleille tulevien hammaspyörien pyöräparit ja niiden keskeisyys toisiinsa nähden. Tässä kohdassa apukuvien piirtäminen toiselle paperille oli tärkeää, jotta muistettaisiin, mihin suuntaan hammaspyöriä on levennetty.

Hammaspyörän laakeripinnan leveys saatiin käytettävän neulalaakerin leveydestä, josta vähennettiin 0,1 mm. Hammaspyörään jää pieni välys, jolla varmistettiin hammaspyörän vaivaton pyöriminen neulalaakerin päällä. Hammaspyörien sisähalkaisijat tulevat neulalaakereiden tai uritusliitoksien mukaan ja ulkohalkaisijat tulevat geometrialaskentojen jälkeen. Neulalaakereilla varustettujen hammaspyörien sisähalkaisijaan täytyi jättää 0,25 mm:n työvarat. Sisähalkaisijat koneistettiin lämpökäsittelyn jälkeen oikeaan mittaan. Joidenkin hammaspyörien otsapintaan täytyi valmistaa syvennykset. Näillä syvennyksillä saatiin säädettyä hammaspyöräparit samalle tasolle keskenään.

KytKentäpalojen ulko- ja sisähalkaisijoilla ei ole mitään standardia, joten ne pystyivät olemaan mielivaltaisia. Mutta halkaisijoissa täytyi huomioida seuraavia asioista. Sisähalkaisijassa täytyi ottaa huomioon siirtoholkin ulkohalkaisija, jotta kytKentäpalan sisähalkaisija ei tule pienemmäksi kuin siirtoholkin ulkohalkaisija. Siirtoholkki on selitetty kohdassa 4.1.4. KytKentäpalan ulkohalkaisijaan mitoittaessa täytyi ottaa huomioon kytKentärenkaan ulkohalkaisija. KytKentäpalojen halkaisijat on selitetty kohdassa 4.1.3. Edellä mainitusta kohdassa selviää myös miten kytKentäpalojen korkeus on mitoitettu.

Kun ryhmäakselille ja pääakselille tulevat peruutusvaihteen hammaspyörät suunniteltiin alkuperäisien pyörien halkaisijoiden sekä hammasvälimittojen mukaan, niin kolmannelle akselille tuleva peruutusvaihteen hammaspyörä voitiin jättää alkuperäiseksi. Edellä mainittu säästäisi aikaa vaihteiston sarjatuotannossa.

Alkuperäisessä vaihteistossa synkronointilaitteisto oli samassa paketissa ryhmäakselille tulevan peruutusvaihteen hammaspyörän kanssa, joten kytKentären gas tuli suunnitella peruutusvaihteen hammaspyörään. Hammaspyörään tuli kummallakin puolelle kytKentäpalat, jotka jyr sittiin kappaleen otsapintojen sisäpuolelle, kuten kuvassa 9 on esitetty.



Kuva 9. Peruutusvaihteen hammaspyörä, jossa kytkentärenkaat.

4.1.3 KytKentärengas

KytKentärengas on se vaihteiston elin, joka kytkee halutun vaihteen päälle. Se liikkuu vaihteistossa yhden tai kahden vaihteen välillä akselin pituuden suuntaisesti. Suunniteltavaan vaihteistoon kytkentärenkaita tuli yhteensä kolme kappaletta. Yksi sellainen, jossa on kummallakin puolella kytkentäpalat. Yksi sellainen, jossa on vain toisella puolella kytkentäpalat sekä yksi sellainen, jossa on kummallakin puolen kytkentäpalat ja se on samassa hammaspyörässä ryhmäakselille tulevan peruutusvaihteen kanssa.

Jokaisessa kytkentärenkaassa on kolme kytkentäpalaa, jotka ottavat kiinni hammaspyörässä oleviin kytkentäpaloihin. Kuvassa 10 on esitetty viidennen vaihteen hammaspyörän sekä kytkentärenkaan kytkentäpalat. Kuvasta huomataan hammaspyörässä olevan suorat kytkentäpalat, kun vastaavasti kytkentärenkaassa on vinot palat, jotka kapenevat keskipistettä kohti. Tähän on syynä se, että kun kummatkin ovat ulko- ja sisäpinnoista samalla halkaisijalla, niin pyörähtäessään vierekkäin kytkentäpalojen sivupinnat ovat kohtisuorassa toisiinsa nähden. Kytkentärenkaiden ja hammaspyörien kytkentäpalojen sivupinnat valmistettiin seitsemän asteen kulmaan, jotta vaihteen vaihtohetkellä palat ”imaisevat” vaihteen paremmin päälle.



Kuva 10. Hammaspyörä vasemmalla ja kytkentärenkas oikealla.

Vaihteet vaihdetaan ilman kytkintä, joten kytkentärenkaissa olevien kytkentäpalojen välit on oltava mahdollisimman avonaiset. Kolmella kytkentäpalalla saatiin hyvin väliä, jotta vaihtevaihtohetkellä kytkentäpalat eivät jää hiertämään toistensa päälle. Hiertäminen vahingoittaa kytkentäpalojen kulmia, jotka pääsevät iskujen takia pyöristymään. Kun kulmat pääsevät pyöristymään, vaihteet eivät mene hyvin päälle.

Kytkentärenkaiden sisäpintaan valmistettiin uritusliitos, joka samalla määrää kappaleen sisähalkaisijan. Kytkentärenkaaseen tulevan uran leveys ja ulkohalkaisija määräytyivät käytettävän siirtohaarukan mukaan. Kytkentärankaan lopullinen ulkohalkaisija mitoitettiin uran halkaisijan mukaan, jotta siirtohaarukka voisi liikuttaa kytkentärenkasta. Kytkentäpalojen korkeudeksi valittiin viisi millimetriä, joka on sama hammaspyörissäkin. Korkeus pystyi olemaan haluttu korkuinen, kunhan vain valmistti kumpaankin samankorkuiset kytkentäpalat. Kytkentärenkaan leveys määräytyi kytkentäpalojen korkeuden, siirtohaarukalle tarkoitetun uran ja siirtomatkan mukaan. Siirtomatalla tarkoitetaan sitä matkaa, jonka kytkentärenkaan täytyy siirtyä hammaspyörän/hammaspyörien välillä. Siirtomatka saatiin mitattua alkuperäisestä vaihteistosta, joka tässä tapauksessa oli 19 mm. Jos siirtomatkaa olisi muuttanut, olisi täytyntä muuttaa siirtotankojen liikerajaa vaihteiston kuorissa, joka samalla olisi muuttanut vaihdekepin liikematkaa.

4.1.4 Siirtoholkit

Siirtoholkkien sisä- ja ulkopintaan valmistettiin uritusliitokset. Sisä- ja ulkohalkaisijat määräytyivät halutun uritusliitoksen mukaan. Sisäpuolella oleva uritusliitos on liitoksissa akseliin, ja siirtoholkin ulkopinnan päällä liikkuu kytkentärenkas. Siirtoholkkien ulkopinnassa oleva uritusliitos estää kytkentärenkaan pyörimisen, kun kytkentärenkaalla on valittu haluttu vaihde. Kytkentärenkas lukitsee vaihteen ja alkaa pyörittämään siirtoholkkia, joka sisäpuolisen uritusliitoksen ansiosta lukittuu akseliin ja antaa näin akselille liikkeen pyörimiseen kytketyllä vaihteella.

