



# CVT-vaihteiston tekninen selvitys

Tino Puharinen

OPINNÄYTETYÖ  
Joulukuu 2025

Autotekniikan tutkinto-ohjelma  
Auto- ja korjaamotekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Autotekniikan tutkinto-ohjelma  
Auto- ja korjaamotekniikka

PUHARINEN TINO:  
CVT-vaihteiston tekninen selvitys

Opinnäytetyö 56 sivua, joista liitteitä 5 sivua  
Joulukuu 2025

---

Tämän Tampereen ammattikorkeakoululle (TAMK) tehdyn opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia vaihteistojen tehtävästä autoissa kirjallinen selvitys ja perehtyä tarkemmin jatkuvan välityssuhteen vaihteistoon, niin sanottuun Continuously Variable Transmission (CVT) -vaihteistoon. Työssä käydään läpi CVT-vaihteiston historiaa ja sen matkaa toisten vaihteistotyyppien rinnalle varteenotettavana vaihtoehtona ajoneuvoratkaisuissa. Lukijaa tutustutetaan vaihteiston keskeisempiin komponentteihin ja toimintaperiaatteeseen yleisesti.

CVT-vaihteistot eroavat tavanomaisista vaihteistoista sillä, että välityssuhde ei ole kiinteä ja sitä voidaan vaihtaa lennosta. Vaihteistoja valitaan ajoneuvoratkaisuihin mm. niiden kevyen kokonaismassan, polttoainetaloudellisuuden ja pienen koon ansiosta.

CVT-vaihteistojen lisäksi työssä käytiin myös läpi autoteollisuuden käyttämiä muita vaihteistomalleja. Tarkoituksena oli luoda jokaiselle lukijalle jonkinlainen idea vaihteistoista ja niiden sovelluksesta autoteollisuudessa. Tämän avulla pyrittiin siihen, että jopa vajanaisen pohjatietämyksen omaava lukija voi verrata niitä keskenään ja arvioida niiden käyttötarkoituksia.

Tutkimuksen ohella opinnäytetyössä muutettiin olemassa olevasta JATCO JF015E CVT-vaihteistosta demonstraatiokappale uuden opetussuunnitelman voimansiirtokurssia varten TAMK:n autolaboratorioon. Demonstraatiokappaleen tarkoitus oli antaa opiskelijoille mahdollisuus tutustua vaihteiston toimintaan käytännössä.

Työssä kerrotaan demonstraatiokappaleen rakentamisen ohessa esiintyneistä haasteista ja ajatuksista. Valmista demonstraatiokappaletta esitellään työssä ja sen käyttöohjeet käydään myös läpi. Lopuksi työssä arvioidaan, miten vastaavanlainen projekti voitaisiin tehdä paremmin.

---

Asiasanat: cvt, vaihteisto, continuously variable transmission

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Vehicle Engineering  
Garage Engineering

PUHARINEN TINO:  
Technical study of the CVT Transmission

Bachelor's thesis 56 pages, appendices 5 pages  
December 2025

---

This thesis was commissioned by Tampere University of Applied Sciences. The purpose of this thesis was to write up a literature study about transmissions widely used in the automotive industry with a particular focus on continuously variable transmissions (CVT). The work goes in-depth on the history of the CVT, outlining its path to becoming a viable alternative to traditional fixed-ratio transmissions. The general functions and components of the transmission are also presented.

CVTs differ from other transmission types in the way that the gear ratio it puts out is constant and can be tweaked while it is being operated by the vehicle. Major upsides of CVTs are considered their fuel economy, light weight construction and compactness

In addition to CVTs, the study also included other transmission types used in the industry. The idea was to give every reader a chance to gain some base knowledge on transmissions and their usage in the industry. Playing off of this, the reader could compare different transmission types and come up with their own evaluation of each one and why they are chosen for different tasks.

The thesis also included the modification of an existing CVT unit to be used as a demonstration model in education. It would be utilized as part of the transmissions course in the new curriculum for TAMKs Vehicle Technology students. The purpose of this demonstration model was to introduce students to the inner workings of CVTs in practice.

The trials and tribulations brought on by the task of modifying the transmission are discussed in the work. The finished product is then introduced, and the user instructions are laid out in the work as well. As a conclusion, the entire process is evaluated and reflected upon, offering ways to improve the end result.

Key words: cvt, transmission, continuously variable transmission

## TEKOÄLYN KÄYTTÖ OPINNÄYTTEESSÄ

Opinnäytteessäni on käytetty tekoälysovelluksia:

- Ei  
 Kyllä

Ilmoitukseni mukaan olen käyttänyt opinnäytteessäni opinnäytetyöprosessin aikana seuraavia tekoälysovelluksia: -

Tekoälysovellusten nimet ja versiot: -

Käyttötarkoitus: -

Osiot, joissa tekoälyä on käytetty: -

---

Olen tietoinen siitä, että olen täysin vastuussa koko opinnäytteeni sisällöstä, mukaan lukien osat, joissa on hyödynnetty tekoälyä, ja hyväksyn vastuun mahdollisista eettisten ohjeiden rikkomuksista.

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	VAIHTEISTOT .....	9
	2.1 Vaihteiston tehtävä ajoneuvossa.....	9
	2.2 Vaihteistojen edellytykset ja suunnittelu.....	11
	2.3 Vaihteistotyyppejä .....	14
	2.3.1 Manuaalivaihteisto.....	14
	2.3.2 Automatisoitu manuaalivaihteisto .....	16
	2.3.3 Kaksoiskytkinvaihteisto (DCT).....	18
	2.3.4 Automaattiset planeettavaihteistot.....	19
3	CVT-VAIhteISTO .....	23
	3.1 CVT-vaihteiston historia .....	23
	3.2 CVT-vaihteiston toimintaperiaate .....	24
	3.3 Voimansiirron välityskappaleet CVT-vaihteistossa.....	27
	3.4 CVT-vaihteiston rullat.....	28
	3.5 CVT-vaihteiston hydraulinen ohjaus.....	29
	3.6 Toroidaalinen CVT-vaihteisto.....	30
	3.7 CVT-vaihteiston toiminnan edellytykset .....	31
	3.8 CVT-vaihteiston vahvuudet ja heikkoudet.....	31
4	OPINNÄYTETYÖSSÄ KÄYTETTY VAIhteISTO .....	33
	4.1 Yleistä vaihteistosta .....	33
	4.2 Voiman sisääntulo.....	34
	4.3 Voiman välitys .....	35
	4.4 Voiman ulostulo.....	37
	4.5 Vaihteiston sähköhydraulinen ohjausjärjestelmä .....	41
5	VAIhteISTON MUUTTAMINEN OPETUSKÄYTTÖÖN .....	43
	5.1 Työn kulku.....	43
	5.1.1 Vaaditut työkalut ja työturvallisuus.....	43
	5.1.2 Ulkoistetut työt.....	44
	5.1.3 Lopputulos.....	44
	5.2 Demonstraatiokappaleen käyttöohje .....	45
6	POHDINTA .....	49
	LÄHTEET.....	51
	LIITTEET .....	52
	Liite 1. Valmis vaihteisto ylhäältä päin .....	52
	Liite 2. Valmis vaihteisto edestä .....	53
	Liite 3. Valmis vaihteisto oikealta .....	54

Liite 4. Valmis vaihteisto takaa .....	55
Liite 5. Valmis vaihteisto vasemmalta .....	56

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö kertoo henkilöautoissa käytettyjen vaihteistojen käyttötarkoituksesta ja avaa eri mallisista autoteollisuudessa laajasti käytetyistä vaihteistomalleista. Työssä perehdytään tarkemmin niin kutsuttuun portaattomaan, jatkuvan välityssuhteen omaavaan automaattiseen vaihteistoon eli Continuously Variable Transmission (CVT). Opinnäytetyön toiminnallisena osuutena kirjallisuustutkimuksen lisäksi rakennettiin Tampereen ammattikorkeakoululle (TAMK) opetuskäyttöön olemassa olevasta CVT-vaihteistosta demonstraatiokappale. Vaihteisto oli TAMK:n työtä varten toimittama. Vaihteiston tarkka malli oli JATCO JF015E, joka oli purettu 2010-luvun Nissan -henkilöautosta.

CVT-vaihteistojen erikoisuus verrattuna toisiin vaihteistomalleihin on se, että niissä on teoreettisesti loputon määrä välityssuhteita. Tämä on saavutettu vaihteiston omaavilla kahdella liikkuvalla rullalla, jotka joko kaventuvat tai leventyvät ja tämän tehdessään muuttavat niiden välissä kulkevan hihnan tai ketjun kosketuspintaa. Kosketuksesta aiheutuva kitka siirtää voiman rullien välillä ja muuttaa välityssuhdetta.

Demonstraatiokappaleen avulla opiskelijat pääsevät tutkimaan, mitä komponentteja CVT-vaihteistossa on, miten vaihteistot ovat rakennettu ja miten niiden luopama jatkuva välityssuhde toteutetaan käytännössä. Tarkoitus oli saada vaihteiston hydraulinen järjestelmä toimimaan kuivasti, jotta vaihteiston demonstraatiokappale olisi kompakti, helposti liikutettavissa, eikä sille tarvitsisi rakentaa erillistä sähkö- tai hydraulijärjestelmää. Hydraulijärjestelmän kuivaksi tekemisen päätös tehtiin myös osittain laboratoriotilojen siisteysyistä.

Opinnäytetyössä kerrotaan yleisesti myös muista autoteollisuudessa käytetyistä vaihteistotyypeistä ja vaihteistojen tehtävästä ajoneuvoissa. Näillä pohjatiedoilla lukija voi verrata vaihteistoja. Tarkoitus oli luoda suhteellisen tiivis paketti, josta jopa asiasta aiemmin tietämätön pääsisi asiasta jotenkin perille, ja että lukijalle jäisi työn lukemisen jälkeen vaihteistoista jonkinlainen painuva mielikuva.

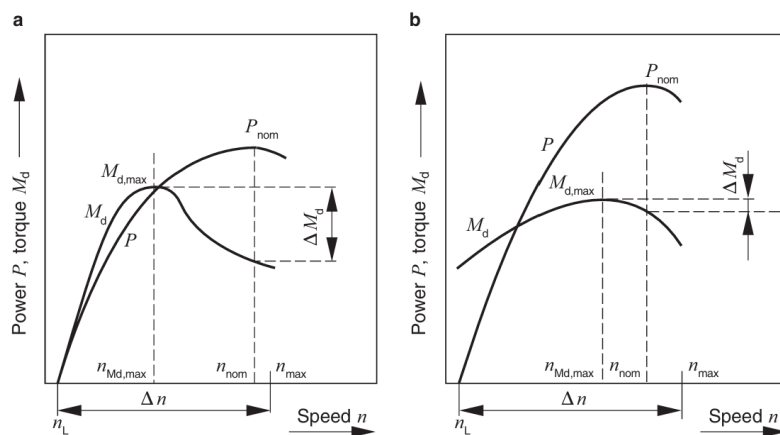
Opinnäytetyössä ei keskitytä hybridi- tai sähkövoimansiirtolinjoihin, vaan aihe on rajattu pysymään polttomoottorilla varustettujen ajoneuvojen vaihteistoissa. Tämä päätös tehtiin, jotta aihe pysyisi suhteellisen tiiviinä eikä paisuisi liikaa.

## 2 VAIHTEISTOT

Luvussa selvitetään, minkä takia polttomoottorisissa ajoneuvoissa tarvitaan vaihteistoja ja mitä niiltä vaaditaan suunnitteluvaiheessa ja sittemmin käytössä. Tämän lisäksi esitellään autoteollisuuden yleisimmät vaihteistotyypit ja niiden toimintaperiaatteet.

### 2.1 Vaihteiston tehtävä ajoneuvossa

Suurin osa maailman ajoneuvoista liikkuu, muiden menetelmien kehityksen puitteissa, perinteisellä polttomoottorimenetelmällä. Polttomoottorit eivät, toisin kuin sähkömoottorit, suoranaisesti pysty tuottamaan vääntöä levosta. Vääntöä tarvitaan liikuttamaan ajoneuvoa eteenpäin pysähdyksistä. Moottorin suurin mahdollinen tehontuotto ei pysy operointialueella myöskään tasaisena, vaan se esiintyy moottorista riippuen tietyllä kierrosalueella. Tämän näkee havainnollistettuna kuvassa 1, missä kuvaaja a on turboahdetun dieselmoottorin vääntö- ja tehokuvaaja ja b on vapaasti hengittävän bensiinimoottorin vääntö- ja tehokuvaaja. Kuvajissa  $P$  esittää moottorin tehoa ja  $M_d$  sen vääntömomenttia.  $n$  esittää moottorin pyörimisnopeutta, missä  $n_L$  on tyhjäkäynti. Tästä huomaa, että kummallakaan moottorityypillä ei ole tehontuottoa tyhjäkäynnillä ja kuinka se muuttuu rajusti eri kierrosalueilla. (Naunheimer, H. & Bertsche, B. & Ryborz, J. & Novak, W. 2010) (Bosch 2022)

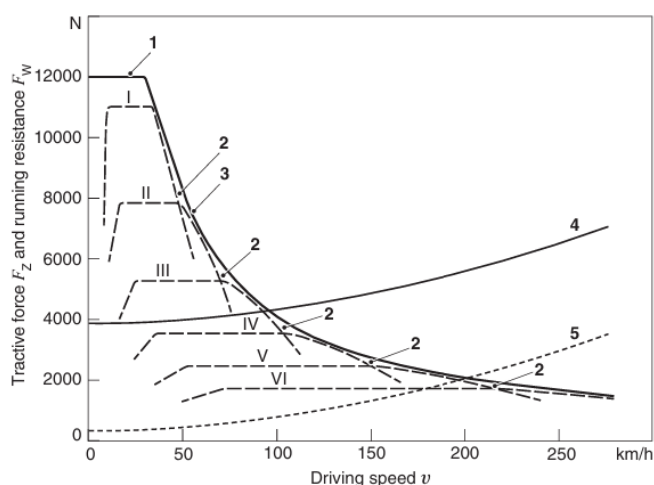


KUVA 1. Vapaasti hengittävän bensiinimoottorin sekä turboahdetun dieselmoottorin yleiset vääntömomentti- sekä tehokuvaajat (Bosch 2022, 704)

Näiden puutteiden takia on siis selvää, että ajoneuvon toimintaan tarvitaan moottorin lisäksi jonkinlainen välikappale, joka muuttaa ulostulevan voiman renkailla niin, että vaadittu vetovoima saavutetaan. Vaihteistoilla pystytään muuttamaan moottorin tuottamaa pyörimisnopeutta ajamalla sen tuottama teho ja momentti vaihteiston läpi, ennen kuin se syötetään renkailla. Tämän ansiosta renkailla saadaan moninkertainen vääntömomentti tai nopeus verrattuna siihen, mitä moottori pystyisi tuottamaan itse. (Chen, Y. 2021)

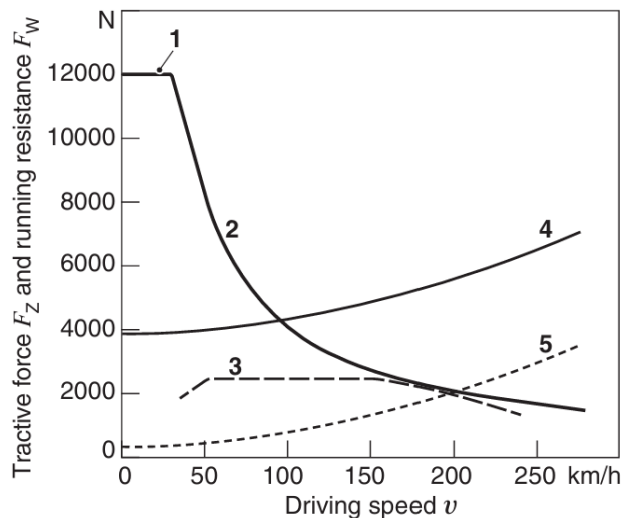
Pyörimisnopeuden muutoksen suhdetta kutsutaan välityssuhteeksi. Suhde voi olla joko pieni tai iso: pienellä välityssuhteella renkaat liikkuvat nopeammin ja isolla välityssuhteella ne liikkuvat taas hitaammin, mutta suuremmalla vääntömomentilla. Useimmissa vaihteistoissa välityssuhteet ovat pysyvät, eikä niitä voi muuttaa jälkeenpäin. Nämä on ratkaistu erikokoisilla rattaila, joissa on eriävä määrä hampaita. Tietyt vaihteistomallit pystyvät kuitenkin vaihtamaan välityssuhteita jatkuvasti. (Chen, Y. 2021)

Kuvassa 2 näkyy kuusivaihteisella vaihteistolla varustetun polttomoottoriajoneuvon ajotilapiirros. Kuvaajassa esiintyy ajoneuvon moottorin renkailla tuottaman vetovoiman  $F_z$  ja fysikaalisten ajovastusten  $F_W$  suhde ajonopeuteen  $v$ . Kohta 3 kuvastaa teoreettista ideaalia vetovoimaa, johon auton suunnitteluvaiheessa tähdätään. Kohdissa I-VI näkyy vaihteiden todellisuudessa saavuttama vetovoiman määrä. (Bosch 2022) (Naunheimer, H. & Bertsche, B. & Ryborz, J. & Novak, W. 2010)



KUVA 2. Ajotilapiirros polttomoottoriajoneuvossa askeleellisella vaihteistolla (Bosch 2022, 596)

Jos oletetaan, että 5. vaihteen välityssuhde on n. 1:1, voidaan kuvaajaa tutkimalla huomata, että ilman vaihteiston välityssuhteita, ajoneuvon vetovoima seuraisi kohtaa V. Tämä esitetään kuvassa 3 kohdassa 3. Suuri osa alueesta jäisi siis hyödyntämättä. Vaihteiston päätarkoitus on siten muuttaa moottorilta tuleva vääntö renkaille ja päihittää vierintävastus niin, että ajoneuvo pystyy alunperinkin liikkumaan ja pysymään liikkeessä. (Bosch 2022) (Naunheimer, H. & Bertsche, B. & Ryborz, J. & Novak, W. 2010)