Siirtoholkkien pituus saatiin hammaspyörien välisestä etäisyydestä akselin pituuden suuntaisesti mitattuna. Sisäpuolelle tulevan uritusliitoksen kohtaan vaikuttaa siirtoholkin sijainti akselissa. Kun siirtoholkki sijaitsi akselille tulevan uritusliitoksen loppupäässä, oli siirtoholkin uritusliitos tehtävä siirtoholkin toiseen päähän. Tällä varmistettiin siirtoholkin meneminen akselilla oikeaan kohtaan, koska vierintäkoneella valmistettavan uritusliitoksen loppuosaan jää moduuliterän halkaisijan mukainen säde. Kun siirtoholkki sijaitsi akselille tulevan uritusliitoksen välillä, voitiin siirtoholkin uritusliitos valmistaa siirtoholkin keskelle. Tällä saatiin siirtoholkkiin tasainen kuormitus, jonka kytkentärenkas aiheuttaa siirtoholkkiin vaihdetta kytkettäessä päälle. Siirtoholkin sisälle tulevan uritusliitoksen pituus mitoitettiin niin, että se kestää kytkentärenkaasta tulevat pituuteen nähden sivusuuntaiset voimat. Samalla pituuden mitoitamisessa huomioitiin uritusliitoksen koneistusaika.

4.1.5 Laakeriholkit

Tässä kohdassa on havainnollistettu liitteessä 2 olevaa kuvaa laakeriholkista.

Laakeriholkkien sisähalkaisija riippui siitä, mille kohtaa akselia kyseinen laakeriholkki sijoitettiin ja mikä halkaisija akselissa tuolla kohtaa oli. Ulkohalkaisija 37 mm on laakeripinta, joka määräytyi sen mukaan, mikä laakeri hammaspyörälle valittiin. Koska ulkohalkaisija 37 mm sekä laakeriholkin sisähalkaisija ovat laakeripintoja, niihin täytyi jättää 0,25 mm työvarat, jotka koneistettiin lämpökäsittelyn jälkeen todelliseen mittaan. Halkaisija 48 mm on mitoitettu sen mukaan, että se tukee hammaspyörää. Halkaisijaa mitoitettaessa tuli ottaa huomioon, onko laakeriholkin vieressä laakeria, joka tarvitsi voitelun, jotta halkaisija ei tullut liian suu-

reksi ja estänyt tämän takia öljyn pääsyä laakerin sisälle. Laakeripinnan pituus saatiin käytettävästä neulalaakerin leveydestä. Laakeriholkin kokonaispituus saatiin mitoitettua siten, että laakeriholkin päälle tuleva hammaspyörä oli samassa kohdassa toiselle akselille tulevan vastakkaisen hammaspyörän kanssa. Laakeripinnan pohjaan painettiin sorvin teräpalassa olevan nirkon verran uraa. Uralla poistettiin kappaleen pintaan tuleva säde, joka esti neulalaakerin menemisen pohjaan saakka.

4.1.6 Rakennemuutos

Alkuperäisessä vaihteistossa ryhmäakseli on koottu mutterin avulla, kuten kuvassa 11. Suunniteltavaan vaihteistoon tehtiin muutos mutterin suhteen. Ryhmäakseliin tuli ura, johon laitettiin katkaistu holkki. Tämän katkaistun holkin päälle sijoitettiin laippa-aluslevy, joka esti katkaistun holkin irtoamisen urastaan. Laippa-aluslevy pysyi paikoillaan ulkopuolisen pidätinrenkaan avulla. Tämän holkki- aluslevy- pidätinrenkas-yhdistelmän työkuvat ovat liitteessä 2. Se korvaa alkuperäisessä vaihteistossa olevan mutterin, joka pahimmassa tapauksessa saattaisi ajotilanteessa löystyä ja pyöriä kokonaan irti akselistä. Valmistuksen kannalta tämä rakennemuutos oli työläämpi, mutta sillä kuitenkin varmistettiin, että akseli ei pääse purkaantumaan kesken ajon.



Kuva 11. Alkuperäisen akselin kokoaminen mutterin avulla.

4.2 Välytyssuhde

Vaihteiston tarkoituksena on saada mahdollisimman suuri määrä välytyssuhteita. Autoissa on pääosin viisi vaihdetta eteenpäin ajoa varten ja yksi vaihde auton peruuttamiseen.

Hammaspyörävaihteen välytyssuhde on toistensa yhteydessä toimivien hammaspyörien hampaiden suhde. Tämä suhde ilmoittaa pyörimisnopeuden muutoksen. Esimerkiksi jos käytävässä hammaspyörässä on 20 hammasta ja käytettävässä 60 hammasta, niin välytyssuhde on tällöin 1:3. Käytettävä hammaspyörä siis pyörii yhden täyden kierroksen, kun käytävä hammaspyörä pyörii kolme kierrosta. Koska pienemmän hammaspyörän jokainen hammas joutuu kovemman rasituksen kohteeksi kuin suuremman hammaspyörän hampaat, pienemmät hammaspyörät saatetaan joskus valmistaa kovemmiksi kulumisen tasaamiseksi. [1, s. 71.]

Kilpa-autojen välytyssuhteet on joissakin ryhmäluokissa luokiteltu tietyntalaiseksi, joita kaikkien tulee silloin käyttää. Suunniteltavaan vaihteistoon ei ollut kuitenkaan luokiteltuja välytyksiä, joten tuotteen alkuperäinen tilaaja sai valita haluamansa välytyssuhteen. Välytyssuhteet on valittu mahdollisimman lähelle toisiaan, jotta autonmoottori pysyisi aina parhaalla tehoalueella, mikä on tärkeää kilpa-autoilussa. Tilaaja valitsi seuraavanlaiset välytyssuhteet laatikkoon:

1. vaihde	2.75
2. vaihde	2
3. vaihde	1.67
4. vaihde	1.437
5. vaihde	1.29
Perävälytyks	4.36

Välytyssuhteet saatiin laskettua kaavan 1 avulla.

$$i = \frac{z_2}{z_1} \quad (1)$$

missä z_2 on käytettävä pyörä ja z_1 käytävä pyörä. [6, s. 249.]

4.3 Geometrian laskenta

Hammaspyörien suunnittelussa, piirtämisessä ja valmistuksessa tarvitaan monia eri laskenta-kaavoja ja suuri määrä muuta tietoa hammaspyörän muodoista sekä mitoista. ”Hammaspyöräsuureet on standardisoitu. Suomalainen standardi perustuu kansainväliseen ISO-standardiin”. [4, s. 147.]

Hammaspyörien geometrian laskennassa helpotti yrityksellä oleva laskentaohjelma, joka on kuvattuna taulukko 1:ssä. Laskentaa helpotti, että kaikkia hammaspyöriä ei tarvinnut laskea paperille kynän ja laskimen avulla.

Taulukko 1. Hammaspyörien laskenta ensimmäiselle vaihteelle.

m	2,75	inv $\alpha = 0,014904$	
α	20		
z_1	12		
z_2	33		
a_w	65		
c	0,25		
C_8	4,5963		10,7946
	<i>Pieni pyörä</i>		<i>Iso pyörä</i>
jakohalkaisija	33		90,75
perushalkaisija	31,00986		85,27711
jako		8,6393808	
perusjako		62,83186	
perusakseliväli		61,875	
ryntökulma vierintäpinnalla	26,553787		0,036303
profiilinsiirto- kertoimien summa	1,3228414		0,661421
profiilinsiirtokertoimet	$x_1 = 0,55$		$x_2 = 0,772841$
pääkorkeuden lyhennys		5128138	
hampaan korkeus		5,6746862	
pääkorkeus	3,7496862		4,3625
tyvikorkeus	1,925		1,312186
päähalkaisija	40,499372		99,475
tyvihalkaisija	29,15		88,12563
tyvivälitys		0,6875	
Wk	13,674436		31,13895

missä m on moduuli, α on ryntökulma, z_1 on käytävän hammaspyörän hammasluku, z_2 on käytettävän hammaspyörän hammasluku, a_w on akseliväli, c on haluttu tyvivälys ja C_g on taulukkoarvo, joka löytyy liitteessä 1. Kun näihin kohtiin laitettiin suunniteltavat arvot, niin taulukosta selvisi kaikki tarvittavat mitat hammaspyörien valmistamiseen. Seuraavaksi on selitetty, mistä kaikki kyseiset arvot on saatu.