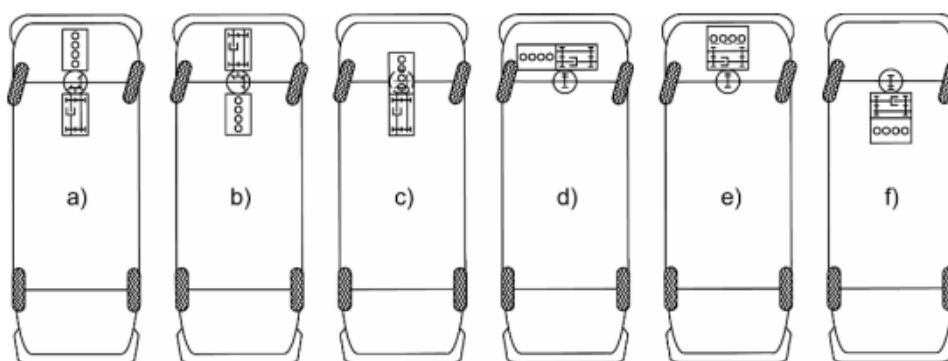
KUVA 3. Ajotilapiirros polttomoottoriajoneuvossa ilman vaihteistoa (Bosch 2022, 595)

## 2.2 Vaihteistojen edellytykset ja suunnittelu

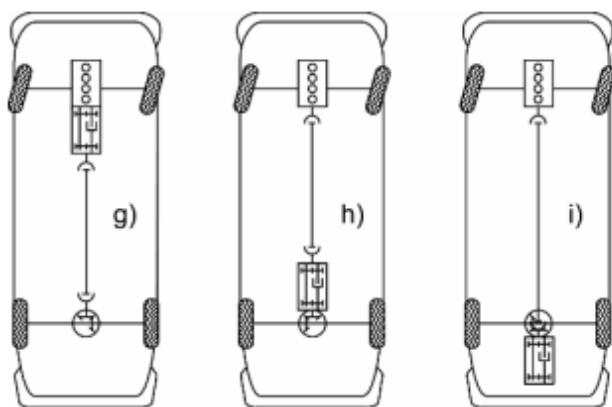
Vaihteiston pitää pystyä käyttämään moottorin tuottama teho tarpeeksi tehokkaasti, että mahdollisimman suuri osa siitä saataisiin hyödynnettyä. Tätä kutsutaan vaihteiston hyötysuhteeksi, ja se pyritään saada mahdollisimman korkeaksi. Tämän lisäksi vaihteistoja arvioidaan niiden vetovoiman, luotettavuuden, polttoainetehokkuuden, helppokäyttöisyyden, äänitason sekä ajoturvallisuuden perusteella. Teollisuudessa on näiden perusteella laadittu standardeja, joita valmistajat pyrkivät noudattamaan. Standardeilla pyritään pitämään tuotteiden turvallisuus- ja laatu-taso korkealla läpi koko teollisuuden alan. (Hick, H. & Küpper, K. & Sorger H. 2021) (Fischer, R. & Küçükay, F. & Jürgens, G. & Najork, R. & Pollak, B. 2015)

Suunnitteluvaiheessa valmistajien täytyy keskittyä vaihteiston ulkokuoren lujuuteen, jotta pystyttäisiin välttämään sen liiallinen epämuodostuminen. Vaihteiston pitää kestää siihen kohdistuvat ulkoiset voimat sekä yhtäkkiset voiman muutokset koko ajotilanteen ajan, riippumatta olosuhteista tai kuinka pitkään suoritus kestää. Tämän puitteissa vaihteiston kokonaismassaa ja sen suurta vaikutusta ajodynamiikkaan ei saa unohtaa. Vaihteistolle valitaan käyttötarkoituksen perusteella sen sisältämien fyysisten vaihteiden määrä varmistaen, että välityssuhteita on tarpeeksi ja että vaihteistolla ei koidu vaihteiden määrästä liikaa lisämassaa. Oikeanlaisen asettelutavan valitseminen vaihteistolle on myös tärkeää ajoneuvon suorituskyvylle. (Bosch 2022) (Naunheimer, H. & Bertsche, B. & Ryborz, J. & Novak, W. 2010)

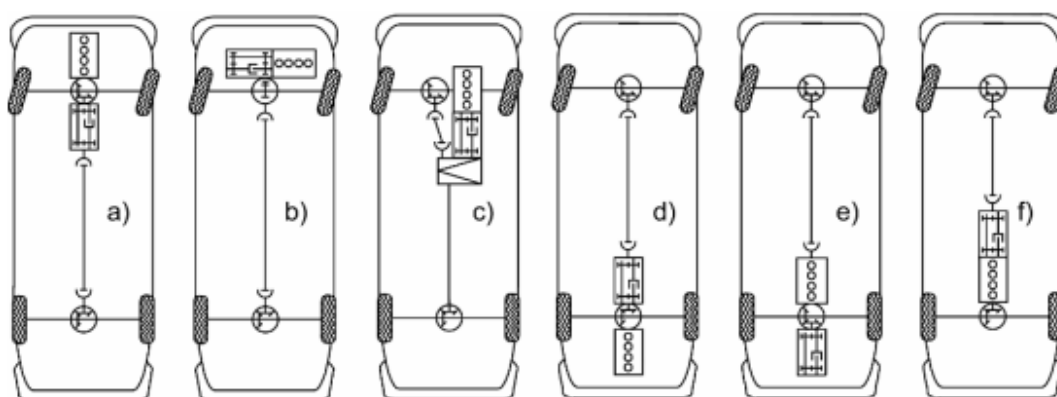
Vaihteiston sijainti ajoneuvossa päätetään suunnitteluvaiheessa. Vaihteisto voi sijoittua joko pitkittäis- tai poikittaissuuntaisesti autoon. Sen voi asettaa joko auton etu- tai taka-akselille, joko akselin eteen tai taakse. Voi myös päättää, asetaako vaihteiston moottorin alle, taakse, eteen vai viereen. Tämä on kuitenkin yleensä sidonnainen autolle valittuun vetotapaan. Vetotapa ja vaihteiston sijainti vaikuttavat muun muassa auton ohjattavuuteen ja ajettavuuteen, tilaan, mukavuuteen ja polttoainekulutukseen. Teollisuuden standardeiksi ovat valikoituneet etumoottorinen etuveto (kuva 4) ja etumoottorinen takaveto (kuva 5). Suurella osalla moderneista automalleista on kuitenkin olemassa myös nelivetoinen versio (kuva 6). (Naunheimer, H. & Bertsche, B. & Ryborz, J. & Novak, W. 2010)



KUVA 4. Mahdollisia vaihteiston asettelutapoja etuvetoisessa etumoottorisessa henkilöautossa (Naunheimer, H. & Bertsche, B. & Ryborz, J. & Novak, W. 2010, 142)



KUVA 5. Mahdollisia vaihteiston asettelutapoja takavetoisessa etumoottorisessa henkilöautossa (Naunheimer, H. & Bertsche, B. & Ryborz, J. & Novak, W. 2010, 142)



KUVA 6. Mahdollisia vaihteiston asettelutapoja nelivetoisessa henkilöautossa (Naunheimer, H. & Bertsche, B. & Ryborz, J. & Novak, W. 2010, 147)

Vaihteistoja kehittäessä valmistajien täytyy myös pitää mielessä tuotteen valmistushinta ja suunnitellun yksikön helppo muokattavuus jo valmistusprosessissa. Tämän ansiosta vaihteistoja voidaan adaptoida suhteellisen vaivattomasti ja äkillisesti toisiin käyttötarkoituksiin asiakkaiden vaatimusten perusteella. Vaihteistot täytyy suunnitella siten, että ne noudattavat eri markkinoiden paikallisia määräyksiä. Niiden pitää myös kestää jokapäiväistä käyttöä ja niihin täytyy olla saatavilla varaosia jälkimarkkinointia varten. Käyttäjän kokemusta ja käyttömukavuutta mahdollisimman laajalla asiakaskannalla pidetään myös korkeana prioriteettina suunnitellessa vaihteistoa. (Fischer, R. & Küçükay, F. & Jürgens, G. & Najork, R. & Pollak, B. 2015)

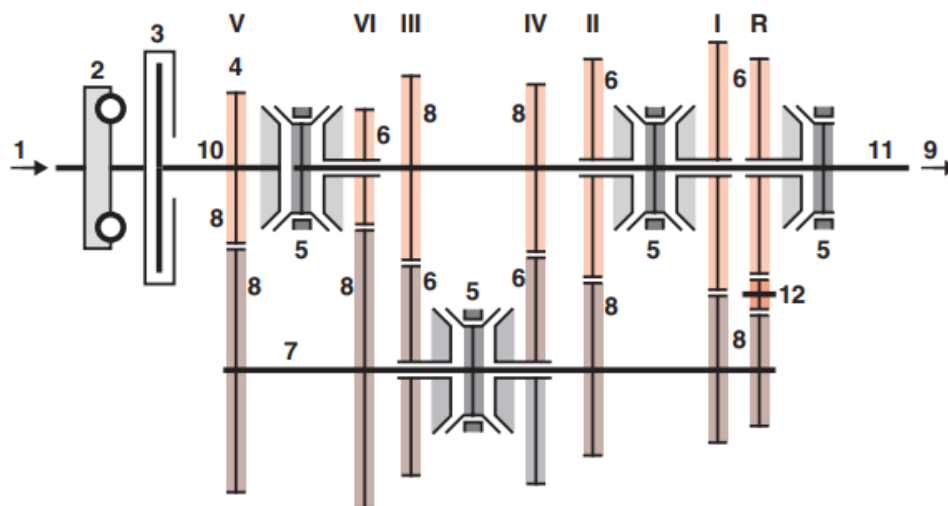
## 2.3 Vaihteistotyyppejä

Vaihteistoja, joita nykyään teollisuudessa pääasiassa käytetään ovat niin kutsuttu perinteinen manuaalinen vaihteisto, jossa vaihteita vaihdetaan kuljettajan toimesta, ja itsevaihtavia automaattivaihteistoja. Itse vaihtavat vaihdelaatikot on toteutettu muutamalla eri tavalla, mukaan lukien perinteiset hydraulisesti tai sähköisesti ajettu planeettavaihteistot, kaksoiskytkinvaihteistot ja CVT-vaihteistot. (Naunheimer, H. & Bertsche, B. & Ryborz, J. & Novak, W. 2010)

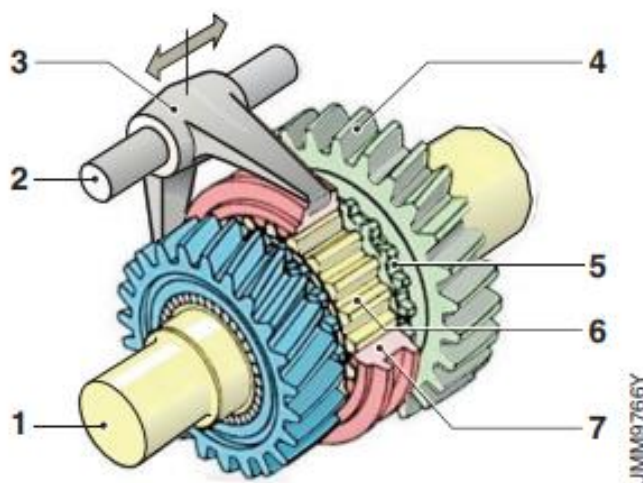
### 2.3.1 Manuaalivaihteisto

Manuaalivaihteisto on autoteollisuudessa vaihteistojen perinteinen muoto. Sitä operoidaan liikuttamalla ohjaamossa sijaitsevaa vaihdevipua kädellä kuljettajan toimesta, joka liikuttaa vaihteita paikoilleen siten, että moottorilta tuleva voima kulkee niitä pitkin renkaille. (Bosch 2022)

Moottorin luoma teho kulkee kiinteätä akselia pitkin vaihdelaatikon, josta se kulkeutuu kiinteää ratasta pitkin toissijaiselle akselille, joka kulkee vaihdelaatikon sisällä pääakselin rinnalla (Kuva 7, kohta 10). Tälle akselille, jota kutsutaan rinnakkaisakseliksi, on aseteltu eri kokoisia kiinteitä rattaita, joihin pääakselin ulosmenopuolella asetellut rattaat lukkiutuvat, jotta voima voisi siirtyä eteenpäin (Kuva 7, kohta 7). Rinnakkaisakseli ei liiku. Rattaiden hampailla on eri välitykset, jotta eri nopeuksille ja ajotilanteille löytyy sopiva vaihde. Vaihteita laatikoissa on useimmiten viisi tai kuusi eteenpäin kulkevaa vaihdetta ja yksi peruutusvaihde. Ensimmäiset suurivälityksiset vaihteet tuottavat eniten vääntöä, ja viimeiset pienivälityksiset vaihteet taas tehoa ja nopeutta. Viimeisten vaihteiden kytkeytyminen on toteutettu niin, että akselin molemmat päät yhdistyvät, jolloin renkaat saavat moottorilta suoran välityksen. Jossain vaihteistoissa on myös tätä isompi vaihde, jolla on alle 1:1 välityssuhde. Ohjaamon vaihteenvaihtimella kuljettaja liikuttaa pääakselilla sijaitsevia rattaita (kuva 8). (Bosch 2022)



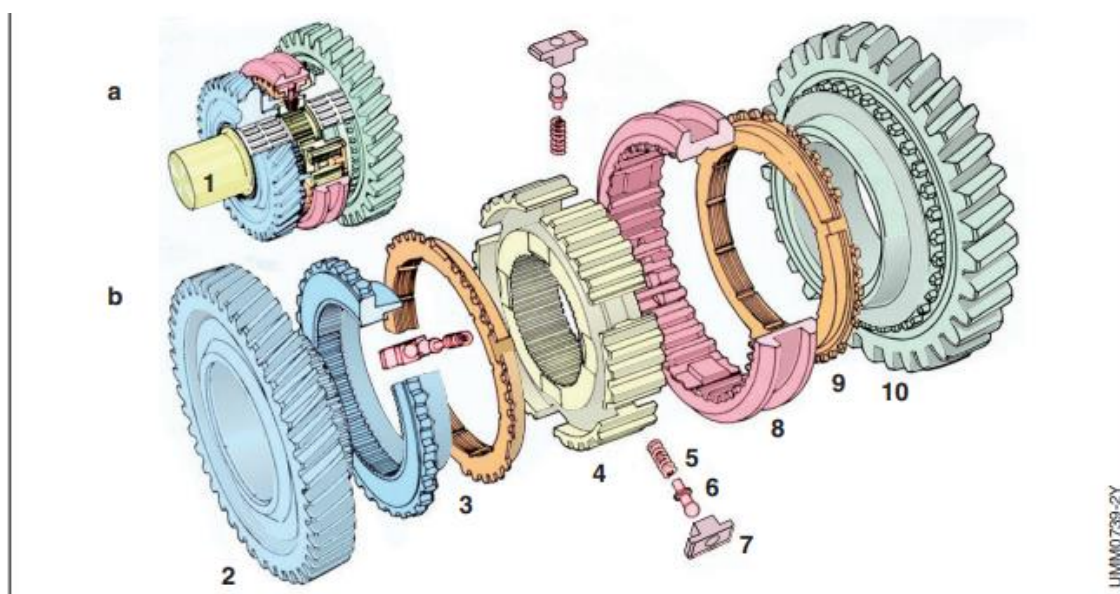
KUVA 7. Manuaalivaihteisen vaihdelaatikon toimintakaavio (Bosch 2022, 614)



KUVA 8. Manuaalivaihteiston vaihteenvaihtimen toimintaperiaate kuvitettuna (Bosch 2022, 614)

Vaihteita ei kuitenkaan voi vaihtaa moottorin ollessa käynnissä ilman, että vaihderattaiden täytyisi "taistella" moottorin voimaa vastaan kytketyn vaihteen pyöriessä moottorin nopeudella. Ajan myötä tämä vahingoittaa vaihteita ja aiheuttaa metallisilpun joutuvan vaihdelaatikkoon. Tätä varten vaihteiston kanssa käytettäväksi on keksitty erillinen kuljettajan operoima kitkalevy, jota kutsutaan kytkimeksi. Kytkimen avulla pystytään irrottamaan moottorin kampiakselin päässä oleva vauhtipyörä lopusta voimansiirrosta, minkä aikana vaihderattaat ovat vapaasti liikkuvia ja kuljettajan valitsema toinen vaihderatassetti pääsee kytkeytymään pääakseliin ilman vastusta. (Bosch 2022)

Modernimmissa manuaalivaihteistoissa on vaihteiden vaihdon pehmentämiseksi ja sen käytön helpottamiseksi keksitty vaihteiden synkronoinnille erillinen järjestelmä (kuva 9). Sen sijaan, että vaihderattaat kytkeytyvät toisiinsa liikkeestä, ovat ne jo valmiiksi löysästi kytkettynä toisiinsa. Vaihteita vaihtamalla erillinen lukkomekanismi (kuva 9, kohta 4) lukitsee pääakselilla (kuva 9, kohta 1) kulkevan vaihteenvalitsinrenkaan (kuva 9, kohta 8) ja vaihteet (kuva 9, kohdat 2 ja 10) toisiinsa, joka toimii käytännössä samalla tavalla kuin vaihteiden varsinainen liikuttaminen. Lukkomekanismin ohessa jokaisella vaihteella on oma synkronirengas (kuva 9, kohteet 3 ja 9), jonka avulla kytkimen irrotessa vauhtipyörästä, synkronirenkaat synkronisoivat vaihteet ja vaihteenvalitsimen samaan nopeuteen. Tämä mahdollistaa sen, että kuljettajan ei tarvitse ajon aikana koittaa itse synkronisoida vaihteita oikeaan nopeuteen. Tämä taas minimoi käyttäjävirheen riskiä, parantaen ajokokemusta ja pidentäen vaihteiston lopullista käyttöikä. (Bosch 2022)

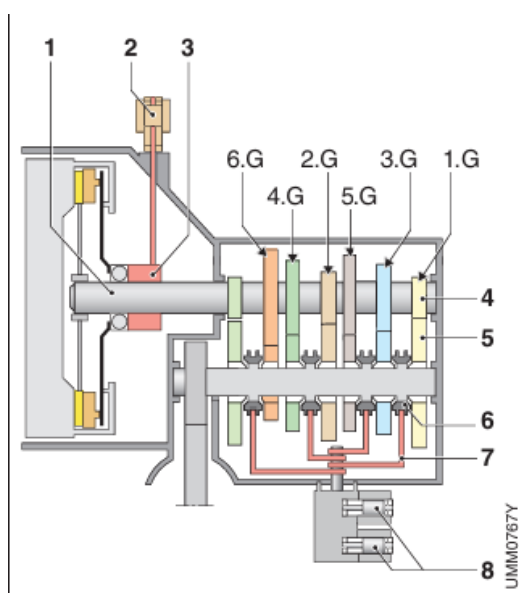


KUVA 9. Manuaalivaihteiston vaihteiden synkronisaatiojärjestelmä eli Synchromesh. (Bosch 2022, 611)

### 2.3.2 Automatisoitu manuaalivaihteisto

Automatisoidut manuaalivaihteistot ovat toimintaperiaatteeltaan verrattavissa manuaalivaihteistoihin. Mikään muu ei juurikaan muutu, paitsi kytkimen ja vaihteenvalitsimen toiminta on nimen mukaisesti automatisoitu. Tämänkaltaisia vaihteistoja käytetään laajasti suuremmissa hyötyajoneuvoissa, kuten linja-autoissa ja rekoissa. (Bosch 2022)

Automatisoidussa manuaalivaihteistossa kytkintä operoidaan joko sähköhydraulis- tai täyssähkömoottoreilla, joita vaihteiston ohjausyksikkö ohjaa (kuva 10, kohdat 2 & 3). Joissain vaihdelaatikoissa on käytetty myös pneumaattista järjestelmää, mutta toimintaperiaate on sama. Erillisillä sähkömoottoreilla (kuva 10, kohta 8) mahdollistetaan myös vaihteiden automaattinen vaihtaminen liikuttamalla vaihteiden välisiä synkronirenkaita (kuva 10, kohta 6). Joissain malleissa kuljettaja voi päättää, haluaako vaihtaa vaihteita itse. Kytkinpoljinta ei tällä vaihteistolla varustelluissa autoissa kuitenkaan ole, vaan se on aina automatisoitu. (Bosch 2022) (Fischer, R. & Küçükay, F. & Jürgens, G. & Najork, R. & Pollak, B. 2015)



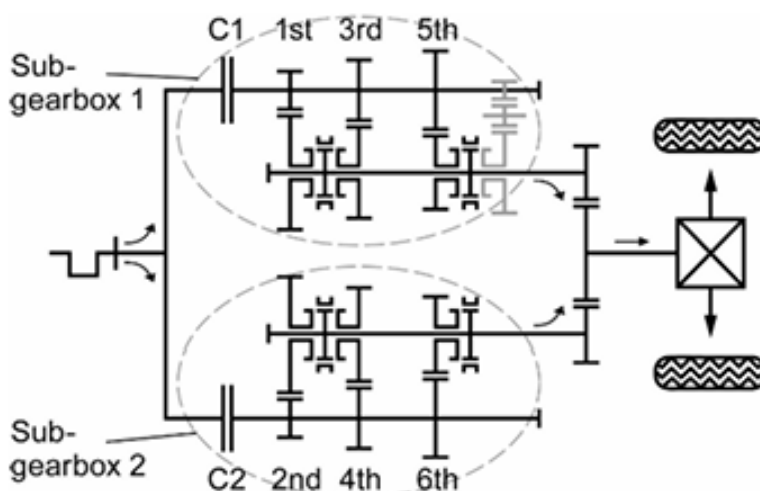
KUVA 10. Automatisoidun manuaalivaihteiston toimintaperiaate kuvitettuna (Bosch 2022, 617)

Automatisoidussa manuaalivaihteistossa esiintyy ajotilanteessa manuaalivaihteistoille tyypillisiä ominaisuuksia, kuten kaasun irrottaminen vaihteen valinnan ajaksi. Ajossa siis tuntuu selkeä ”porras” vaihteiden välillä. Tämä vaikuttaa ajomukavuuteen toisiin automaattivaihteistoihin verrattuna, minkä takia tätä vaihteistotyyppiä harvemmin käytetäänkin nykyään henkilöautoissa. Automatisoitu manuaalivaihteiston hyötysuhde mukaillee myös manuaalivaihteistoa, joten esimerkiksi polttoaineen kulutus voi olla pienempi kuin toisen tyyppisillä automaattivaihteistoilla. (Bosch 2022)

### 2.3.3 Kaksoiskytkinvaihteisto (DCT)

Kaksoiskytkinvaihteisto kehitettiin yhdistämään manuaalivaihteiston ja automaattivaihteistojen hyvät puolet. Vaihteisto toimii samalla periaatteella kuin manuaalivaihteisto: vastakkaiset rattaat kuljettavat moottorilta tulevan tehon renkaille. Eri kokoiset rattaat luovat eri välitykset, ohjaten renkaille menevän väännön ja tehon määrää eri tilanteita varten. (Bosch 2022) (Naunheimer, H. & Bertsche, B. & Ryborz, J. & Novak, W. 2010)

Vaihteisto koostuu kahdesta ns. "alivaihteistosta", jotka molemmat aktivoidaan joko kuivalla tai märällä kytkimellä. Vaihteistoissa on täten yhteensä kaksi erillistä kytkintä (kuva 11, kohdat C1 ja C2), mistä nimi tulee. Kytkimiä aktivoidaan erillisillä venttiileillä. Alivaihteistot eivät ole kuitenkaan aseteltu erikseen, vaan ne rakennetaan toistensa sisälle tilatehokkuuden vuoksi. Tästä riippumatta vaihteistot kuitenkin toimivat pääosin itsenäisesti. Useimmissa ratkaisuissa toinen vaihteisto kattaa parilliset vaihteet ja toinen parittomat. Peruutusvaihte voidaan asettaa kumpaankin tahansa alivaihteistoon. Toinen vaihdelaatikolle menevästä akselista on ontto ja toinen kiinteä. Akselit kulkevat sisäkkäin, vähentäen tilan käyttöä entisestään. Vaihteistoissa on erikseen toimiva joko mekaanisesti tai sähköisesti toimiva öljypumppu. Vaihteistoissa voi olla käyttötarkoituksen vaatien asennettuna myös öljynlauhdutin, joka kulkee moottorin jäähdytysjärjestelmän kautta. (Bosch 2022) (Naunheimer, H. & Bertsche, B. & Ryborz, J. & Novak, W. 2010)



KUVA 11. Kaksoiskytkinvaihteiston toimintaperiaate kuvitettuna. (Naunheimer, H. & Bertsche, B. & Ryborz, J. & Novak, W. 2010, 173)

Vaihteiden vaihto toimii automaattisesti, kuljettajalle miltei huomaamattomalla tavalla. Ajohetkellä aktiivinen vaihteisto pyörittää renkaita. Vaihteiston ohjausyksikkö tunnistaa, kun ajotilanne vaatii vaihteen vaihtoa ja vaihtaa vapaassa olevassa vaihteistossa vaihdetta ja synkronoi rattaat moottorin pyörimisnopeuteen. Ohjainyksikkö ottaa tiedon muun muassa kaasupolkimen asennosta, moottorin nopeudesta ja sen kuormituksesta laskiessaan seuraavaa vaihtoa. Renkaita ajava vaihde käytännössä vaihtuu, kun vapaan vaihteiston kytkin painetaan kiinni ja aktiivisen vaihteiston kytkin nostetaan pois. Vaihteiden vaihto ei vaadi voiman sulkua, eikä kuljettaja täten joudu nostamaan kaasupoljinta. (Bosch 2022) (Naunheimer, H. & Bertsche, B. & Ryborz, J. & Novak, W. 2010)

Kaksoiskytkinvaihteistot mahdollistavat vaihteiden vaihtamisen samalla, kun kaasu on pohjassa. Tämä eliminoi vaihteiden välisen nytkähtelyn, joka parantaa ajomukavuutta. Kaksoiskytkinvaihteisto mahdollistaa myös vaihteiden melkein välittömän vaihtamisen, joka parantaa huomattavasti kiihtyvyyttä. Vaihteisto kestää myös korkeat moottorin pyörimisnopeudet. Näiden ominaisuuksien ansiosta kaksoiskytkinvaihteistoja käytetään pääasiallisesti urheilu- tai urheilullisissa autoissa. Käyttökohteet ovat hiljemmin laajentuneet myös pienempiin, polttoainetaloudellisiin ajoneuvoihin. (Bosch 2022) (Fischer, R. & Küçükay, F. & Jürgens, G. & Najork, R. & Pollak, B. 2015)

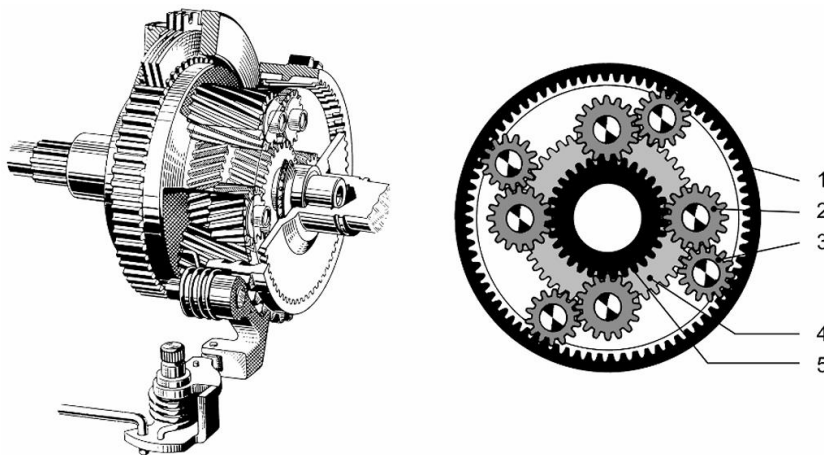
#### **2.3.4 Automaattiset planeettavaihteistot**

Monivälityksisiä momentinmuuntimella varustettuja automaattisia planeettavaihteistoja kutsutaan autoteollisuudessa perinteisiksi automaattivaihteistoiksi. Ne ovat pysyneet käytetyimpinä automaattisina vaihteistoratkaisuinä autoissa aina keksimisestään 1930-luvulta asti. Vaihteisto vaihtaa nimen mukaisesti vaihteita automaattisesti, eikä liikkeelle lähtö vaadi perinteistä kytkintä, vaan sen sijaan käytetään usein hydraulista momentinmuunninta. (Fischer, R. & Küçükay, F. & Jürgens, G. & Najork, R. & Pollak, B. 2015)

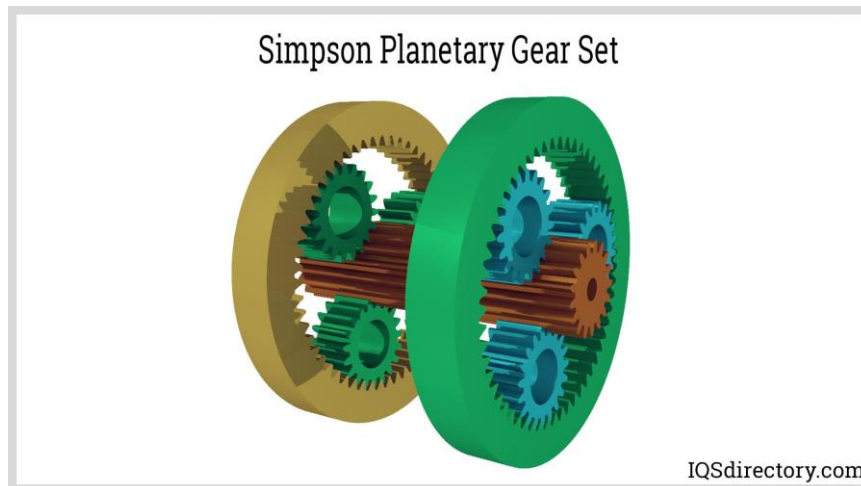
Vaihteistoissa vaihteet koostuvat nimen mukaisesti monista pienistä planeettarataseteistä, jotka kytkeytyvät toisiinsa kuljettaen moottorin tuottaman tehon renkaille. Ulkoreunalla kulkevat rattaat, joita kutsutaan planeettarattaiksi, kytkeytyvät

keskellä kulkevaan ratasakseliin, jota kutsutaan aurinkorattaaksi. Rattaiden fyysinen määrä on täten suoraan verrannollinen vaihteiston käyttämien vaihteiden määrään. Rattaiden lisäksi vaihteiden vaihtamiseen vaikuttaa niiden välillä olevat lukuiset pienet kytkin- ja jarrulevyt. Näiden levysettien määrä riippuu myös ratasettien määrästä. (Bosch 2022) (Naunheimer, H. & Bertsche, B. & Ryborz, J. & Novak, W. 2010)

Rattaiden asetteluun käytetään usein kahta hyväksyttyä mallia: Ravigneaux- ja Simpson-mallia, molemmat nimetty keksijänsä mukaan. Ravigneaux-mallissa kaksi erillistä planeettaratass- ja aurinkoratassettiä (kuva 12, missä kohdat 2 ja 3 ovat kaksi erillistä planeettaratassettiä ja kohdat 4 ja 5 ovat kaksi erillistä aurinkoratasta.) operoivat saman ympyrärattaan (kuva 12, kohta 1) sisällä. Simpson-mallissa kaksi planeettaratassettiä operoi yhteisen aurinkorattaan ympärillä, mutta erillisillä ympyrärattailla (kuva 13). Aiemmin mainittu Ravigneaux-setti on periaatteessa pidemmälle kehitetty malli Simpson-ratasmallista, jonka takia se on nykypäivänä laajemmin autovalmistajien suosiossa. Se ajaa saman tarkoituksen, mutta on ylipäätään kevyempi ja tehokkaampi tehtävässään, tarjoten esimerkiksi laajemman määrän vaihdevälityksiä. (IQS Directory n.d. Viitattu 21.10.2025) (Bosch 2022)

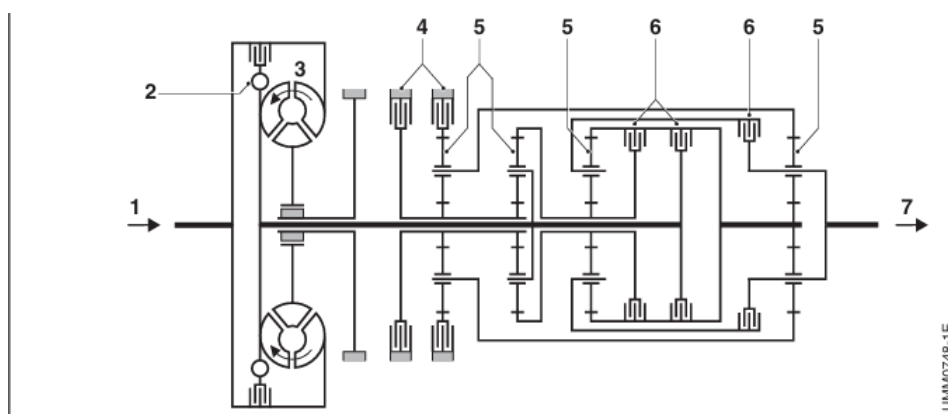


KUVA 12. Ravigneaux-ratasmalli kuvitettuna (Naunheimer, H. & Bertsche, B. & Ryborz, J. & Novak, W. 2010, 175)



KUVA 13. Simpson-ratasmalli kuvitettuna (IQS Directory, nd.)

Vaihteistossa vaihdevälkien aikaan saamisessa tärkeässä roolissa ovat ratasettien lisäksi myös aiemmin mainitut jarru- ja kytkinlevyasetelmat, joita ohjataan hydraulisesti (kuva 14, kohdat 4 ja 6). Asetelmat sijaitsevat ratasettien välissä, ja niiden avulla voidaan hidastaa pääakselin pyörimisnopeutta. Tämä puolestaan luo käytännössä uuden välityksen ulostuloakselille. Moderneissa vaihdelaatikoissa optimaalinen välitysten määrä on todettu olevan kahdeksasta yhdeksään vaihdetta, joka tarjoaa parhaimman mahdollisen tasapainon suorituskykyä ja polttoainetaloudellisuutta. Tämä saavutetaan useimmissa tapauksissa neljällä ratasettillä, kahdella jarrulevysetillä ja kolmella kytkinlevysetillä (Taulukko 1). (Bosch 2022)



KUVA 14. 8-vaihteinen automaattisen planeettavaihteiston toimintaperiaate kuvitettuna (Bosch 2022, 620)

TAULUKKO 1. 8-vaihteisen automaattivaihteiston välitykset ja siihen vaadittujen jarru- ja kytkinlevyasetelmien aktivoinnit, missä + tarkoittaa aktivoitua ja 0 deaktivoitua settiä. (Bosch 2022, s. 620)

Vaihde	Jarru		Kytkin			Suhde x:1
	A	B	C	D	E	
1	+	+	+	0	0	4,714
2	+	+	0	0	+	3,140
3	0	+	+	0	+	2,106
4	0	+	0	+	+	1,667
5	0	+	+	+	0	1,285
6	0	0	+	+	+	1,000
7	+	0	+	+	0	0,839
8	+	0	0	+	+	0,667
R	+	+	0	+	0	-3,317

Momentinmuuntimen avulla liikkeellelähtö planeettavaihteisilla automaattivaihteistoilla varustetuilla autoilla on helppoa: kuljettaja päästää jarrun vapaaksi ja auto kulkee eteenpäin. Vaihteiston toiminta ei myöskään vaadi kuljettajaa sulkemaan voimaa, eli nostamaan kaasupoljinta. Vaihteiston helppokäyttöisyyden ja luotettavuuden takia näitä vaihteistoja käytetään vieläkin laajasti henkilöautot-kaisuissa. (Fischer, R. & Küçükay, F. & Jürgens, G. & Najork, R. & Pollak, B. 2015)

### 3 CVT-VAIHEISTO

Luvussa esitellään CVT-vaihteiston kehityshistoriaa ja toimintaperiaatetta sekä perehdytään sen komponentteihin. Tämän lisäksi esitellään, mitä vaihteiston suunnitteluvaiheessa pitää ottaa huomioon ja vaihteiston vahvuudet ja heikkoudet.