Moduuli m on tärkeä hammaspyöräsuure. Se ilmoittaa hampaan kokoluokan. Se saatiin kaavan 2 mukaisesti.

$$m = \frac{p}{\pi} \quad (2)$$

missä p on jako. [4, s. 148.]

Yleinen hammaspyörän ryntökulma α on 20° , joka on selostettu kohdassa 3.1. Hammasluvut z_1 ja z_2 tulivat halutun välityssuhteen mukaan, joka on selostettu kohdassa 3.2. Akseliväli a_w tuli vaihteiston kuorista mitattu lukema, joka on selostettu kohdassa 3.1.1. Tyvivälys c on 0.25, joka saatiin kaavan 17 avulla. Taulukkoarvo C_g tuli taulukosta, joka löytyy liitteestä 1, esimerkiksi z_1 on 12, niin taulukosta saadaan hampaalle arvoksi 4,5963.

Taulukosta 1 saaduilla tuloksilla pystyttiin valmistamaan mittatarkkoja hammaspyöriä. Seuraavaksi on esitetty taulukossa esiintyvien suoraahampaisten lieriöhammaspyöräparien tulosten laskentakaavoja standardin SFS 3389 mukaisesti.

Jakohalkaisija (d)

$$d = m * z_1 \quad (3)$$

missä d on jakohalkaisija, m on moduuli ja z_1 on käytävän hammaspyörän hammasluku [8, s. 254].

Perushalkaisija (d_b)

$$d_b = \cos a * d \quad (4)$$

missä a on ryntökulma ja d on jakohalkaisija [8, s. 254].

Jako (p)

$$p = m * \pi \quad (5)$$

missä m on moduuli [8, s. 254].

Perusjako (p_b)

$$p_b = \pi * m * \cos a \quad (6)$$

missä m on moduuli ja a on ryntökulma [6, s. 261].

Perusakseliväli (a)

$$a = \frac{m(z_1 + z_2)}{2} \quad (7)$$

missä m on moduuli, z_1 on käytävän hammaspyörän hammasluku ja z_2 on käytettävän hammaspyörän hammasluku [8, s. 254].

Ryntökulma vierintäpinnalla (cos α_w)

$$\cos \alpha_w = \frac{\cos \alpha * a}{a_w} \quad (8)$$

missä α ryntökulma, a on perusakseliväli ja a_w on akseliväli [8, s. 254].

Profilinsiirtokertoimien summa (x₁+x₂)

$$\frac{z_1 + z_2}{(2 * \tan \alpha) * (\cos \alpha_w - \operatorname{inv} \alpha)} \quad (9)$$

missä z_1 on käytävän hammaspyörän hammasluku, z_2 on käytettävän hammaspyörän hammasluku, α on ryntökulma, $\cos \alpha_w$ on ryntökulma vierintäpinnalla ja $\operatorname{inv} \alpha$ on evolventtifunktio. [8, s. 254].

Profilinsiirtokerroimet (x)

x_1 on taulukosta

$$x_2 = (x_1 + x_2) - x_1 \quad (10)$$

missä x_2 on profilinsiirtokerroin, $x_1 + x_2$ on profilikertoimien summa ja x_1 on profilinsiirtokerroin [8, s. 254].

Pääkorkeuden lyhennys (Δh_a)

$$\Delta h_a = m * \left(\frac{z_1 + z_2}{2} + x_1 + x_2 \right) - a_w \quad (11)$$

missä m on moduuli, z_1 on käytettävän hammaspyörän hammasluku, z_2 on käytettävän hammaspyörän hammasluku, x_1 on profilinsiirtokerroin, x_2 on profilinsiirtokerroin ja a_w on akseliväli [8, s. 254].

Hampaan korkeus (h)

$$h = 2,25 * m - \Delta h_a \quad (12)$$

missä 2,25 on vakioarvo, m on moduuli ja Δh_a on pääkorkeuden lyhennys [8, s. 254].

Pääkorkeus (h_a)

$$h_a = m(1 + x_1) - \Delta h_a \quad (13)$$

missä m on moduuli, 1 on vakioarvo, x_1 on profilinsiirtokerroin ja Δh_a on pääkorkeuden lyhennys [8, s. 254].

Kun x_1 :sen paikalle sijoitetaan x_2 , niin saadaan käytettävän hammaspyörän pääkorkeus.

Tyvikorkeus (h_f)

$$h_f = m * (1,25 - x_1) \quad (14)$$

missä m on moduuli, 1,25 on vakioarvo ja x_1 on profilinsiirtokerroin [8, s. 254]. Kun x_1 :sen paikalle sijoitetaan x_2 , niin saadaan käytettävän hammaspyörän pääkorkeus.

Päähalkaisija (d_a)

$$d_a = d + 2h_a \quad (15)$$

missä d_a on päähalkaisija, d on jakohalkaisija ja h_a on pääkorkeus [8, s. 254].

Tyvihalkaisija (d_f)

$$d_f = d - 2h_f \quad (16)$$

missä d on jakohalkaisija ja h_f on tyvikorkeus [8, s. 254].

Tyvivällys (c)

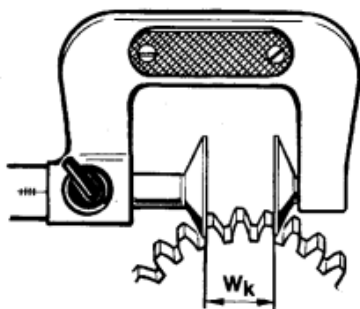
$$c = 0.25 * m \quad (17)$$

missä m on moduuli [6, s. 261].

Hammasvälimita (W_k)

$$W_k = m * (C_8 + (2 * x_1 * \sin a)) \quad (18)$$

missä m on moduuli, C_8 on taulukkoarvo, x_1 on profiilinsiirtokerroin, a on ryntökulma ja k on monenko hampaan yli mitataan, kuten kuvassa 12 on esitetty. (Taulukko löytyy liitteestä 1). Kun x_1 :sen paikalle sijoitetaan x_2 , niin saadaan käytettävän hammaspyörän hammasvälimita.



Kuva 12. Hammasvälimitaus [9, s. 403].

4.4 Materiaali

Hammaspyöriltä vaaditaan hyvää kulumiskestävyyttä, hyvää lujuutta, etenkin väsymislujuutta ja kestävyyttä äkillisissä sysäyksissä ja suurissa iskuvoimissa, joita aiheutuu, kun vaihde kytkeään päälle ilman kytkintä suorakytkentävaihteistossa. Materiaaliksi voidaan valita hiiletysteräs. Koneistettaessa sitä pehmeänä lastuttavuus on hyvä sen hiilipitoisuuden ansiosta ja siitä voidaan valmistaa vaivattomasti erilaisia hammaspyöriä. Koneistamisen jälkeen kappaleet hiiletyskarkaistiin, josta tarkemmin kohdassa 4.7. Hammaspyöriä ja -akseleita voidaan valmistaa myös nuorrutusteräksestä.

Materiaaliksi valittiin yrityksen ohjeiden mukaan hiiletysteräs MoCN 206M, jota AKE-GEARS Oy on käyttänyt kaikissa valmistamissaan vaihteistoissa ja todennut sen olevan käytännössä paras mahdollinen tähän käyttötarkoitukseen. Tästä syystä materiaalin valinta oli helppo tehdä.