#### 3.1 CVT-vaihteiston historia

CVT-vaihteiston konsepti on teoreettisesta näkökulmasta ollut tiedossa jo pitkään. Vaihteiston varhaisimmat konseptit johdetaan usein italialaiseen yleisnero Leonardo Da Vinciin, jonka piirros alkeellisesta CVT:stä uskotaan valmistuneen jo n. vuonna 1490. Vaihteisto on kuitenkin löytänyt tiensä käytännön ratkaisuihin vasta suhteellisen lähiaikoina. (Zhang, Y. & Mi, C. 2018)

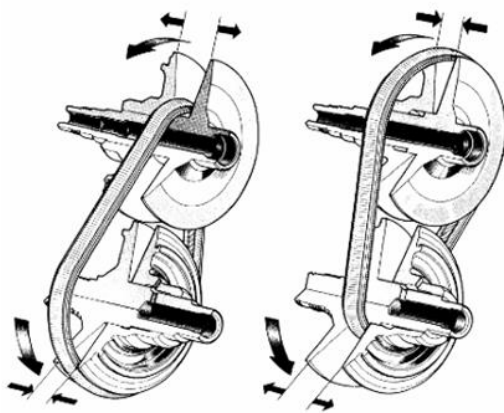
Vuonna 1923 Brittiläinen autovalmistaja Clyno oli vaihteistojen kehityksen pioneeri käyttäessään ensimmäistä kertaa CVT-perusteista vaihteistoa henkilöautossa. Vaihteistomallia ei kuitenkaan pidetty edukkaampana kuin perinteistä vaihteistoa ja autonvalmistajien into CVT:tä kohtaan tyrehtyi. Vasta vuonna 1961 CVT saapui takaisin henkilöautomarkkinoille, kun alankomaalainen autovalmistaja DAF suunnitteli vaihteistoa käytettäväksi Daffodil-mallisessa henkilöautossaan, ja muutama kappale tuotettiin. Vaihteisto todettiin kuitenkin käytännössä huonoksi verrattuna toisiin ratkaisuihin, sen omaavan huonon tehokkuuden ja luotettavuuden takia. Joidenkin valmistajien kohdalla kiinnostus jatkuvan välityssuhteen vaihteistotyyppiin kuitenkin kohosi. (Zhang, Y. & Mi, C. 2018)

Seuraava merkittävä vaihe CVT:n historiassa oli vuoden kompaktiauto 1987 Subaru Justy. Seuraavina vuosina mm. Ford ja Fiat julkaisivat myös auton, joka oli varustettu CVT-vaihteistolla. Valitettavasti vaihteiston aikaisemmat epäkohdat olivat läsnä myös näissä kappalaissa, joten kuluttajien into vaihteistoa kohtaan pysyi matalana. Vasta 1990-luvun lopulla CVT-vaihteistojen suosio alkoi kasvaa ja kehityksiä tehtiin parantamaan vaihteistomallin aikaisempia heikkouksia ja mahdollistamaan vaihteistoa käytettäväksi isommissakin moottoreissa, kun se oli aikaisemmin rajoittunut pieniin autoihin pienillä moottoreilla. Nissanin omistama

JATCO oli ensimmäinen, joka alkoi massatuottamaan CVT-vaihteistoja 2-litraisten ajoneuvojen luokkaa varten vuonna 1997. JATCO on sittemmin pysynyt maailman johtavana CVT-vaihteistojen tuottajana. (Zhang, Y. & Mi, C. 2018) (JATCO n.d.)

### 3.2 CVT-vaihteiston toimintaperiaate

CVT-vaihteisto eroaa muista vaihteistomalleista siten, että voimansiirtoprosessiin sekä välityssuhteiden luomiseen ei kuulu varsinaiset vaihteistorattaat. Voimaa siirretään kahden rullasetin välisen hihnan tai ketjun työntöliikkeen muodostaman kitkan avulla. Hihna lepää rullien seinämien muodostavan V:n muotoisen uran sisällä. Rullien seinämät ovat vapaasti liikkuvia syvyysuunnassa, mikä mahdollistaa uraleveyden muutoksen. Useimmissa käyttöratkaisuissa tämä muutos on aikaansaatu hydraulisilla menetelmillä. Rullien ja hihnan muodostamaa kokonaisuutta kutsutaan variaattoriksi (kuva 15). (Bosch 2022) (Naunheimer, H. & Bertsche, B. & Ryborz, J. & Novak, W. 2010)



KUVA 15. CVT-vaihteiston variaattorin poikkileikkaus ja toimintaperiaate (Naunheimer, H. & Bertsche, B. & Ryborz, J. & Novak, W. 2010, 188)

Rullien uraleveyden muuttuessa muuttuu myös voiman välityssuhde. Tämä tarkoittaa sitä, että välityssuhdetta voidaan vaihdella samalla, kun vaihteisto pyörii, ns. lennosta. Vaihteisto on automaattinen, eli kuljettajan ei tarvitse tehdä mitään tämän aikaansaamiseksi. Välityssuhteita muutetaan eri ajo-olosuhteiden vaatimien kriteerien mukaan. Rullien ollessa vapaasti liikkuvia, on välityssuhteiden

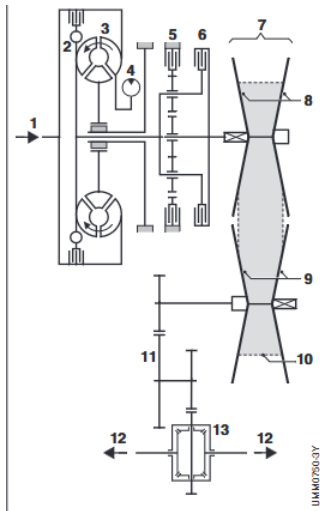
määrä täten teoriassa fyysisten rajojen sisällä ääretön. Näiden fyysisten rajoitteiden takia lopullinen välityssuhdealue on kuitenkin useimmissa vaihteistoissa  $n. 6,0-6,5:1$ . (Bosch 2022) (Naunheimer, H. & Bertsche, B. & Ryborz, J. & Novak, W. 2010)

Vaihteiston ja moottorin välissä on usein perinteisempien vaihteistojen tapaan hydraulinen momentinmuunnin, jonka tehtävä on auttaa liikkeellelähtöä. Jossain vaihteistoissa liikkeellelähtö on ratkaistu märkäkytkimillä momentinmuuntimen sijaan. Momentinmuuntimen jälkeen teho tulee moottorilta sisään variaattorin toiselle rullalle, jota kutsutaan ensisijaiseksi rullaksi. Momentinmuunninta hyödynnetään vain liikkeelle lähtiessä, ja vauhdin noustessa se lukitaan välittömästi ja voimansiirto siirretään variaattorille. Voima siirretään hihnaa tai ketjua pitkin toissijaiselle rullalle. Välityssuhde on suuri, kun ensisijainen rulla on täysin auki ja hihna tai ketju lepää uran matalimmassa kohdassa. Kun välityssuhde laskee, hihna tai ketju nousee ensisijaisen rullan urassa ja laskee toissijaisessa rullassa. Voima siirtyy toissijaiselta rullalta tasauspyörästä kautta renkaille. (Bosch 2022) (Chen, Y 2021) (Zhang, Y. & Mi, C. 2018)

Voiman välityssuhdealuetta voidaan laajentaa pienellä integroidulla apuvaihteistolla, joka voi toimia joko planeettavaihde- tai hammasvaihdeperusteisesti. Apuvaihteistolla ratkaistaan myös useimmissa tapauksissa peruutusvaihde. Integroitu apuvaihteisto voidaan asettaa joko ennen vaihteiston ensisijaista rullaa tai toissijaisen rullan jälkeen. Apuvaihteiston ratassetti voidaan asettaa ennen ensisijaista rullaa, jolloin rullan varsinainen pyörimissuunta muuttuu riippuen siitä, onko peruutus- vai ajovaihde kytkettynä. Jos ratassetti taas asetetaan ulostulon jälkeen, voidaan sitä käyttää laajentamaan vaihteiston välityssuhdealuetta, mitä edeltävällä tavalla ei voi tehdä. (Zhang, Y. & Mi, C. 2018)

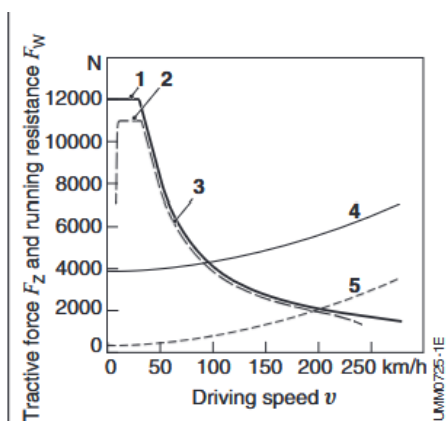
Kuvassa 16 on havainnollistettuna CVT-vaihteiston toimintaperiaate. Kohdassa 1 näkyy moottorilta vaihteistolle tuleva voima. Kohdissa 2 ja 3 näkyy vaihteiston ja moottorin väliin asetettu hydraulinen momentinmuunnin. Kohta 4 on mekaaninen öljypumppu. Kohdissa 5 ja 6 näkyvät ajo- ja peruutusvaihteen kytkemiseen tarkoitetut planeettavaihdeseitit. Kohdassa 7 esiintyy vaihteiston variaattori. Tarkentamiseksi kuvaan ovat merkitty myös ensisijainen ja toissijainen rulla siinä järjestyksessä kohtiin 8 ja 9. Kohta 10 on rullia sitova hihna tai ketju. Voima siirtyy

kohdassa 11 sijaitsevalta ulostuloakselilta kohdassa 13 sijaitsevalle tasauspyörästölle, josta se välittyy pyörille kohdassa 12. Kaaviossa ei esiinny parkkilukkoa eikä erillisiä sähkö- tai hydraulikkaohjausjärjestelmiä. (Bosch 2022)



KUVA 16. Tekninen kaavio CVT-vaihteistosta (Bosch 2022, 622)

Kuvassa 17 nähdään CVT-vaihteistolla ja polttomoottorilla varustetun ajoneuvon ajotilapiirros. Käyrä 1 on maksimaalinen kitka, jotka renkaat voivat tuottaa. Käyrä 3 on ideaalinen vetovoima ja käyrä 2 on vaihteiston tuottama varsinainen veto-voima. Kuvaajassa näkyy vaihteistolle ominainen porrattomuus ja kuinka välitysten vaihtuessa voiman sulkua ei ole tarpeellista. Tätä voidaan verrata kuvassa 2 näkyvään ajotilapiirrokseen perinteisemmistä vaihteistoista, josta huomaa selkeän eron näiden kahden välillä. Kuvaajaa tutkiessa CVT-käyrässä ei juurikaan vaikuta olevan hukkaan mennyttä vetovoimaa, vaan se pysyy tasaisena ja myötäilee ideaalikäyrää koko ajan. (Bosch 2022)

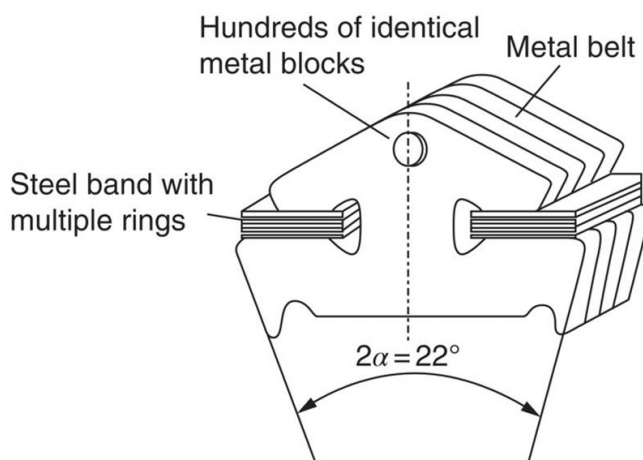


KUVA 17. Ajotilapiirros CVT-vaihteistolla varustetussa polttomoottoriajoneuvossa (Bosch 2022, 598)

### 3.3 Voimansiirron välityskappaleet CVT-vaihteistossa

CVT-vaihteistoissa käytetty rullien välinen voimansiirron välityskappale on vaihteiston toiminnalle olennainen komponentti. Tämä on suurimmassa osassa vaihteistoja toteutettu hihnalla. Hihna on usein henkilöauto- ja hyötyajoneuvoratkaisuissa metallinen, mutta pienemmissä ajoneuvoissa kuten skoottereissa se voi olla kuminen. (Bosch 2022)

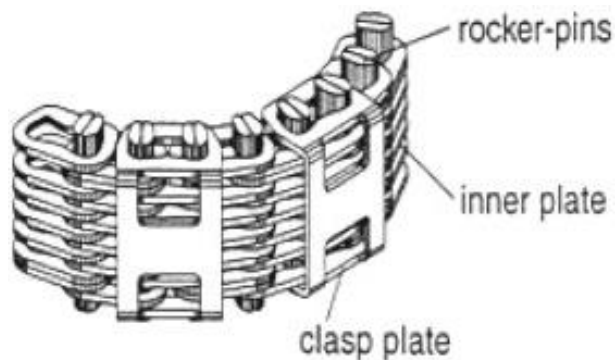
Metallihihna koostuu useimmissa tapauksissa kahdesta pitkästä nauhamaisesta metalliliuskasta, jotka kiinnitetään sadoilla pienillä metallikappaleilla toisiinsa. Metalliset "nauhat" koostuvat monesta kerroksesta muutaman millimetrin paksuisia toisiinsa painettuja liuskoja. Kiinnikekappaleet ovat myös muutaman millimetrin paksuisia. Nauhat kulkevat kiinnityskappaleissa olevissa urissa. Hihnan ja rullien kontaktipinnan välistä kulmaa pidetään usein 22 asteessa, koska tämän on huomattu tuottavan hihnalle paras mahdollinen liikealue rullien seinämien liikkuesssa (kuva 18). (Zhang, Y. & Mi, C. 2018)



KUVA 18. CVT-vaihteiston variaattorin metallihihnan poikkileikkaus (Zhang, Y. & Mi, C. 2018, 244)

Välityskappaleena voidaan käyttää myös ketjua. Se koostuu poikittain ja pitkittäin asetelluista metallilevyistä, jotka ovat kiinnitetty toisiinsa lukuisilla metallitapeilla (kuva 19). Voimansiirron perusteet ketjulla ajatussa vaihteistossa on täysin samat kuin hihnalla ajatussa vaihteistossa. Ketjuun kohdistuvat voimat kuitenkin jakautuvat eri tavalla kuin tavanomaisessa metallihihnassa, koska ketjun rakenne ei

ole niin yhtenäinen. Tämä huomioidaan suunnitteluvaiheessa, eikä sen ole todettu vaikuttavan merkittävästi vaihteiston luotettavuuteen. (Srivastava, N. & Haque, I. 2009)

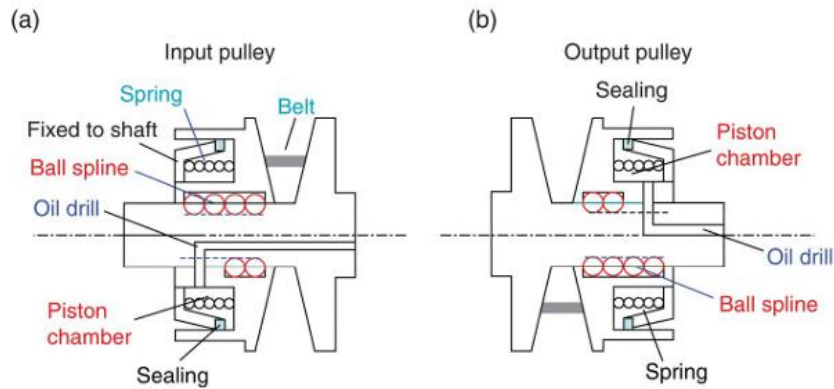


KUVA 19. CVT-vaihteiston variaattorin metalliketju kuvitettuna (Srivastava, N. & Haque, I. 2009, 21)

### 3.4 CVT-vaihteiston rullat

CVT-vaihteistojen toinen pääasiallinen voimansiirron mahdollistava komponentti ovat hihnan kanssa pyörivät rullat. Molemmissa rullissa on kaksi seinämää, joista toinen liikkuu syvyysuunnassa. Seinämien liikettä tuetaan pienillä pallolaakereilla, jotka on asetettu liikkuvan seinämän ja rullasetin keskiakselin väliin. Näillä pyritään vähentämään liikkeestä johtuvaa kulumaa osaan. Rullat palaavat alkuperäiseen asentoonsa palautusjousen ansiosta (kuva 20). (Zhang, Y. & Mi, C. 2018)

Hydrauliöljy kulkee rullien sisään erillistä pientä kanavaa pitkin. Seinämä itsessään toimii hydraulisylinlerin tavoin, jonka liikettä pehmennetään palautusjousen avulla. Ensi- ja toissijaisien rullien liikkuva seinämä asetetaan vastakkaisille puolille toisistaan katsottuna, jotta hihnan tai ketjun sivuttaisliike saataisiin minimoitua, vähentäen kulumaa (Zhang, Y. & Mi, C. 2018)

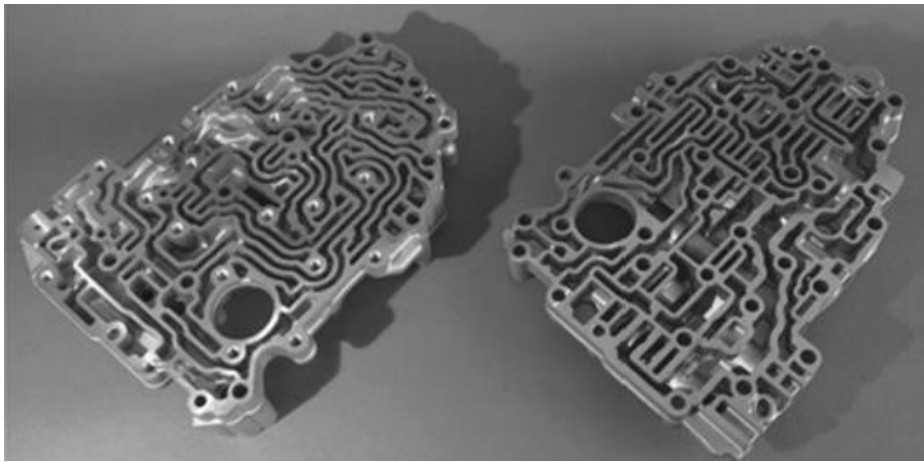


KUVA 20. CVT-vaihteiston rullien poikkileikkaus ja toimintaperiaate kuvitettuna (Zhang, Y. & Mi, C. 2018, 245)

### 3.5 CVT-vaihteiston hydraulinen ohjaus

CVT-vaihteistoissa rullien liike mahdollistetaan paineistetulla hydrauliohjalla, jota ohjataan useimmissa tapauksissa sähköisellä ohjausjärjestelmällä. Hydrauliohjaus samalla viilentää ja rasvaa vaihteiston kriittisiä komponentteja. Öljyn virtaus saadaan aikaan erillisellä pumpulla, jota useimmissa tapauksissa ajetaan vaihteiston sisääntuloakselilla, usein ketjulla toisiinsa kiinnitettynä. Vaihteistoja on varustettu myös sähköpumpulla. Järjestelmässä hyödynnetään lukuisia antureita sekä sähkökytkimiä. Näiden lisäksi se pystyy vastaanottamaan tietoa ajoneuvon toisilta komponenteilta tiedonsiirtojärjestelmää Controller Area Network -väylää (CAN) pitkin. (Bosch 2022)

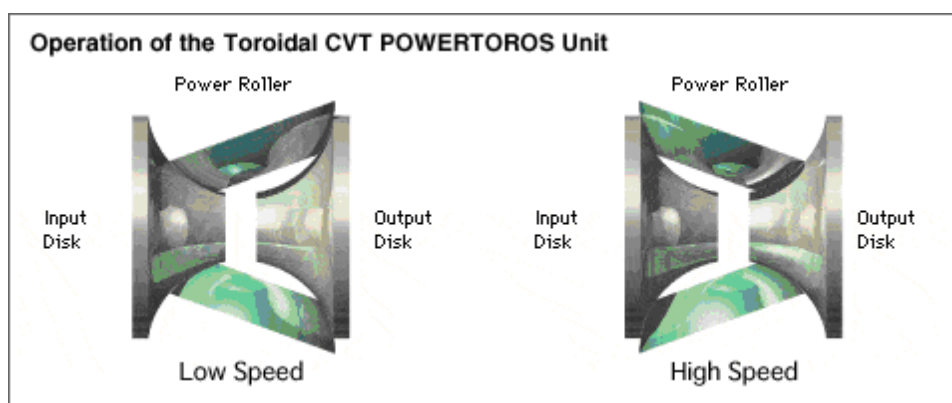
Hydraulijärjestelmällä voidaan säädellä hydrauliohjainvirtausta sekä painetta. Se koostuu usein kaksiosaisesta venttiilikoneistosta, minkä sisällä on monimutkainen sokkelo nestekanavia, joiden avulla öljynkierto toteutetaan (kuva 21). Nämä nestekanavat on sijoitettu harkitusti niin, että öljyn määrä ja paine täyttävät aina vaihteiston toiminnalle vaaditut arvot. Kanavien lisäksi venttiilikoneisto on varustettu lukuisilla sähköllä ajettavilla solenoideilla ja venttiileillä, jotka avustavat nesteen virtauksen ohjaamista. CVT-vaihteistoissa käytetty hydrauliohjaus on omanlaistaan, eikä sitä tulisi sekoittaa toisten hydrauliohjainjärjestelmien kanssa. (Chen, Y 2021) (Bosch 2022)



KUVA 21. CVT-vaihteiston venttiilikoneiston poikkileikkaus (Chen, Y 2021, 131)

### 3.6 Toroidaalinen CVT-vaihteisto

Toroidaalisella CVT-vaihteistolla tarkoitetaan välityssuhteita vapaasti vaihtavaa vaihteistoa, minkä toimintaperiaate muistuttaa perinteistä CVT-vaihteistoa, mutta rullien ja hihnan tai ketjun sijaan toroidaalinen CVT käyttää eräänlaisia levyjä ja rullia muuttaakseen vaihteiston välitystä. Levyjä on useimmissa tapauksissa yhteensä kaksi. Ensimmäinen levy ottaa sisääntulevan voiman vastaan ja toinen levy kuljettaa sen eteenpäin. Levyillä lepää kaksi rullaa, jotka liikkuvat kahden levyn välillä ja kuljettavat voiman kahden levyn välillä. Niitä voi verrata tavanomaisessa CVT-vaihteistossa käytettävään hihnaan tai ketjuun. Välityssuhteiden muuttaminen perustuu siten näiden rullien asentoon (kuva 22). Kun rullien pää koskee sisääntulevan levyn reunaa, on välityssuhde pieni ja kun rullien pää koskee ulostulevan levyn reunaa, on välityssuhde taas iso. Rullat pystyvät liikkumaan sulavasti ja täten luomaan jatkuvan välityssuhteen. (Chen, Y 2021)



KUVA 22. Toroidaalisesta CVT-vaihteistosta toimintaperiaate (NSK n.d.)

Toroidaalinen CVT mahdollistaa korkeamman väännön tuoton kuin perinteinen CVT-vaihteisto. Siinä on myös nopeampi kaasupolkimen vasteaika ja n. 10 % korkeampi polttoainetehokkuus (Chen, Y. 2021, 150). Hihnan puuttuminen vähentää osien välistä kulumista ja parantaa täten käyttöikä. (Advanced Transmission Center 2024)

### **3.7 CVT-vaihteiston toiminnan edellytykset**

CVT-vaihteiston jatkuvalle toiminnalle on ominaista valita oikeanlainen rasva olosuhteisiin nähden. Hihnan tai ketjun ja rullien välillä täytyy olla tarpeeksi paljon kitkaa, mutta tämä pitää saavuttaa siten, että rattaiden ja muiden liikkuvien sisäisten metalliosien rasvaus ei köyhy. Rasvan täytyy kestää myös ailahtelevia korkeita paineita. (Naunheimer, H. & Bertsche, B. & Ryborz, J. & Novak, W. 2010) (Fischer, R. & Küçükay, F. & Jürgens, G. & Najork, R. & Pollak, B. 2015)

Variaattorin rullien ja hihnan välisen kitkavoiman ja sen aiheuttaman rullia keskeltä toisiaan päin vetävän paineen hallinta on vaihteiston toiminnalle elintärkeää. Liian korkea kitkavoima saattaa vähentää tehokkuutta, ja liian vähäinen kitkavoima voi aiheuttaa hihnan luistamista, joka johtaa vaihteiston lopulliseen vaurioitumiseen. Jos kitkavoima ei vastaa vaadittua arvoa, voi muutkin komponentit kulua tavallista nopeammin. Hihnan täytyy kestää muuttuvien ajo-olosuhteiden johdosta syntyneet nopeat paine-erot, joita esiintyy muun muassa hätäjarrutustilanteessa. Jos vaihteistoa ajetaan ketjulla, sen metallitappien täytyy myös kestää sisäiset paine-erot. (Naunheimer, H. & Bertsche, B. & Ryborz, J. & Novak, W. 2010)

### **3.8 CVT-vaihteiston vahvuudet ja heikkoudet**

CVT-vaihteistoissa on teoriassa loputtomat määrät mahdollisia välityssuhteita. Tämä tarkoittaa sitä, että moottorin pyörimisnopeus pystytään pitämään optimaalisena jokaisessa ajotilanteessa, mahdollistaen tasaisemman kiihdytyksen ja taloudellisemman polttoaineenkulutuksen. Varsinaisten vaihteiden puuttuminen vaikuttaa positiivisesti myös ajomukavuuteen. Tämän takia vaihteistossa ei myöskään ole pitkää yhtenäistä akselia, mikä mahdollistaa vaihdelaatikon pienen fyysisen koon ja massan. (Hogan & Sons n.d.)

Ajossa ei tunnu perinteisille portaalliselle vaihteistolle tyypillisiä nytkähdyksiä. Tämän lisäksi voiman huippu on helpompi saavuttaa jopa pienitehoisilla moottoreilla. Vaihteisto ei myöskään ole ns. kickdown-toimintoa, eli yhtäkkiä vaihteen alaspäin vaihtamista, kun kaasupolkimen painaa pohjaan, mikä entisestään vähentää nytkähtelyjä. (Hogan & Sons n.d.) (Car and Driver 2025)

CVT-vaihteistoissa voi kuljettajille esiintyä ns. kuminauhaefekti, jossa perinteisiin, porrastettuihin vaihteistoihin verrattuna vetävä voima tuntuu vähäiseltä, vaikka moottorin kierrokset ovat korkealla. Tätä lieventääkseen valmistajat ovat alkaneet luoda vaihteistoihinsa erillisiä välityksenvaihtovälejä, jotta muihin vaihteistoihin totuneet kuljettajat eivät tuntisi tätä liikaa. (Fischer, R. & Küçükay, F. & Jürgens, G. & Najork, R. & Pollak, B. 2015)

CVT-vaihteistojen hyötysuhde kärsii välityssuhteen vaihdon aikana ja tippuu n. 60 % asti. Perinteisiin vaihteistoihin verrattaessa CVT-vaihteiston kokonaisvälitysalue on myös pienempi, eikä se kykene yhtä suuriin vääntömomenttilukuihin. (Chen, Y. 2021, 110).

CVT-vaihteisto pitää myös hihnalle tai ketjulle ominaista vinkuvaa ääntä ajossa, jota jotkut kuljettajat pitävät häiritsevänä. Toisenlainen ujeltava ääni kuuluu myös kiihdyttäessä. Moottorin kierrokset voivat pysyä ajossa myös suhteellisen korkealla, joka nostaa äänitasoa entisestään. (Hogan & Sons n.d.)

## 4 OPINNÄYTETYÖSSÄ KÄYTETTY VAIHTEISTO

Luvussa käsitellään opinnäytetyössä käytettyä vaihteistoa ja eritellään sen osat teoriaan perustuen. Erilliset komponentit on kuvattu ja yhdistetty teoriaan havainnollistavalla kuvaajalla.

### 4.1 Yleistä vaihteistosta

Opinnäytetyön pohjana käytettiin JATCO JF015E -vaihteistoa (kuva 23). Kyseistä vaihteistoa on käytetty pääasiassa Nissanin pienemmissä etuvetoisissa henkilöautoissa. Vaihteiston ulkokuori on valmistettu alumiinista.

Vaihteisto käyttää metallihihnaa variaattorissa, jonka pyörimissuunta on sama kuin moottorilla. Vaihteistossa auton liikkeelle lähtö suoritetaan hydraulisella momentinmuuntimella. Vaihteiston lopullinen välityssuhde on 7,3:1. Suuri välityssuhdealue on saavutettu variaattoria avustamaan suunnitellulla Ravigneaux-mallisella planeettavaihteistolla, jota itsessään avustavat kaksi jarrulevyasetelmaa ja yksi kytkinlevyasetelma. Tämän ansiosta vaihteiston variaattoria voidaan käyttää joko matalalla tai korkealla alueella, joka muuttuu, kun ohjausyksikkö havaitsee ajotilan vaativan joko lisää vääntöä tai nopeutta. (Fischer, R. & Küçükay, F. & Jürgens, G. & Najork, R. & Pollak, B. 2015)



KUVA 23. Jatco CVT JF015E vaihteisto poikkileikkaus (Fischer, R. & Küçükay, F. & Jürgens, G. & Najork, R. & Pollak, B. 2015, 273)

Apuvaihteistolla on ratkaistu samalla peruutusvaihde. Apuvaihteisto on sijoitettu toissijaisen rullan jälkeen. Apuvaihteiston toiminnan peruste on sama kuin planeettavaihteisella automaattivaihteistolla, ja vaatii samoja huomiokohtia sen toiminnan edellytykseksi, kuten toiminta-alueen voimasuluton vaihto. (Fischer, R. & Küçükay, F. & Jürgens, G. & Najork, R. & Pollak, B. 2015)

#### 4.2 Voiman sisääntulo

Vaihteisto oli avattu aikaisemmin korjaustarkoituksissa, mutta kun sitä purettiin opinnäytetyötä varten, osat vaikuttivat olevan alkuperäisiä. Momentinmuunnin kuitenkin puuttui tästä yksiköstä. Teho kulkee pääsijaista akselia pitkin moottorilta momentinmuuntimen läpi vaihteistolle. Samalle akselille on kiinnitetty ketjulla toimiva öljypumppu, joka pumppaa järjestelmän käyttämää hydraulioöljyä vaaditulla paineella. Kuvassa 24 näkyy puretun vaihteiston sisääntuloakseli ja kuvassa 25 öljypumpun rattaat ja niitä yhdistävä ketju. Nämä esiintyvät kuvassa 33 kohdissa 1 ja 2, siinä järjestyksessä. Komponenttien sijainnin vaihteistossa voi hahmottaa liitteestä 4.



KUVA 24. Puretun vaihteiston sisääntuloakseli

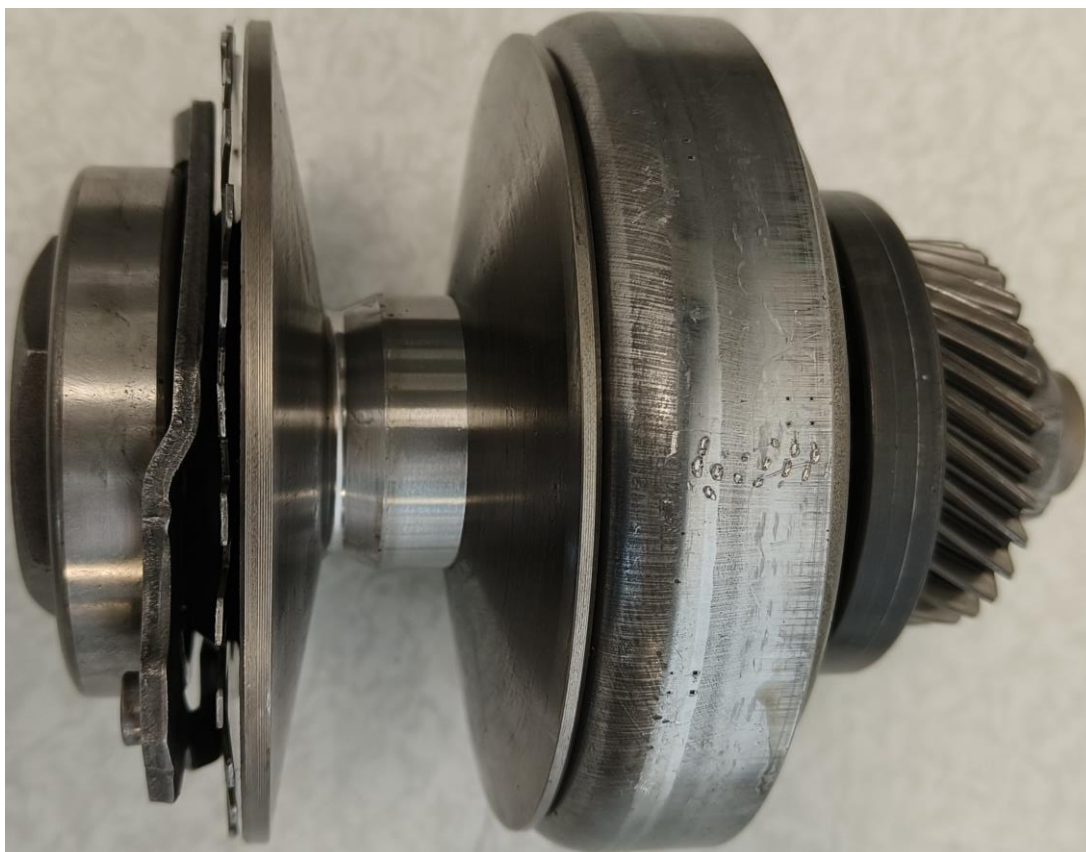


KUVA 25. Puretun vaihteiston öljypumppurattaat ja ketju

### 4.3 Voiman välitys

Akselilta kulkeva voima välittyy rattaita pitkin ensisijaiselle rullalle. Puretun vaihteiston rulla näkyy kuvassa 26. Voima välittyy hihnaa pitkin toissijaiselle rullalle. Nämä näkyvät kuvissa 27 ja 28 siinä järjestyksessä. Osat näkyvät kuvituskuvassa 33 kohdissa 3, 4 ja 5. Ketjuun on merkitty erikseen pyörimissuunta, jota pitää noudattaa tarkkaan vaihteistoa kasatessa kokoon. Variaattorin sijainti vaihteistossa näkyy liitteessä 1.