4.5 Laakerointi

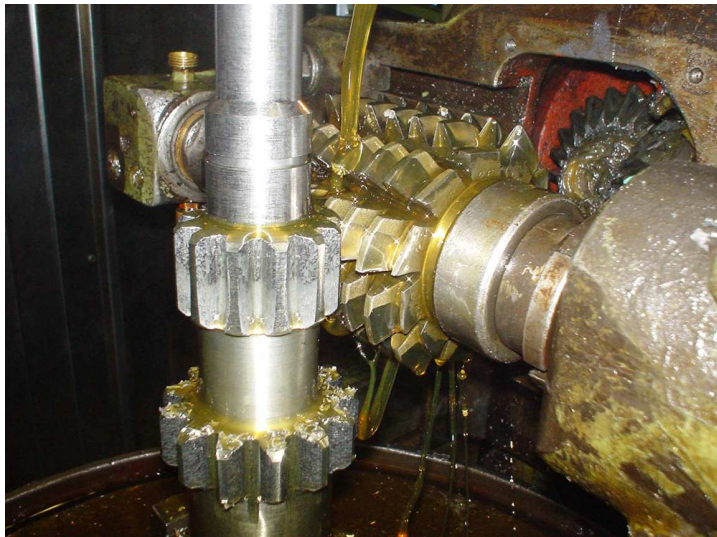
Yleisesti laakerin tehtävänä on tukea ja ohjata pyöriviä tai edestakaisin liikkuvia koneenosia. Tukivoimien vaikuttaessa kohtisuoraan akselia vastaan puhutaan säteislaakerista. Jos akselin suuntaisia voimia kohdistuu laakeriin, silloin tarvitaan erillinen aksiaalilaakeri. Laakerit jaetaan varsinaisen rakenneratkaisun perusteella vierintälaakereihin ja liukulaakereihin. Suurin osa vierintälaakerityypeistä voi kantaa aksiaalista ja radiaalista kuormaa samanaikaisesti. Liukulaakereissa voimat siirtyvät usein voitelukalvon kautta akselista laakeriin. Vierintälaakereissa voimia välittävät erityisesti vierintäosat, joita ovat kuulat, rullat tai neulat. Näiden vierintäosien kosketus on teoreettisesti vain piste tai viiva. [7, s. 155.]

Vaihteistoon jätettiin alkuperäiset urakuulalaakerit, jotka tukivat akseleita vaihteistossa olevien laakeripesien avulla ja näin ollen ovat akselien tukilaakereita. Laakerit pysyivät alkuperäisinä siitä syystä, että samaa ulkohalkaisijaa olevia laakereita ei ole laakerituottajien yleisissä laakeriluokituksissa. Tämän takia laakereiden hinta olisi noussut valmistuksen kannalta liikaa. Samalla jätettiin alkuperäiset kartiorullalaakerit, jotka olivat tasauspyörästön kitkalukon päätylaakereina.

Ryhmäakselille tulevien hammaspyörien alle sijoitettiin neulalaakerit, joissa on ohuet ja pitkät lieriömäiset rullat. Matalasta poikkileikkauskorkeudestaan huolimatta neulalaakereilla on suuri kantokyky ja ne olivat näin ollen sopivin vaihtoehto laakerointiin, koska säteittäistä tilaa oli vähän [10, s. 415].

4.6 Valmistus

Konkreettisen tuotteen valmistus tapahtui manuaalikoneilla, koska jokainen kappale oli yksilöllinen mittojen ja muotojen suhteen. Hammaspyörien ja akselien aihoiden sorvaukset tehtiin manuaalisorvilla, kytKentäpalojen jyrshintä tapahtui manuaalijyrsinkoneella, hammaspyörien hampaan sekä akselien uritusliitokset jyrshintiin vierintäjyrsinkoneella, kuten kuvassa 13 on esitetty.



Kuva 13. Hammaspyörän jyrshintä vierintäjyrsinkoneella.

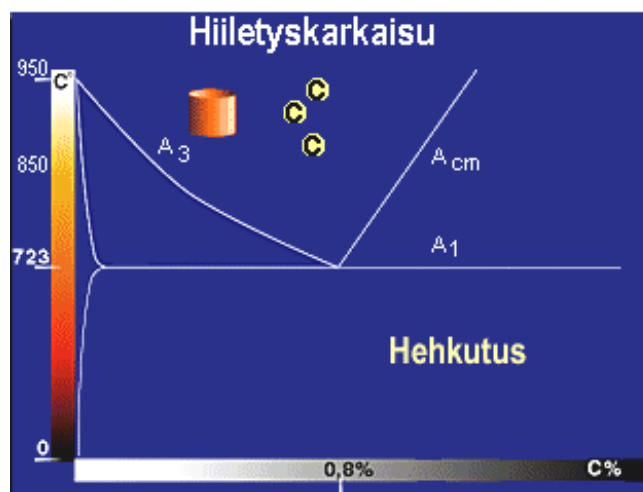
Uritusliitokset kappaleiden sisälle saatiin valmistettua valmiiden avartimien avulla, joka painettiin prässissä kappaleiden reiän läpi. Avartimessa on monta ottavaa hammasta, ja jokaisella hampaalla avartimen halkaisija kasvaa 0,2 millimetriä ja viimeisessä avartimen hampaassa on uritusliitoksen lopullinen mitta.

4.7 Lämpökäsittely

Lämpökäsittelystä tunnetuin on karkaisu, jota on käytetty suunniteltavan vaihteiston hammaspyörin ja akselien pinnankovetuksessa. Materiaalin valinnan mukaan määräytyi, millainen karkaisu pyörille ja akselille parhaiten sopi. Materiaalin valinnassa käytettiin hiiletyste-rästä, joten kappaleille valittiin hiiletyskarkaisu yrityksen ohjeiden mukaisesti. Kappaleita ei voinut itse karkaista, joten ne täytyi lähettää karkaistavaksi Bodycotelle Pieksämäelle.

Hiiletyskarkaisu

Karkaisun määritelmänä on termokemiallinen prosessi korkeassa lämpötilassa, kuten kuvassa 14 on esitetty, jossa niukkahiilisen teräksen pinta hiilipitoisuus nostetaan tasolle 0,65–0,9 %. Kappaleet ovat karkaisun jälkeen pinnasta kovia, mutta kuitenkin sisäosa jää sitkeäksi. Soveltuvuus on normaalisti alle 0,2 % hiiltä sisältäville niukkaseosteisille teräksille. Hiiletyskarkaisu soveltuu kappaleille, joiden pinta on kulumiselle ja/tai väsymiskuormitukselle altis. Esimerkiksi hammaspyörät ja -akselit, nokka-akselit, jne. [11].



Kuva 14. Hiiletystapahtuma. [11.]

Karkaisu tapahtuu neljässä vaiheessa.

- Kuumennus tapahtuu hiiletyslämpötilaan 900–950 °C välillä.
- Pito hiiletyslämpötilassa, joka tapahtuu ohjatussa hiilettävässä atmosfäärissä 0,5–50 tunnin ajan.
- Sammutus tapahtuu öljyyn, veteen tai suolaan, mikä riippuu materiaalista.
- Päästö matalassa lämpötilassa, joka tapahtuu yleensä huoneen lämpötilassa.

Lopputuloksena hiiletyskarkaistavien kappaleiden pinta (0,05–3,5 mm) on muuttunut noin 60 HRC:n kovuuteen ja kulutusta kestäväksi, sisustan pysyessä pehmeämpänä ja sitkeämpänä matalamman hiilitason takia. Hiiletyskarkaistun pintakerroksen puristusjännitystilän takia väsymislujuus kasvaa oleellisesti. [11.]

5 SUUNNITTELUPROSESSIN ANALYSOINTI

Suunnittelun tulos olisi näyttänyt paperilla hyvältä ja kaikkia virheitä vaihteiston toiminnassa ei olisi tullut huomaamaan ilman konkreettista tuotetta. Tuotteen koneistamisen aikana huomattiin joitakin virheitä, jotka kuitenkin pystyttiin korjaamaan heti. Pääakselille tulevan viidennen vaihteen uritusliitos olisi jäänyt liian lyhyeksi, jolloin hammaspyörä ei olisi mennyt oikeaan kohtaan akselille. Näin ollen hammaspyörät eivät olisi olleet samalla tasolla ryhmäakselilla olevan vastapyörän kanssa. Tämän sai korjattua lyhentämällä hammaspyörän sisälle tulevan uritusliitoksen kosketuspintaa yhdellä millimetrillä.

Vaihteiston osien lämpökäsittelyn jälkeen laakeripinnat täytyi koneistaa todelliseen mittaan, ennen kuin osia päästiin laittamaan paikoilleen. Tämän jälkeen huomattiin loputkin suunnittelun aikana tulleet virheet. Moni virhe oli tullut ensimmäiseen vaihteeseen. Ryhmäakselin ensimmäiseen vaihteeseen täytyi koneistaa suurempi sisäpuolinen syvennys, koska vaihteiston kuorissa oleva olake otti hammaspyörän otsapintaan kiinni ja näin ollen ryhmäakseli ei mennyt oikeaan kohtaan kuorissa. Ensimmäisen vaihteen alle tulevassa laakeriholkissa oleva laippa oli liian suuri, ja se esti tukilaakerille öljyn pääsyn, koska laippa oli juuri sen kokoinen kuin laakerin ulkokehän sisähalkaisija. Laakeriholkin laippaan tehdyllä olakkeella öljy pääsi tukilaakerille.

Hammaspyörien leventämisessä olisi täytynyt ottaa huomioon kolmannelle akselille tuleva peruutusvaihteen hammaspyörä. Peruutusvaihteen hammaspyörä oli liian leveä ja näin ollen otti kiinni ryhmäakselin ja pääakselin ensimmäisen vaihteen hammaspyöriin. Korjausmuutoksena peruutusvaihteen hammaspyörää kavennettiin kolme millimetriä, jolloin se sopi oikeaan kohtaan. Kuitenkin kaventamisen jälkeen virhe siirtyi vastaavasti toiseen kohtaan. Peruutusvaihteen hammaspyörän siirtoon tarkoitettu vaihteensiirtovivusto oli vastaavasti kolme millimetriä liian väljä peruutusvaihteen hammaspyörään. Tämän sai korjattua hitsaamalla ainetta vaihteensiirtovivustoon ja hiomalla sen sopivaksi peruutusvaihteen hammaspyörään.

Kun viides vaihde ei ollut kytkettynä, kytkentärenkas tuli puoliksi irti siirtoholkista, mutta pysyi tässä prototuotteessa paikallaan. Kytkentärenkas ei kuitenkaan päässyt menemään poikittain siirtoholkin päällä, mikä olisi estänyt kytkentärenkaan liikkumisen. Tämän tilanteen korjaamiseksi viidennen vaihteen siirtoholkkia täytyi pidentää viisi millimetriä. Samalla täytyi pidentää ryhmäakselia. Sen pidentämiseen tarvitsi vain kolme millimetriä, koska akselissa oli

alkujaan vähän ylimääräistä. Pidentämisessä piti huomioida myös ryhmäkselissa olevien urien muuttaminen oikeaan kohtaan.

Asiakkaan suunnittelua varten toimittamassa vakiovaihteistossa oleva tasauspyörästön kitkalukko oli suunniteltu siten, että perävälityksen iso hammaspyörä tulee lukkoon kiinni puristusliitoksella. Samalla periaatteella myös suorakytkentään suunniteltiin kiinnitys. Myöhemmin asiakas oli kuullut, että vaihteistoon sopii paremmin toisenlainen tasauspyörästön kitkalukko, jonka hän halusi vaihteistoon ja toimittikin sen ennen kokoamista. Uuden lukon saapuessa ja sitä tarkasteltaessa huomattiin, että hammaspyörän kiinnityksen olisi voinut suunnitella pulttien avulla lukkoon, niin kuin on monissa muissa vaihteistossa ollut tapana. Pulttikiinnityksellä olisi saanut paljon varmemman kiinnityksen perävälityksen hammaspyörään. Asiakas halusi varmistaa puristusliitoksen lisäksi hammaspyörän kiinnityksen hitsaamalla. Asiakkaalle hitsaus tuo luultavasti henkisen tuen siihen, että hammaspyörä pysyy kiinni, mutta todellisuudessa hitsaaminen ei ole kannattavaa.

Kaikkien suunnitteluprosessin jälkeen tulleet muutokset tuli päivittää vaihteiston kuviin muutoksien mukaan. Tämän jälkeen yritys pystyi ottamaan vaihteiston omaan tuotantokapasiteettiinsa.

6 TUOTTEENA SUORAKYTKENTÄVAIhteISTO

Tuotteena syntyi viisivaihteinen suorakytkentävaihteisto. Suorakytkentävaihteistojen käyttö kilpa-autoissa on hyvin yleistä. Vaihteistolla nopeutetaan vaihtenvaihtohetkeä, koska kytkintä ei tarvitse käyttää kuin liikkeelle lähdetessä. Kun ei tarvitse käyttää kytkintä, niin vetopito on koko ajan vetävillä pyörillä. Vaihteiston vaihteen kytkentä tapahtuu kolmen kytkentäpalan ansiosta nopeasti ja kevyesti. Kytkentärenkaiden ja hammaspyörien kytkentäpalojen sivupinnat valmistettiin seitsemän asteen kulmaan, jotta vaihteen vaihtohetkellä palat ”imaisevat” vaihteen paremmin päälle. Vaihteen kytkentään ei tarvitse käyttää suurta voimaa, mutta vaihteen vaihto täytyy tehdä terävästi. Kytkentäpalojen välit ovat suuret, joten kytkentäpalojen kulmat pysyvät terävinä eivätkä pyöristy samalla tavalla kuin kuudella kytkentäpalalla.

Vaihteisto suunniteltiin tilaajalta tulleisiin alkuperäisiin vaihteiston kuoriin, joita ei tarvinnut muuttaa millään tavalla. Suunnittelun jälkeen valmistettu konkreettinen tuote on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15. Citroën Saxon suorakytkentävaihteisto.

Tuotteeseen täytyi suunnitella yhteensä 21 erilaista kappaletta, jotka käytettiin lämpökäsittelyssä. Lämpökäsittelyn jälkeen kappaleet ovat pinnasta kovia sekä iskunkestäviä ja sisäosasta sitkeä. Pinnan kovuus on 58–62 HRC.

Tilaaajan kilpa-auto on rakennettu SS-ryhmän sääntöjen mukaiseksi. Sen ryhmän säännöissä ei ole määrättyjä välityssuhteita, joten tilaaja sai itse määrittää haluamansa välityssuhteen vaihteistoon. Tilaaja halusi seuraavanlaiset välityssuhteet vaihteistoonsa:

1. vaihde	2.75
2. vaihde	2
3. vaihde	1.67
4. vaihde	1.437
5. vaihde	1.29
Perävälitys	4.36

Pääakselissa käytettiin kahta alkuperäistä tukilaakeria. Akselissa on kolme hammaspyörää kiinteästi kiinni, jotka ovat ensimmäinen, toinen ja peruutusvaihde. Kolmas ja neljäs vaihde on yhtenäinen pyörä, joka tuli akseliin uritusliitoksella kiinni. Tällä estettiin pyörien pyörähtäminen akselissa. Akselin päähän tuli viides vaihde tukilaakerin jälkeen uritusliitoksella kiinni. Koska tukilaakeri tulee ennen viidettä vaihdetta akseliin, sillä saatiin tukilaakereiden välinen etäisyys lyhyeksi. Lyhyellä etäisyydellä estettiin akselin vääntymiset ja taipumiset. Koko akseli koottiin ulkopuolisen pidätinrenkaan avulla.

Ryhmäakselilla ei ole yksikään vaihteiden hammaspyörä kiinni akselissa, vaan kaikki hammaspyörät pyörivät vapaasti neulalaakerin päällä. Ainut poikkeus on peruutusvaihteen hammaspyörä, joka liikkuu siirtoholkin päällä ja toimii samalla ensimmäisen ja toisen vaihteen välillä kytkentärenkaana. Vaihteiden välissä on kytkentärenkaat, jotka lukitsevat halutun vaihteen. Kun vaihde lukitaan kytkentärenkaalla, sen alapuolella on siirtoholkki, joka on uritusliitoksella akselissa ja näin ollen lähtee pyörittämään akselia. Ryhmäakselin kokoaminen tapahtui rakennusmuutoksen jälkeen katkaistun holkin, aluslevyn ja pidätinrenkaan avulla.