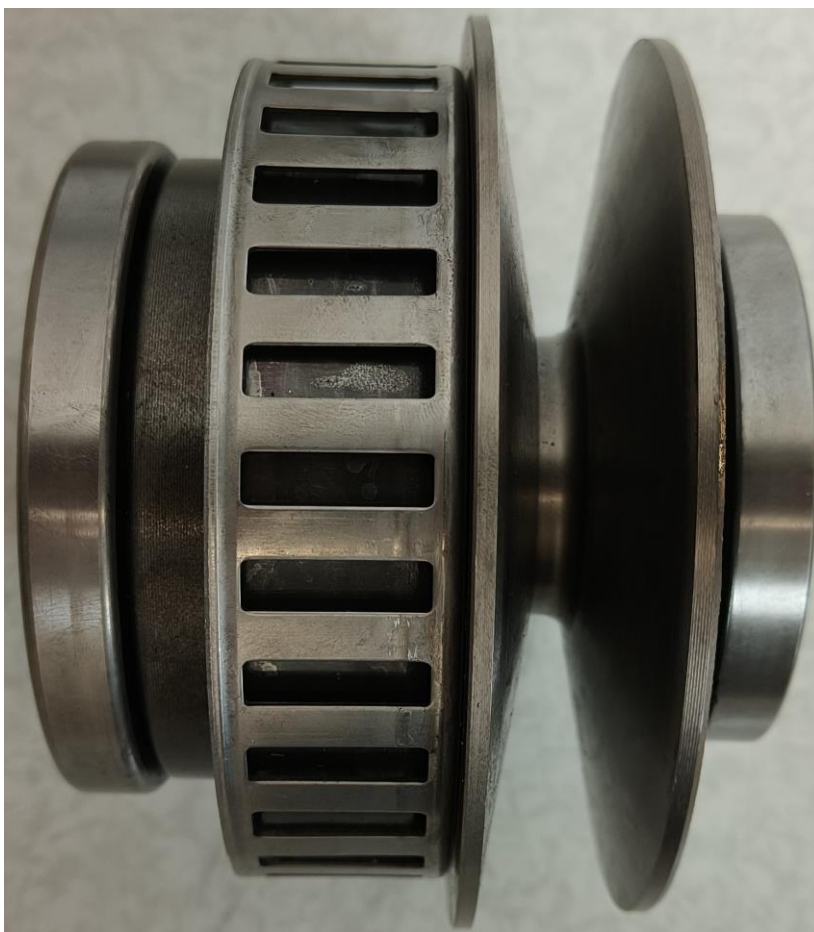
Puretun vaihteiston rullien urissa oli jonkun verran kulumaa, joka oli mitä todennäköisesti syy vaihteiston alkuperäiselle purkamiselle. Rullien seinämän edestakainen liike kuitenkin toimi moitteettomasti käsin kokeilemalla. Toissijaisen rullan palautusjousi oli niin voimakas, että toimintaa jouduttiin kokeilemaan vetäjätyökälulla. Kuvissa esiintyvät naarmut rullien kyljessä johtui purkamis- ja asennustöistä, eikä vaikuta demonstraatiokappaleen lopulliseen toimintaan.



KUVA 26. Puretun vaihteiston ensisijainen rulla



KUVA 27. Puretun vaihteiston metallihihna



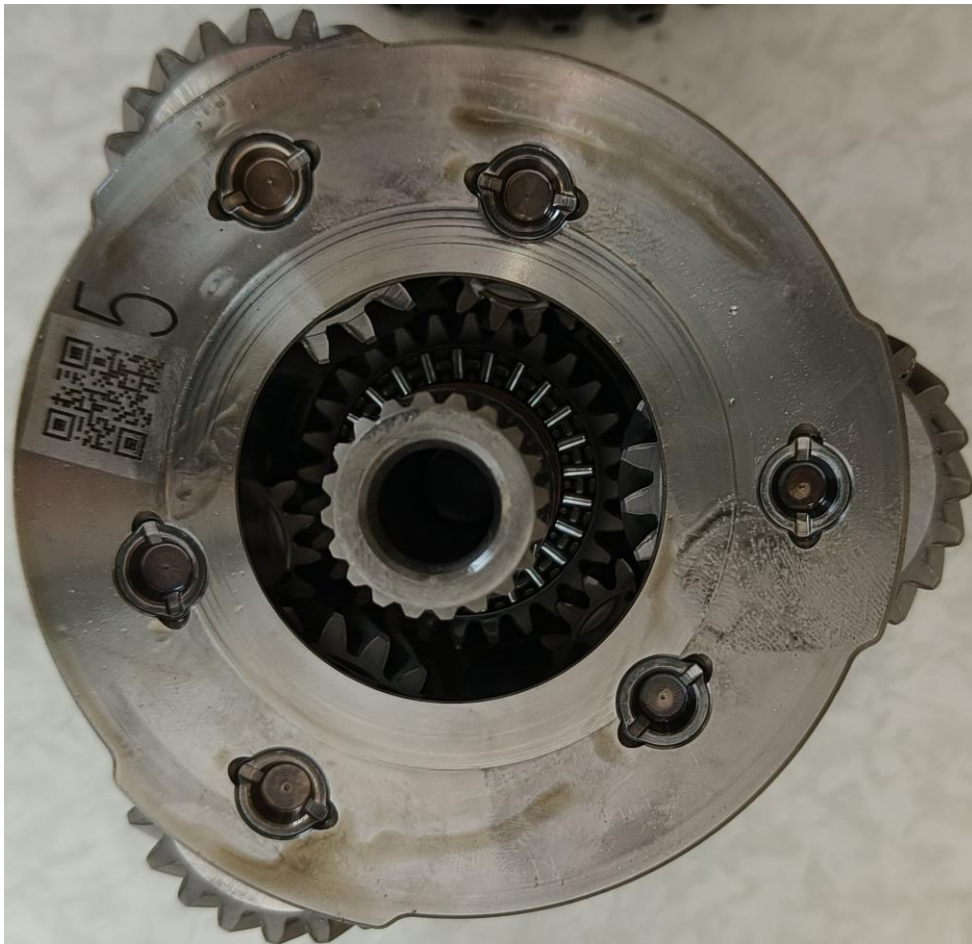
KUVA 28. Puretun vaihteiston toissijainen rulla

#### 4.4 Voiman ulostulo

Voima kulkee toissijaisen rullan kautta pienelle planeettavaihteistolle, jolla on ratkaistu peruutusvaihte ja tälle vaihteistomallille olennaiset alennusvaihteet. Kuvassa 29 näkyy puretun vaihteiston kitkalevyypakat ja kuvassa 30 planeettavaihteisto. Kuvassa 33 nämä esiintyvät kohdissa 6 ja 7. Ulkoista vauriota ei osissa näyttänyt olevan. Kitkalevyissä ei näyttänyt olevan palamisen merkkejä.



KUVA 29. Puretun vaihteiston kytkin- ja jarrulevyypakka



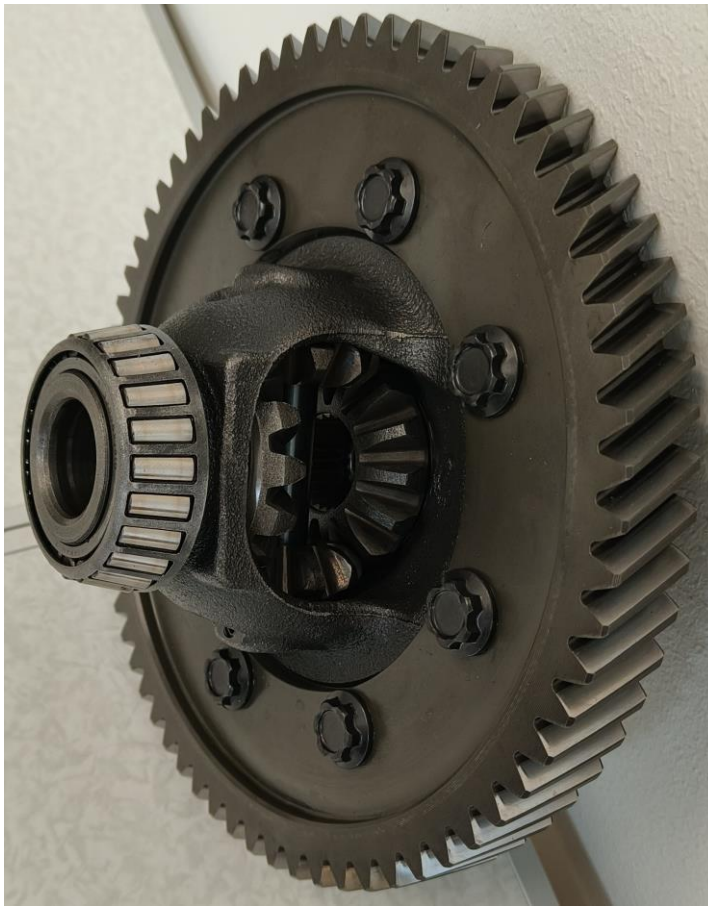
KUVA 30. Puretun vaihteiston alennusvaihteen ja peruutusvaihteen planeettavaihteisto

Planeettavaihteiston jälkeen voima siirtyy vielä ulostuloakselille ja siitä tasauspyörästölle. Nämä nähdään kuvissa 31 ja 32. Kuvassa 33 nämä esiintyvät kohdissa 8 ja 9. Tasauspyörästön sijainti vaihteistossa näkyy liitteessä 3. Ulostuloakseli ja apuvaihteisto sijaitsevat tasauspyörästön yläpuolella.

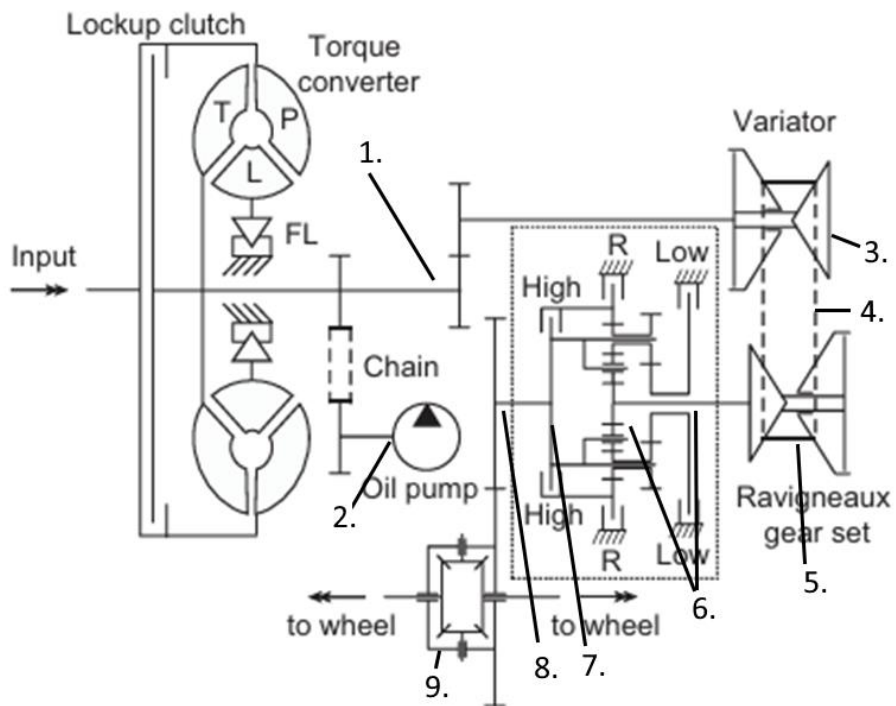
Osissa ei vaikuttanut olevan vikaa eikä ulkoisella silmäyksellä kulumaakaan. Ulostuloakselissa näkyvät hiukkaset ovat lasikuulia vaihteistojen ulkokuoren puhdistuksen jäljiltä. Rattaiden hampaissa ei näkynyt kulumaa ja tasauspyörästön laakerit vaikuttivat olevan kunnossa.



KUVA 31. Puretun vaihteiston ulostuloakseli ja kytkin- ja jarrulevyjen kotelo



KUVA 32. Puretun vaihteiston tasauspyörästö



KUVA 33. Jatco CVT JF015E toimintaperiaate kuvitettuna (Fischer, R. & Küçükay, F. & Jürgens, G. & Najork, R. & Pollak, B. 2015, s. 273, muokattu)

#### 4.5 Vaihteiston sähköhydraulinen ohjausjärjestelmä

Vaihteiston hydraulista toimintaa ohjataan erillisellä venttiilikoneistolla (kuva 34). Venttiilikoneisto lepää vaihteiston öljypohjassa, josta se nostaa hydraulioöljyn erillisen suodattimen läpi. Hydraulioöljyn tehtävä tässä vaihteistossa on myös rasvata ja jäähdyttää komponentteja. Öljy kulkee erillisen lauhduttimen läpi, joka on kytköksissä auton jäähdytysjärjestelmään. Rasvauksessa käytettävälle öljylle on vielä erillinen suodatin, joka on kiinnitetty lauhduttimeen. Nämä näkyvät liitteessä 5.

Venttiilikoneisto on varustettu viidellä sähköisellä solenoidilla, joilla ohjataan mm. rullien syvyysäättöä. Tämän lisäksi solenoideilla ohjataan myös hydraulioöljyn kulkemista apuvaihteistolle, ja sen eri kitkalevyseteille on vaihteistossa omat kanavat. Solenoidien hallinta ohjautuu vaihteiston ohjauslaitteella. Vaihteenvaihtimelta kulkee suora tappi venttiilikoneistolle, joka liikuttaa mekaanisesti yhtä venttiileistä. Jos valitsimelta on valittu ajovaihe, on venttiili auki toisesta päästä ja peruutusvaihteella kyseinen venttiili on auki toisesta päästä. Tällä tapilla ajetaan samalla parkkilukkoa, joka toimii kuitenkin tavanomaisesti mekaanisesti.



KUVA 34. Puretun vaihteiston hydraulinen venttiilikoneisto.

Hydrauliöljy kulkee venttiilikoneiston sekä vaihteiston ulkokuorten sisällä sijaitse-  
vissa erillisissä kanavissa. Solenoidit ohjaavat venttiilien liikkumista, joiden avulla  
voidaan joko kuristaa tai estää kokonaan nesteen kulkeminen tiettyjä kanavia pit-  
kin. Tämän avulla ohjausjärjestelmä saa aikaan tarvitun paineen tarvitulla kom-  
ponenteilla. Järjestelmä saa tietoa lukuisista eri antureista, joita vaihteistoon on  
asennettu eri puolille. Näitä ovat mm. nopeusanturit (kuva 35) ja paineanturit.



KUVA 35. Puretun vaihteiston nopeusanturi

## 5 VAIHTEISTON MUUTTAMINEN OPETUSKÄYTTÖÖN

Luvussa kerrotaan vaihteiston muuttamisesta opetuskäyttöön ja siinä koetuista haasteista ja vaatimuksista. Lopulta esitellään vaihteiston lopputulos demonstraatiokappaleena ja käydään sen käyttöohje läpi kuvien kanssa.

### 5.1 Työn kulku

Työt aloitettiin keväällä 2025. Työn alkuvaihe oli vaihteiston purkaminen ja siihen tutustuminen. Tähän valmistauduttiin suhteellisen suppeasti, eikä silloisella pikaisella tiedonhauulla löytynyt sopivia korjaamo-oppaita, joten suuri osa toimintaperiaatteesta selvitettiin vaihteiston avaamisen yhteydessä. Purkaminen kuitenkin onnistui ilman murheita tai vahinkoja.

Purkutöiden jälkeen suunniteltiin vaihteiston ulkokuoren leikkaamista opetuskäyttöä varten. Ulkoisia tekijöitä etsittiin, mutta käyttötarkoitukseen ei löytynyt aikavälillä sopivaa koneistusyritystä. Vaihdelaatikko päätettiin siten leikata omin toimin akkutoimisilla hiomakoneilla.

Vaihteiston ulkokuoresta saatiin demonstraatiotarkoitukseen sopivat osat leikattua pois. Leikkausjäljestä ei tullut täydellistä, mutta opinnäytetyötä varten päätettiin, että jatkojalostus pidentäisi liikaa aikataulua, joten siihen tyydyttiin.

Vaihteisto koottiin uudestaan kasaan. Rullien uudelleen asentaminen erityisesti vaati aikaa, mutta ne saatiin asennettua takaisin vaihdelaatikkoon. Toimintaperiaatteen demonstraatiokyvyn luonti ilmatoimisesti osoittautui alkujaan hankalaksi. Aluksi epäiltiin, että onko vaihteiston tiivistyspinta vaurioitunut, mutta vika sittemmin todettiin asennusviaksi, eikä vaihteistokappaleessa ollut vikaa.

#### 5.1.1 Vaaditut työkalut ja työturvallisuus

Työkalut, joita työhön vaadittiin, löytyi suurimmilta osin valmiiksi autolaboratorion tiloista. Iso osa purkutyöstä onnistui yksinkertaisilla kuusikantaisilla hylsyillä ja akkukäyttöisellä mutterinvääntimellä. Joidenkin osien irrottaminen vaati myös tavallisesta poikkeavia E-Torx-hylsyjä, jotka löytyivät myös laboratoriosta.

Vaihteiston muotoilu opetuskäyttöön vaati sen ulkokuoren leikkaamista, johonka käytettiin hyväksi TAMK:n konepajan tiloja. Työhön ei kuitenkaan käytetty koneistustyökaluja, vaan se onnistui yksinkertaisilla akkukäyttöisillä kulma- ja suora-hiomakoneilla.

Työtä suorittaessa pidettiin mielessä TAMK:n autolaboratorion turvallisuusseikat. Kun hiomakoneita ja muita sähkökäyttöisiä työkaluja käytettiin, suojattiin hyvin silmät ja korvat. Hiomavaiheessa ilmassa esiintyi paljon alumiinipölyä, jolloin sitä vastaan suojauduttiin oikeaoppisella hengityssuojainvarustuksella sekä konepajan leikkuualueen hiukkasimureilla. Konepajalla kappaleet kiinnitettiin myös pöytänsä tukevasti ennen leikkaamista tai hiomista, jotta voitiin välttyä kappaleen yhtäkkiä liikkumisen aiheuttamilta työtaturmilta.

### **5.1.2 Ulkoistetut työt**

Vaihteistojen ulkokuoret puhdistettiin erillisessä yrityksessä lasikuulapuhalluksella. Operaatio ei kustantanut mitään, koska se oli mahdollista suorittaa nopeasti yrityksen pihalla. Tämän ansiosta vaihteistoista tuli huomattavasti puhtaammat. Ennen kasaamista, ulkokuori käytiin läpi muutamalla kerroksella lakkaa, jotta pinta pysyisi hyvänä.

Lasikuulapuhallus vaati kuitenkin vaihdelaatikon läpikotaista pesua, koska lasikuulia oli päässyt sisälle ja ne rohisivat vaihteiston pyöriessä hiekan omaisesti metallia vastaan. Pesulla suunniteltiin pitkittää opetuskappaleen elinikää, sillä kuulien ollessa vaihteistossa epäiltiin niiden mahdollisesti vahingoittavan komponentteja, vaikka vaihteistoa ei poltto- tai sähkömoottorilla enää pyöritettäisiäkään.

### **5.1.3 Lopputulos**

Vaihteisto saatiin lopulta toimimaan paineilmatoimisesti juuri kuten suunniteltiin. Variaattorin välityssuhteiden muuttamiseen käytetään sähköteipillä tiivistettyä paineilmasuutinta. Tämä tapahtuu hydraulisen venttiilikoneiston aiempien

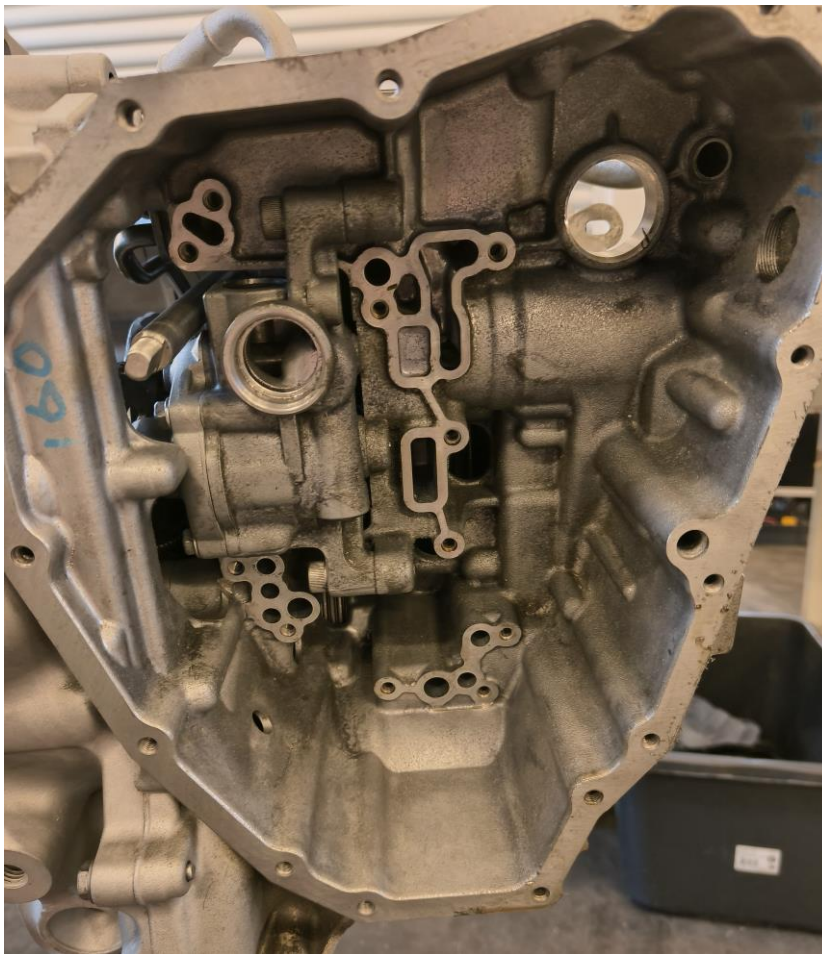
nestekanavien kautta vaihteiston alaosasta. Venttiilikoneisto ja öljypohja on irrotettu vaihteistosta ja koko järjestelmä on tehty kuivaksi välttääkseen sotkua (kuva 36). Vaihteistoa voi pyörittää sisääntuloakselilta, mutta se vaatii hieman voimaa, eikä sormilla saa tarpeeksi hyvää otetta akselista pyörittääkseen sitä. Tämä ratkaistiin väliaikaisesti kiinnittämällä akseliin lukkopihdit. Demonstraatiokappaleelle voi tulevaisuudessa rakentaa mitoitettun kammun, jotta olemus ei ole niin karkea.

Toimintaperiaatteen demonstroimiselle oleelliset alueet saatiin näkyviin leikkaamalla ulkokuorista osat irti. Leikatuille pinnoille maalattiin punaisella värillä, jotta opiskelijat eivät olisi niin hämmentyneitä siitä, mistä kohtaa vaihteistoa on leikattu. Leikatuilla alueilla näkyy sisääntuloakseli ja öljypumpun hihnan liike (liite 4), ensisijaisen rullan liike takaa- ja edestäpäin (liite 1 ja 4), hihna ja toissijainen rulla (liite 1), apuvaihteisto ja tasauspyörästä (liite 3). Peruutusvaihdetta sekä parkkilukkoa ei saatu kappaleessa toimimaan. Tätä varten olisi täytynyt kehittää erillinen sähköisesti ajettava järjestelmä. Vaihteiston nesteettömyys oli myös oleellinen asia, eikä vaihteiden valitsemiselle keksitty aikataulun sisällä järkevää ratkaisua.

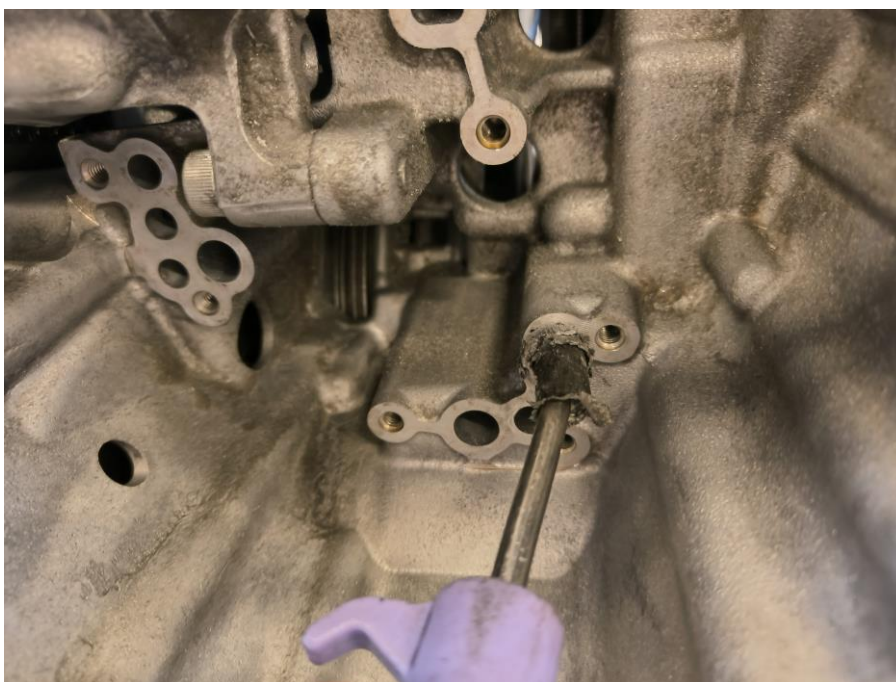
## 5.2 Demonstraatiokappaleen käyttöohje

Demonstraatiokappaletta ajetaan ohjeistamalla paineistettua ilmaa vaihteiston pohjassa sijaitseviin ilmakeanaviin. Ensisijaisen rullan ilmakeanavaa paineistetaan kuvassa 37 näkyvästä alemmasta reiästä, ja toissijaisen rullan ilmakeanavaa ylemmästä reiästä, mihin ilmasuutin on jo asetettu kuvassa. Toissijainen rulla ei pysy auki ilman, että paine pidetään ilmakeanavassa yllä. Paine on siis pidettävä yllä päästämällä paineilmaa sinne hiljattain liipaisinta painamalla.

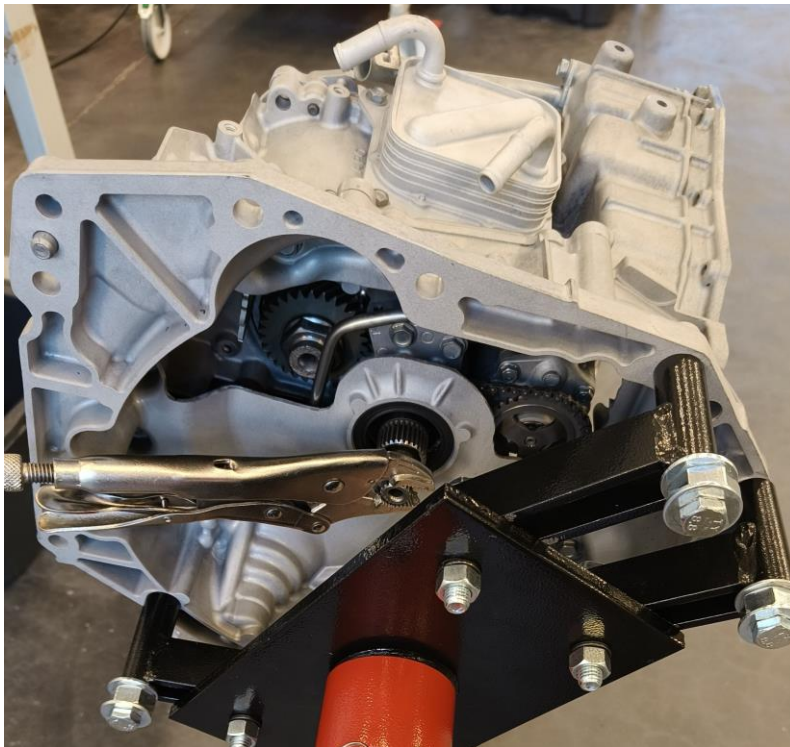
Vaihteiston pyörittäminen onnistuu lukkopihdeillä kampeamalla (kuva 38). Sormilla se ei onnistu, koska pyörittäminen vaatii liikaa voimaa jopa pienellä välityksellä. Vaihteistoa on paras operoida vähintään kahdella henkilöllä, joista toinen paineistaa rullia ja toinen kampeaa akselia. Vaihteisto asennettiin moottoripukille, mutta se ei ole täydellisen suorassa, joten demonstraatiokappale kannattaa asettaa huoneeseen niin, että kaikki osalliset näkevät sen toiminnan.



KUVA 36. Vaihteiston alaosa, josta löytyy ohjausta varten tarvittut ilmakanavat

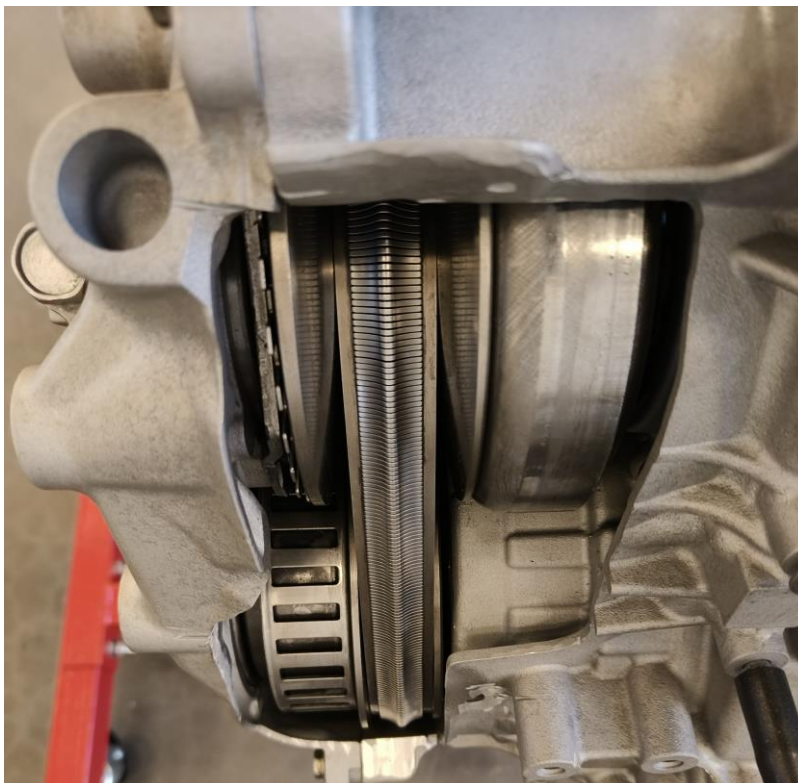


KUVA 37. Teipattu ilmasuutin ilmakanavassa



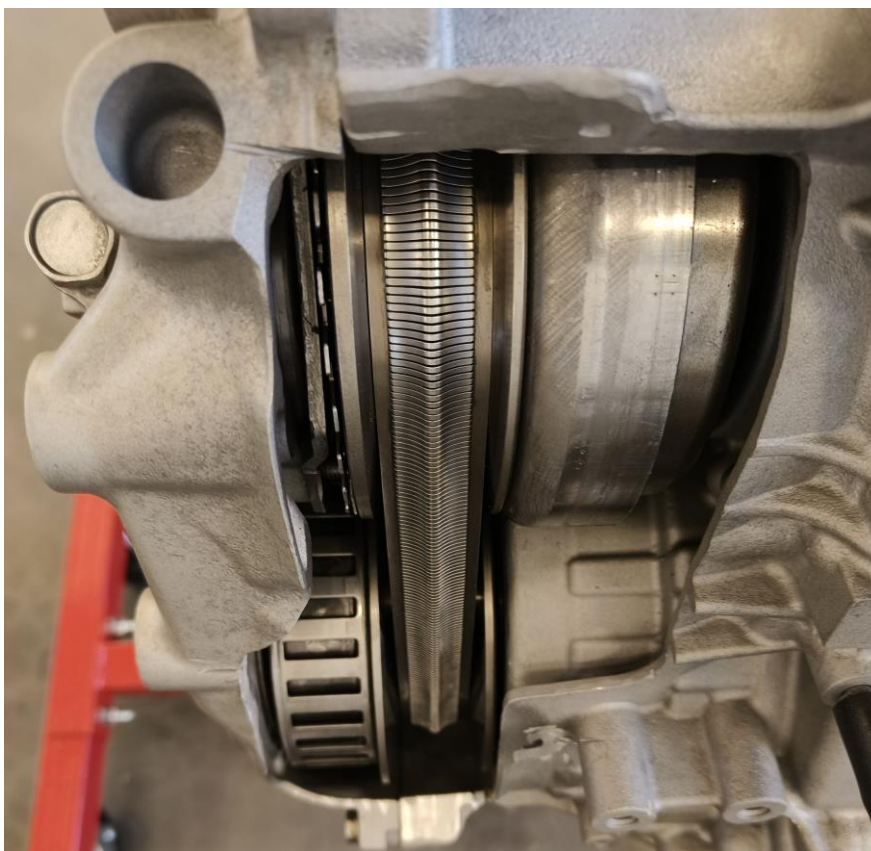
KUVA 38. Lukkopihdit vaihteiston sisääntuloakselin ympärillä

Vaihteisto on luonnollisessa lepotilassaan ilman ilmakanavien paineistamista asennossa A (kuva 39). Tässä tilassa ensisijainen rulla on maksimaalisen auki. Tässä tilassa vaihteiston välityssuhde on suuri, ja ulostulo on vääntörikkaampaa.



KUVA 39. Demonstraatiovaihteisto asennossa A

Vaihteiston ilmakanaavia paineistettaessa saadaan vaihteisto asentoon B (kuva 40). Tässä tilassa vaihteiston toissijainen rulla on täysin auki, ja välityssuhde on pieni. Välityssuhteiden eron huomaa käytännössä tasauspyörästön pyörimisnopeudesta. Pienellä välityksellä sen kuuluisi liikkua enemmän kuin suurella välityksellä, vaikka sisääntuloakselia kammetaan saman verran. Kammen operoijan on vaikea nähdä tätä, koska vauhtipyörä on vaihteiston toisella puolen, ja moottoripukin kädet tulevat myös näkökentän tielle siinä asennossa. Tämän takia suositellaankin, että opiskelijat kampeavat vaihteistoa vuorollaan, jotta kaikki pääsevät näkemään toimintaperiaatteen itse.



KUVA 40. Demonstraatiovaihteisto asennossa B

Demonstraatiokappaletta operoidessa on otettava huomioon, että mihinkään liikkuvaan osaan ei jätä sormiaan tai hiuksiaan väliin. Varsinkaan, jos vaihteistoa pyöritetään tarpeeksi nopeasti, voivat vaaratilanteet olla tiiviissä. Vaihteistoa voi pyörittää moottoripukilla, mutta tehtävässä kannattaa keskittyä, koska vaihteisto on suhteellisen painava liikutettava. Vaihteistoon ei myöskään kannata tiputtaa mitään pientä, koska tila on ahdas eikä sieltä saa oikein kaivettua ulkoa käsin mitään.

## 6 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli saada tutkittua CVT-vaihteiston toimintaa ja ominaisuuksia sekä luoda siitä demonstraatiokappale opetuskäyttöön. CVT:tä oli tarkoitus pystyä vertaamaan toisiin vaihteistoihin ja selostaa, minkä takia se on erilainen kuin muut. Tähän vetoamalla voi varmaan sanoa, että työ saavutti tarkoituksensa ja mielestäni ainakin teoriaosuudesta tuli tiivis paketti, johon voi tulevaisuudessaakin viitata.