Perävälityksen iso hammaspyörä tuli tasaussyörästön kitkalukkoon kiinni puristusliitoksella. Puristusliitoksena käytettiin 0,1 mm.

Alkuperäisiä osia vakiovaihteistosta hyödynnettiin tukilaakerit, tasauspyörästä kitkalukkoon tulevat päätylaakerit. Pienien muutoksien jälkeen käytettiin myös siirtovivustot ja kolmannen akselin peruutusvaihteen hammaspyörä.

Vaihteiston hyödyt:

- Nopeuttaa vaihteen vaihtamista, kun ei tarvitse kytkeä.
- Pitää vedon koko ajan vetävillä pyörillä vaihteen vaihtamisen aikana.
- Kestää suurempia voimia kuin vinohampainen vaihteisto.

Haitta:

- Äänekkyyks on suurempi verrattuna vinohampaiseen vaihteistoon.

Lopputuloksena suorakytkentävaihteisto on sopivampi vaihtoehto kilpa-autoihin käytettäväksi kuin vinohampainen synkronointivaihteisto, koska kilpa-autoissa ei melulla ole merkitystä vaan tärkeämpää on nopea vaihteen vaihtuminen ja vaihteiston kestäminen kilpailusta toiseen.

7 POHDINTA

Tämän insinööriyön suurin teoreettinen tieto ja uudet kokemukset tulivat suunnittelun kautta. Aikaisemmin olen osannut suunnitella yksittäisiä vaihteiston osia ja valmistaa niitä, mutta kokonaisen vaihteiston suunnittelu on ollut hämärän peitossa. Tämän työn tekemisen aikana opin kuinka vaihteisto suunnitellaan ja samalla sain yleistä teoriatietoa erilaisista asioista liittyen suunnitteluun ja vaihteiston perustoimintoihin.

Suurimmat ongelmat kasaantuivat tämän insinööriyön kirjallisen osuuden tekemiseen. En voi kieltää, ettei suunnitteluprosessin aikana olisi ollut omia hankaluuksia ja aikaa vieviä ongelmia. Ongelmat eivät kuitenkaan olleet, niin suuria kuin teoreettisen osuuden valmistaminen määräaikaan mennessä. Ongelmaan vaikuttaa suurelta osaltaan vähäinen kokemus näin suuren asian kokoamiseksi tarpeeksi laajaksi ja antoisaksi kokonaisuudeksi.

Erilaisia lähteistä etsiessä kirjastoista ja internetistä huomasin, kuinka vaihteiston yleistä tietoa ja toimivuutta/käyttötarkoitusta oli saatavilla hyvin vähän. Internetistä löytämilläni sivustoilla oli suurimaksi osaksi puhetta yksittäisten hammaspyörien valmistamisesta tai niiden valmistajista. Yleisillä keskustelupalstoilla ihmiset kyselivät omien vaihteistojen ongelmista ja parhaita korjausneuvoja. Kirjastosta löytämieni kirjojen vaihteistoteoria pohjautui ja koostui suurimmaksi osaksi hammaspyörien geometrisistä laskentakaavoista. Suurimman tietopaketin sisältävä kirja, josta löytyi teoreettista asiaa vaihteistojen käytöstä ja toiminnasta, oli vuonna 1981 valmistettu TEK: Tekniikan tietokeskus osa 1. Muutoinkin aiheen kirjallisuus oli näyttänyt tulleen vuosien 1980–1990 välillä. Vaikka käyttämäni kirjallisuus ei ollutkaan tuoreinta painatusta, niin siitä huolimatta kaikki samat asiat olivat niissä kuin vuoden 2000 jälkeen painatuissa kirjoissa.

Työn tuloksena syntynyt vaihteisto ei suunnittelun osalta onnistunut täysin virheettömästi, mutta pienien muutoksien jälkeen siitä kuitenkin valmistui toimiva kokonaisuus, joka on tällä hetkellä asiakkaan testattavana ja lopullisessa käytössä. Insinööriyön toimeksiantajalta saamani palaute oli myönteistä ja kiitoksia tuli kovasti. Hän myös motivoi sanomalla että hän on suunnitellut kahdeksan eri suorakytkentävaihteistoa ja jokaiseen on suunnittelun jälkeen täytynyt tehdä jotain pieniä muutoksia. Muutoksien jälkeen päivitettyillä kuvilla yritys pystyi lisäämään vaihteiston omaan tuotantoonsa.

Tuotteen tilaaja otti muutamien viikkojen jälkeen yhteyttä yritykseen kertoakseen tuotteesta ja sen toimivuudesta, ja tilaajan palaute oli ollut positiivista. Tilaaja oli kertonut, kuinka hyvin kaikki vaihteet menevät päälle ja miten hienosti vaihteisto toimii. Tilaaja ei kuitenkaan ole omilta kiireiltään ehtinyt ajamaan vaihteistolla niin paljon, että olisin saanut laitettua tähän insinööriöhön tulosten analysointia, liittyen vaihteiston toimivuuteen sekä lujuuksiin.

8 YHTEENVETO

Tässä insinööriyössä oli tarkoitus suunnitella Citroën Saxo -merkkiseen ralliautoon viisivaihteinen suorakytkentävaihteisto, joka valmistettiin konkreettiseksi tuotteeksi AKE-GEARS Oy:n omilla koneilla ja laitteilla. Työ suunniteltiin yritykseltä tulleiden ohjeiden mukaisesti.

Suorakytkentävaihteiston suurin ero tavalliseen synkronoituun vaihteistoon on, että vaihteen vaihtohetkellä ei tarvitse käyttää kytkintä. Tämän ansiosta vetopito pysyy koko ajan vetävillä pyörillä. Muita eroja ovat hammaspyöriin tulevat voimat, joita suorahampainen hammaspyörä kestää enemmän kuin vinohampainen hammaspyörä. Suorakytkentävaihteiston huonona puolena on vaihteiston rakenteessa käytetyt suorat lieriöhammaspyörät, joiden käynti on äännekkäämpää verrattuna synkronoituun vinohampaiseen vaihteistoon. Kilpa-autoissa äänekkyydellä ei ole suurtakaan merkitystä, kunhan vain välityssuhteet ovat oikein ja vaihteistolla saadaan nopeat vaihteen vaihtamiset suoritettua.

Suunnitteluprosessi lähti liikkeelle vakiovaihteiston purkamisella ja sen tutkimisella. Tämän jälkeen mitoitin vaihteiston sisälle tulevat akselit ja hammaspyörät. Mittauksiin tarvitsin työntömittaa ja manuaalijyrsinkonetta. Jyrsinkoneella sain määritettyä akselivälin vaihteiston perävälitykseen ja työntömitalla mitoitettua kaikki muut mitoitukset. Kappaleet pystyin mitoitamaan päähalkaisijaa lukuun ottamatta kokonaan, koska päähalkaisijan sain vasta geometrialaskennan jälkeen. Geometrialaskuihin täytyi tietää hammaspyörien välityssuhteet, jotka tulivat tilaavalta asiakkaalta. Näiden vaiheiden jälkeen pääsin valmistamaan konkreettista tuotetta. Konkreettisen tuotteen valmistamiseen käytin tilaavan yrityksen työstökoneita ja työkaluja. Koneistamisen jälkeen osat lähetettiin lämpökäsittelyyn, jossa ne viipyivät muutaman päivän.

Lämpökäsittelyn jälkeen kappaleiden laakeripinnat täytyi koneistaa todelliseen mittaan, jonka jälkeen tuotetta pääsi kokoamaan. Tuotteen kokoamisessa ilmeni suunnitteluvaiheessa tulleita virheitä, jotka saatiin poistettua pienillä muutostoimenpiteillä. Kaikki kokoamisvaiheessa tehdyt muutokset päivitettiin kappaleiden kuviin.