Demonstraatiokappale on toimiva ja täyttää sille asetetut vaatimukset. Sen olemus on pinnallisesti suhteellisen asiallinen, mutta jos sitä tutkii tarkasti, huomaa, että kyseessä ei ole mikään täydellinen yksilö. Leikkausreunat ovat epätasaisia, kulmahiomakoneen jälkiä näkyy kulmissa ym. Sille ei myöskään saatu tehtyä asianmukaista kampea pyörittämään sisääntuloakselia. Demonstraativaihteistolla on siis laaja jatkokehityksen potentiaali, jos joku haluaa siitä asiallisemman tehdä. Sille voisi myös tehdä toimivan vaihteenvalitsimen ja sen vaatiman sähköjousjärjestelmän, ja vaikka jonkun matalatehoisen sähkömoottorin pyörittämään sitä. Toivoisin, että kappaletta tullaan kehittämään jonkun verran vuosien varrella sen suorittaessaan palvelustaan oppikäytössä ja siitä saataisiin siten enemmän irti.

Teorian hakeminen oli työlle suhteellisen helppoa. Lähteitä löytyi helposti ja yleisimmät asiat sai sieltä helposti poimittua. Kirjoista joutui hieman hakemaan tietoa ristiin, jotta sai järkeviä ja selkeitä kappaleita laadittua. Vältin työssä asioiden suoraa listaamista ja päätin pitää tekstin jotenkuten juoksevana. Koitin myös selittää tiettyjä toimintaperiaatteita omilla sanoilla, teoriaan kuitenkin viitaten, jotta lukijan olisi helpompi ne käsittää. Tämän lisäksi uskon, että kuvavalinnat auttavat teorian sisäistämistä ainakin jotenkin. Kuvia olisi toki voinut olla enemmänkin, mutta totesin, että liialliset kuvat tekevät tekstistä liian hajanaisen, ja teksti kuitenkin ajaa asian monissa tapauksissa.

Jos kirjallista osuutta tästä työstä haluaisi kehittää jotenkin tulevaisuudessa, olisi hyvä lisätä tähän asiaa hybridi- ja sähkövoimalinjoista ja miten olemassa olevat

vaihteistomallit niihin mukautuvat. Nämä ovat kuitenkin autoteollisuudessa yleistyessä ja mitä todennäköisemmin menevät polttomoottoriautoista ohi ennen pitkää.

Työn eettisyydestä voi sanoa, että siinä käytetty vaihteisto oli ilmeisesti suurimilta osin toimiva, ennen kuin siitä muutettiin demonstraatiokappale. Ilmeisesti vaihteisto irrotettiin ja purettiin alun perin sen takia, kun rullat olivat olleet liian kuluneita sen oikeaoppiseen toimintaan. On mahdollista, että vain ne vaihtamalla olisi vaihteistosta saanut vielä toimivan toimittamaan virkaa autossa. Tällä näkökannalla eettisempi valinta työlle olisi ollut joku täysin toimintakelvoton vaihteisto. Ymmärrettävästi budjettisyistä ei toista vaihteistoa tähän työhön lähdetty etsimään, koska koulu oli saanut tämän kappaleen ilmaiseksi.

Jos tätä työtä tekisin uudestaan, varmaan käyttäisin paljon enemmän aikaa suunnittelemaan vaihteiston muuttamista etukäteen ja ottaisin selvää työhön käytetyn vaihteiston toiminnasta. Jotain purkuoppaita olisi ollut myös hyvä löytää. Alussa vaihteiston tiedon etsimistä hankaloitti kuitenkin se, kun ei oltu varmoja vaihteiston tarkasta mallista. Vaihteiston ulkokuoren leikkaamisen teettäisin ehdottomasti koneistamalla, jotta jäljestä tulisi siistiä.

CVT vaihteistona, vaikkakin se on saanut suosiota viime vuosikymmeninä, vaikuttaa olevan suhteellisen vähällä käytöllä oleva vaihteistomalli. Valmistajat eivät halua vaihtaa vanhaa ja turvallista voimansiirtotapaa uudenlaiseen, ja ihmiset, jotka ovat tottuneet askelvaihteistoihin kokevat CVT:n olevan oudon tuntuinen tai jopa epämukava ajossa. Jotkut myös väittävät, että nämä vaihteistot ovat erityisen alttiita rikkoutumiselle ja vaativat tiheitä huoltovälejä, mutta en näistä mitään luotettavia lähteitä löytänyt. CVT-vaihteistoissa ei ole niin paljon vääntöä kuin askelvaihteistoissa ja polttoainetaloudellisuus vaikuttaa olevan marginaalinen lisä. En siten osaa ennustaa, mihin CVT-vaihteistojen tulevaisuus on suuntaamassa, mutta teknologian kehittyessä entisestään voi olla, että se löytää vakituisen paikkansa teollisuudessa.

## LÄHTEET

Advanced Transmission Center. 2024. Exploring Pully-based, Toroidal & Hydrostatic CVTs. Verkkosivu. Viitattu 10.11.2025. <https://advancedtransmission.com/types-of-cvts-toroidal-pulley-hydrostatic/>

Car and Driver. 2025. What Is a Continuously Variable Automatic Transmission (CVT)? Verkkosivu. Viitattu 10.11.2025. <https://www.caranddriver.com/features/a30822055/what-is-a-cvt-transmission/>

Chen, Y. 2021. Automotive Transmissions: Design, Theory and Applications. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd.

Fischer, R. & Küçükay, F. & Jürgens, G. & Najork, R. & Pollak, B. 2015. The Automotive Transmission Book. Bern: Springer International Publishing Switzerland.

Hick, H. & Küpper, K. & Sorger H. 2021. Systems Engineering for Automotive Powertrain Development. Bern: Springer International Publishing Switzerland.

Hogan & Sons. n.d. Pros and Cons of CVT Transmission. Verkkosivu. Viitattu 21.10.2025. <https://www.hoganandsonsinco.com/blog/pros-and-cons-of-a-cvt-transmission>

IQS Directory. Planetary Gears: Types, Uses and Processes. Verkkosivu. Viitattu 21.10.2025. <https://www.iqsdirectory.com/articles/gear/planetary-gears.html>

JATCO. n.d. World Firsts. Verkkosivu. Viitattu 10.11.2025 <https://www.jatco.co.jp/english/innovation/first.html>

Naunheimer, H. & Bertsche, B. & Ryborz, J. & Novak, W. 2010. Automotive Transmissions: Fundamentals, Selection, Design and Application. Toinen painos. Berliini: Springer-Verlag.

NSK. n.d. Toroidal CVT POWERTOROS Unit. Verkkosivu. Viitattu 10.11.2025. <https://www.nsk.com/products/automotive/toroidal-cvt/>

Robert Bosch GmbH. 2022. Automotive Handbook. 11. painos. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.

Srivastava, N. & Haque, I. 2009. A review on belt and chain continuously variable transmissions (CVT): Dynamics and control. Mechanism and Machine Theory: Volume 44 01/2009.

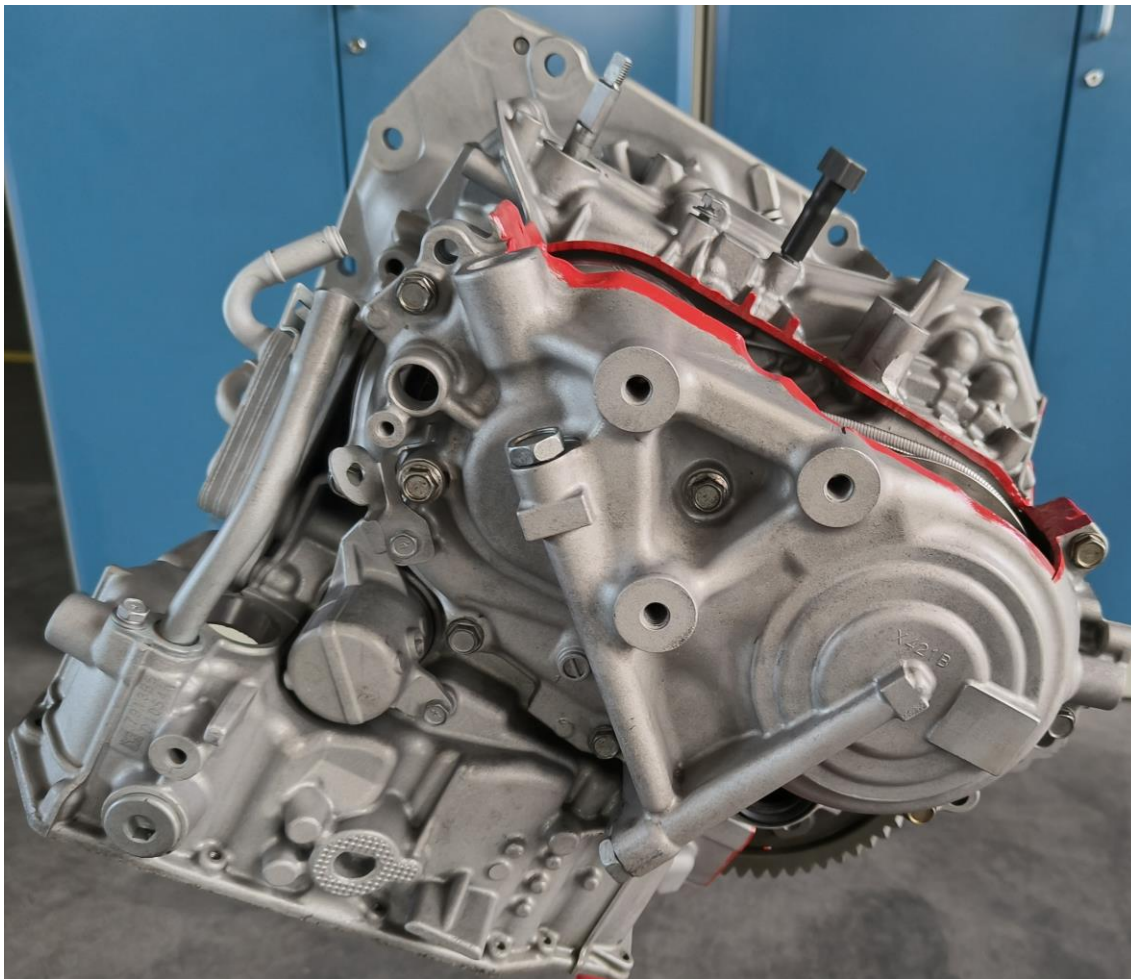
Zhang, Y. & Mi, C. 2018. Automotive Power Transmission Systems. New Jersey: John Wiley & Sons Ltd.

## LIITTEET

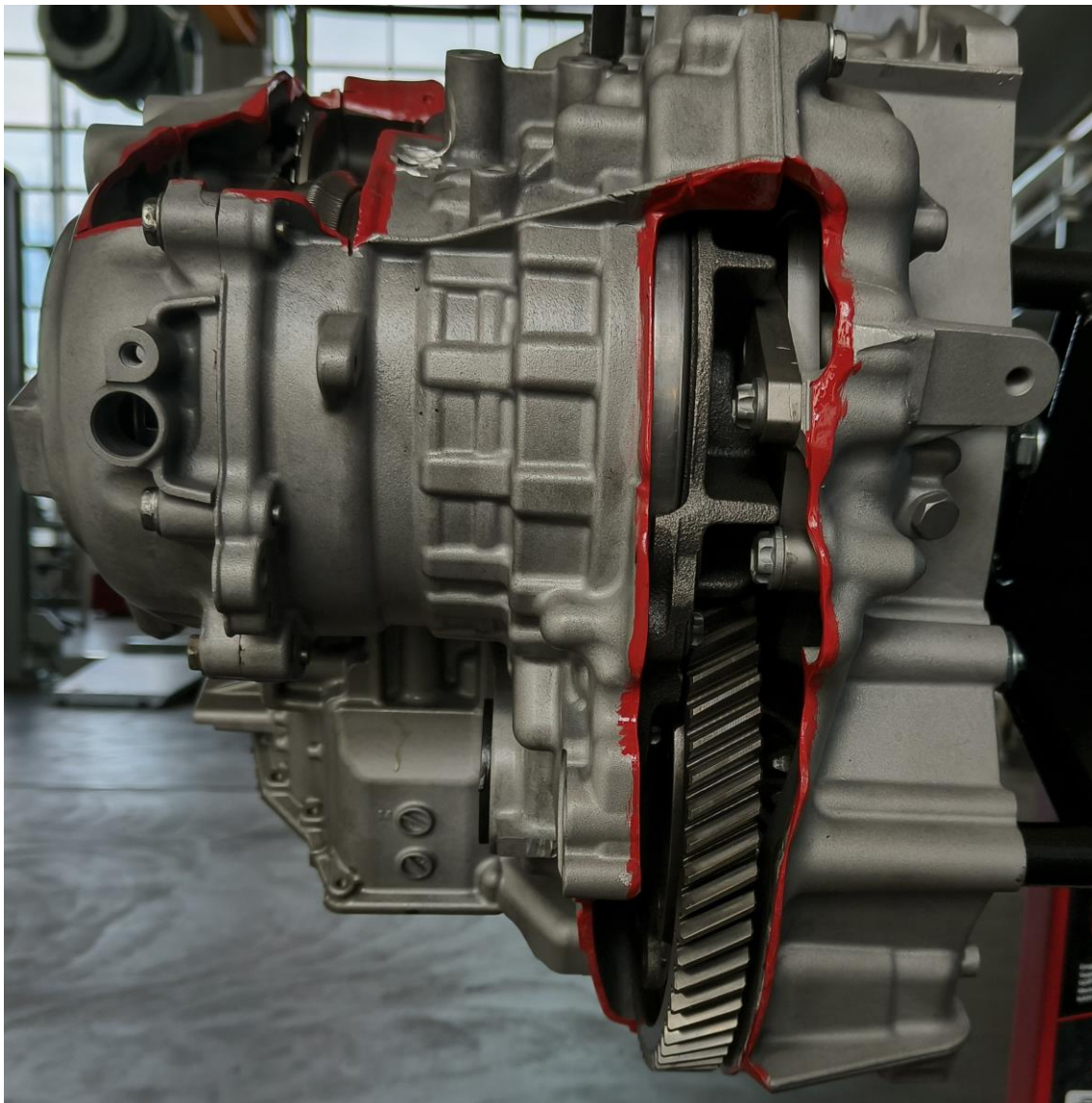
Liite 1. Valmis vaihteisto ylhäältä päin



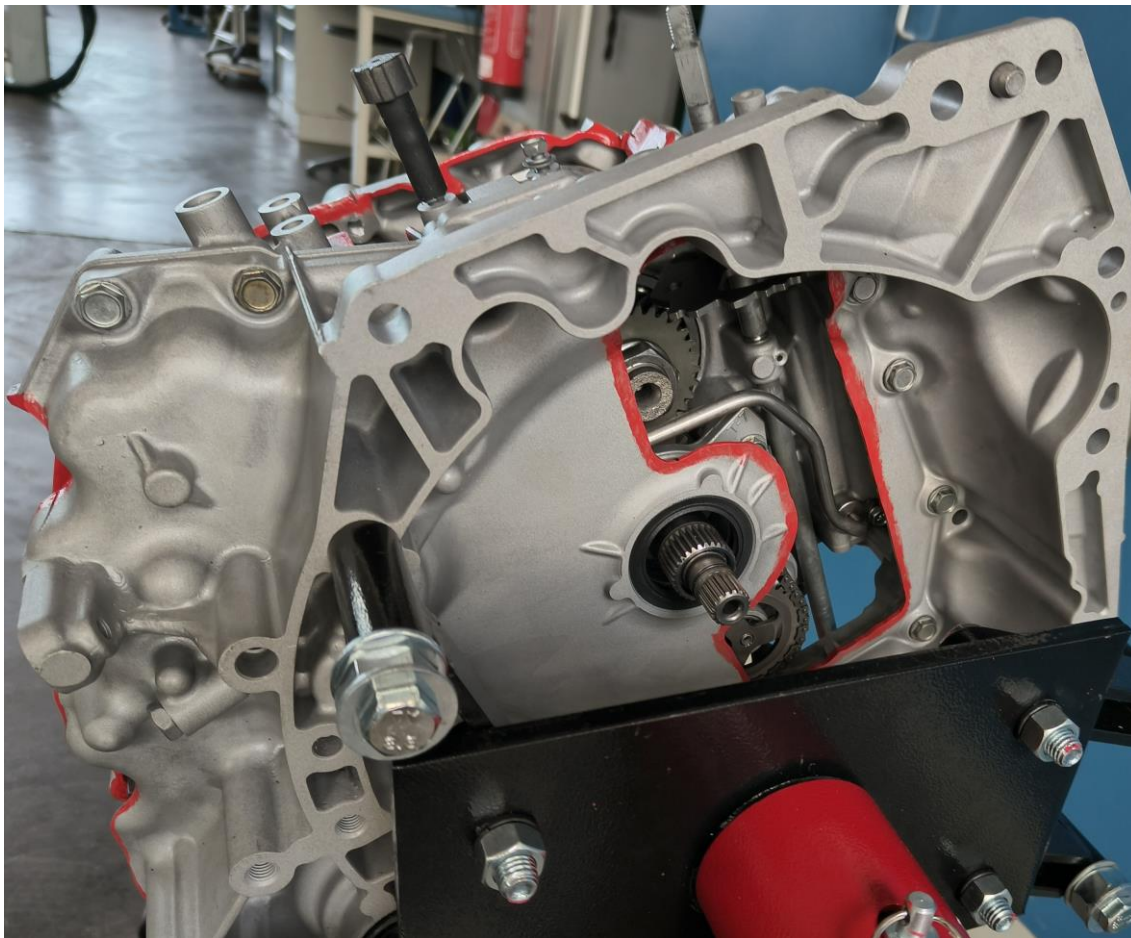
Liite 2. Valmis vaihteisto edestä



Liite 3. Valmis vaihteisto oikealta



Liite 4. Valmis vaihteisto takaa



Liite 5. Valmis vaihteisto vasemmalta