Muutoksien jälkeen saatiin koottua toimiva suorakytkentävaihteisto, joka toimitettiin tilaajalle testaukseen ja lopulliseen käyttöön. Onnistuneen suunnittelun ja toteutuksen jälkeen yritys pystyi ottamaan tuotteen omaan tuotantokapasiteettiin.

LÄHTEET

1. Toivonen, R. Porvoo 1984. TEK: Tekniikan tietokeskus osa 8. 286 s. ISBN 951-0-10890-1.
2. Toivonen, R. Porvoo 1981. TEK: Tekniikan tietokeskus osa 1. 256 s. ISBN 951-0-10883-9.
3. Volvo Trucksien asiakaslehden nettiversio. Artikkelit. Kaikki. Tasauspyörästäön lukko- paras kaverisi liukkaalla kelillä. Julkaistu 12.8.2008. Saatavilla: <http://magazine.volvotrucks.com/fi/Articles/International/2008/12/Tasauspyoraston-lukko--paras-kaverisi-liukkaalla-kelilla/Tasauspyoraston-lukko--paras-kaverisi-liukkaalla-kelilla/> (Luettu 17.3.09).
4. Ansaharju, T. Maaranen, K. Porvoo 1998. Koneenasennus. 342 s. ISBN 951-0-21574-0.
5. Wikipedia. Hammastus (konetekniikka). Saatavilla: [http://fi.wikipedia.org/wiki/Hammastus_\(konetekniikka\)](http://fi.wikipedia.org/wiki/Hammastus_(konetekniikka)) (Luettu 15.3.09).
6. Blom, S. Lahtinen, P. Nuutio, E. Pekkola, K. Pyy, S. Rautiainen, H. Sampo, A. Sepänen, P. Suosara, E. Helsinki 1999. Koneenelimet ja mekanismit. 328 s. ISBN 951-37-2906-6.
7. Airila, M. Jantunen, E. Kivioja, S. Laihotie, E. Nurmi, L. Pora, M. Ranta, A. Porvoo 1987. Koneenosat. 341s. ISBN 951-0-14338-3.
8. Airila, M. Karjalainen, J. Mantovaara, U. Nurmi, L. Ranta, A. Verho, A. Porvoo 1985. Koneenosien suunnittelu 3. 512 s. ISBN 951-0-13143-1.
9. Ansaharju, T. Maaranen, K. Porvoo 1997. Koneistus. 586 s. ISBN 951-0-21580-5.
10. SKF Laakerikirja. Torino 1999. 976 s. Reg. 47·2000·1999-12.
11. Bodycote. Menetelmät. Hiiletyskarkaisu. Saatavilla: http://bodycote.fi/fi/Frameset_Menetelm%E4t.htm (Luettu 30.1.09)

LIITTEIDEN LUETTELO

HAMMASVÄLIMITTATAULUKKO

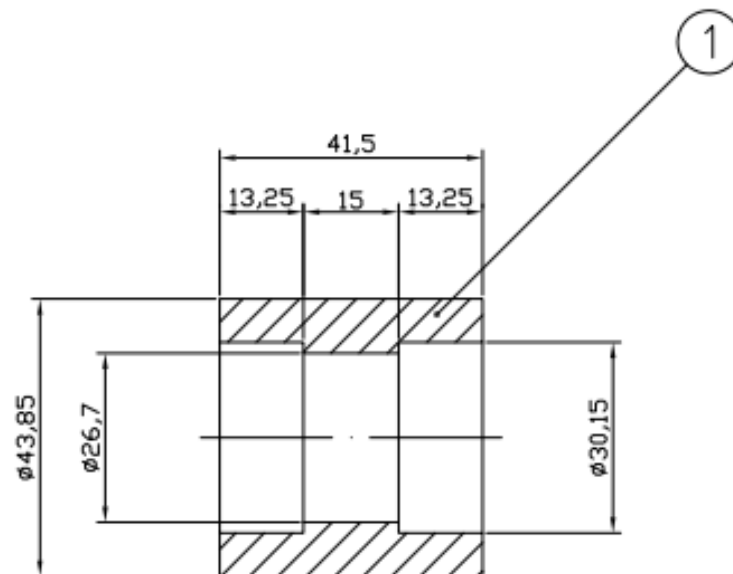
LIITE 1/1

TYÖKUVAT

LIITE 2/9

Hammasvälimittataulukko [9, s. 404].

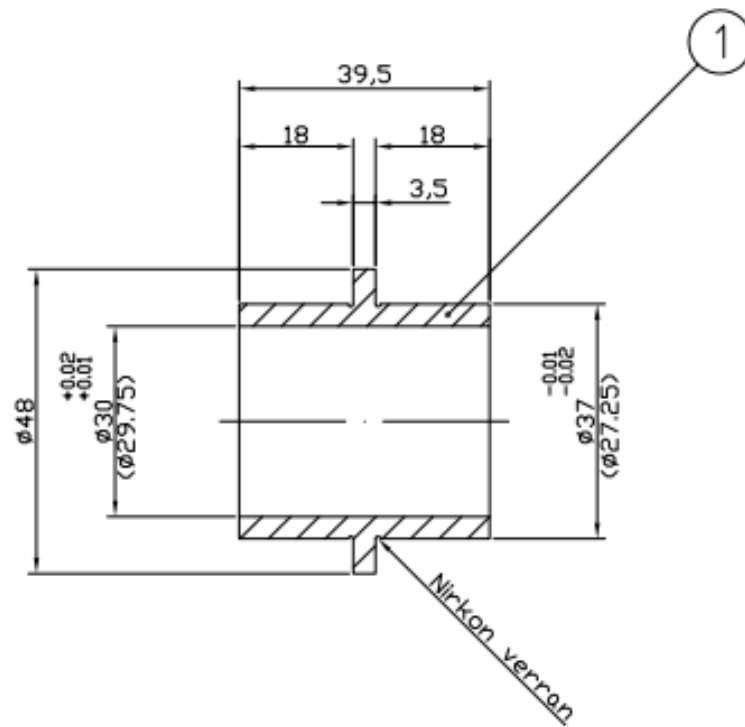
z	k	C_B	z	k	C_B	z	k	C_B
8	2	4,540 3	67	8	23,079 4	126	15	44,570 6
9		4,554 3	68	8	23,093 4	127	15	44,584 6
10	2	4,568 3	69	8	23,107 4	128	15	44,598 6
11	2	4,582 3	70	9	26,073 5	129	15	44,612 6
12	2	4,596 3	71	9	26,087 5	130	16	47,578 8
13	2	4,610 3	72	9	26,101 5	131	16	47,592 8
14	2	4,624 3	73	9	26,115 5	132	16	47,606 8
15	2	4,638 3	74	9	26,129 5	133	16	47,620 8
16	2	4,652 3	75	9	26,143 5	134	16	47,634 8
17	3	7,618 4	76	9	26,157 5	135	16	47,548 8
18	3	7,632 4	77	9	26,171 5	136	16	47,662 8
19	3	7,646 4	78	9	29,137 7	137	16	47,676 8
20	3	7,660 5	78	10	29,151 7	138	16	47,690 8
21	3	7,674 5	80	10	29,165 7	139	17	50,656 9
22	3	7,688 5	81	10	29,179 7	140	17	50,670 9
23	3	7,702 5	82	10	29,193 7	141	17	50,684 9
24	3	7,716 5	83	10	29,207 7	142	17	50,698 9
25	3	7,730 5	84	10	29,221 7	143	17	50,712 9
26	4	10,696 6	85	10	29,235 7	144	17	50,727 0
27	4	10,710 6	86	10	29,249 7	145	17	50,741 0
28	4	10,724 6	87	11	32,215 9	146	17	50,755 0
29	4	10,738 6	88	11	32,229 9	147	17	50,769 0
30	4	10,752 6	89	11	32,243 9	148	18	53,735 1
31	4	10,766 6	90	11	32,257 9	149	18	53,749 1
32	4	10,780 6	91	11	32,271 9	150	18	53,763 1
33	4	10,794 6	92	11	32,285 9	151	18	53,777 1
34	4	10,808 6	93	11	32,299 9	152	18	53,791 1
35	5	13,774 8	94	11	32,313 9	153	18	53,805 1
36	5	13,788 8	95	11	32,327 9	154	18	53,819 2
37	5	13,802 8	96	12	35,295 0	155	18	53,833 2
38	5	13,816 8	97	12	35,308 0	156	19	56,799 3
39	5	13,830 8	98	12	35,322 0	157	19	56,813 3
40	5	13,844 8	99	12	35,336 1	158	19	56,827 3
41	5	13,858 8	100	12	35,350 1	159	19	56,841 3
42	5	13,872 8	101	12	35,364 1	160	19	56,855 3
43	5	13,886 8	102	12	35,378 1	161	19	56,869 3
44	6	16,853 0	103	12	35,392 1	162	19	56,883 3
45	6	16,866 9	104	13	38,358 2	163	19	56,897 3
46	6	16,881 0	105	13	38,372 2	164	19	56,911 3
47	6	16,895 0	106	13	38,386 2	165	20	59,877 5
48	6	16,909 0	107	13	38,400 2	166	20	59,891 5
49	6	16,923 0	108	13	38,414 3	167	20	59,905 5
50	6	16,937 0	109	13	38,428 3	168	20	59,919 5
51	6	16,951 0	110	13	38,442 3	169	20	59,933 5
52	7	19,917 1	111	13	38,456 3	170	20	59,947 5
53	7	19,931 1	112	13	38,470 3	171	20	59,961 5
54	7	19,945 1	113	14	41,436 4	172	20	59,975 5
55	7	19,959 2	114	14	41,450 4	173	20	59,989 5
56	7	19,973 2	115	14	41,464 4	174	21	62,955 7
57	7	19,987 2	116	14	41,478 4	175	21	62,969 7
58	7	20,001 2	117	14	41,492 4	176	21	62,983 7
59	7	20,015 2	118	14	41,506 4	177	21	62,997 7
60	7	20,029 2	119	14	41,520 4	178	21	63,011 7
61	8	22,995 3	120	14	41,534 4	179	21	63,025 7
62	8	23,009 3	121	14	41,548 5	180	21	63,039 7
63	8	23,023 3	122	15	44,514 6	181	21	63,053 7
64	8	23,037 3	123	15	44,528 6	182	21	63,067 7
65	8	23,051 3	124	15	44,542 6	183	22	66,033 8
66	8	23,065 4	125	15	44,556 6	184	22	66,047 9



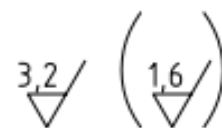
$D_u = 43.85$
 $m = 1.75 \ 30^\circ$
 $Z = 24$
 $W_5 = 23.2$

$\nabla_{3.2}$ $\left(\nabla_{1.6} \right)$

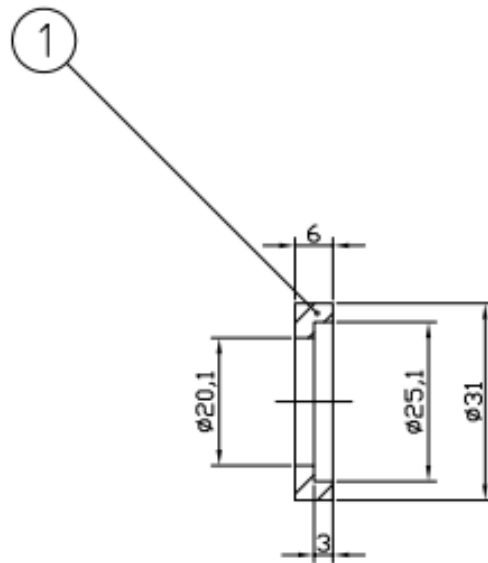
1	00383	Pyörötanko			$\phi 45 \times 44$	MoCN 206M	1
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl	
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys		
ISO2768 f		1:1	Citroén Saxo vaihdelaatikko	00385	Siirtohalkki 1-2 vaihde		
Piirt	18.03.09 Mert. J		AKE-GEARS Oy		Ent	Uusi	
Suun	12.10.08 Mert. J				Piirustusnumero		Rev
Tark	26.03.09 Mert. A				00383		
Hyv	26.03.09 Mert. A						
		Massa					
		kg					



Suluissa olevat mitat ovat esikoneistus ennen karkaisua!

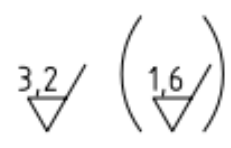
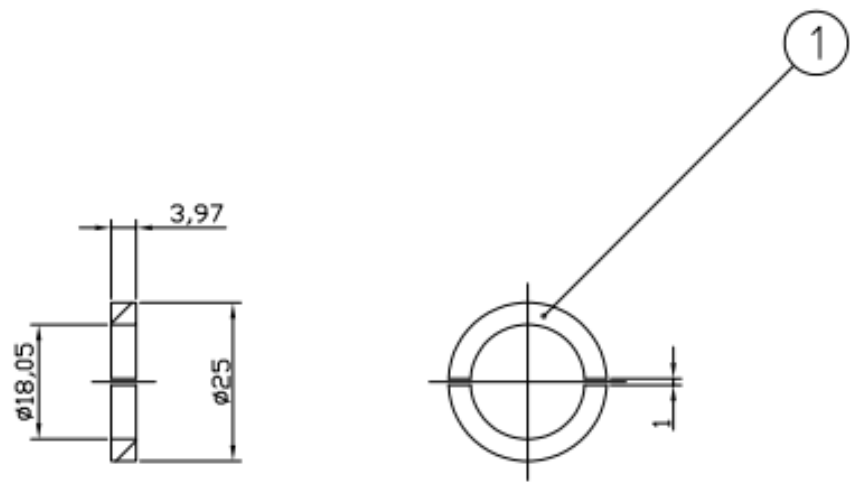


1	00389	Pyörötanko	$\varnothing 50 \times 42$	MoCN 206M	1		
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl	
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lojimerkki	Nimitys	
ISO2768 f		1:1	Citroén Saxo vaihdelaatikko	00371		Laakeriholkki 2-3 vaihde	
Piirt	10.03.09 Mert. J		AKE-GEARS Oy		Ent	Uusi	
Suun	12.10.08 Mert. J				Piirustusnumero		Rev
Tark	26.03.09 Mert. A	Massa			00389		
Hyv	26.03.09 Mert. A	kg					



3,2 / (1,6)

1	00386	Pyörötanko	$\varnothing 35 \times 8$	MoCN 206M	1		
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl	
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Litty	Nimitys		
ISO2768 f		1:1	Citroén Saxo vaihdelaatikko	00387	Lukkorikan kansi		
Piirt	10.03.09 Mert. J		AKE-GEARS Oy		Ent	Uusi	
Suun	12.10.08 Mert. J				Pirustusnumero		Rev
Tark	26.03.09 Mert. A				00386		
Hyv	26.03.09 Mert. A				kg		



1	00387	Pyörötanko			$\phi 30 \times 6$	MoCN 206M	1		
Osa	Piirustusnumero	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys		Standardi tai luettelo	Muoto, malli, mitat	Laatu	Kpl		
Yleistoleranssit		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Lojimerkki	Nimitys			
ISO2768 f		1:1	Citroén Saxo vaihdelaatikko	00386		Lukkorikka			
Piirt	10.03.09 Mert. J		AKE-GEARS Oy			Ent	Uusi		
Suun	12.10.08 Mert. J					Piirustusnumero	Rev		
Tark	26.03.09 Mert. A	Massa				00387			
Hyv	26.03.09 Mert. A	kg							

