



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

KUORMA-AUTOJEN VOIMANSIIRTOJÄRJESTELMÄT

Benjamin Timonen

Konetekniikka
Kandidaatintyö
Tammikuu 2023

TIIVISTELMÄ

Kuorma-autojen voimansiirtojärjestelmät

Benjamin Timonen

Oulun yliopisto, Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö 2023, 28 s.

Työn ohjaaja: Miro-Tommi Tuutijärvi

Kuorma-autojen voimansiirto eroaa huomattavasti henkilöautojen voimansiirrosta. Tässä kandidaatintyössä lukijalle esitellään erilaisia kuorma-autojen voimansiirtojärjestelmän osia ja tapoja, miten kuorma-autojen voimansiirtoa ohjataan. Työssä perehdytään perinteisten polttomoottorilla toimivien kuorma-autojen voimansiirtoon, sekä käsitellään myös markkinoilla yleistyvien hybrdivoimanlähteitä käyttävien kuorma-autojen voimansiirron osia. Työn tavoitteena on luoda lukijalle laaja käsitys siitä, millaisia ratkaisuja raskaan kaluston voimansiirrosta voidaan käyttää, ja miten eri ratkaisut vaikuttavat kuorma-auton voimansiirtoon ja muihin voimansiirron komponentteihin. Työn luettuaan lukijalla on myös ymmärrystä voimansiirron mekaanisesta, sähköisestä, pneumaattisesta ja hydraulisesta ohjauksesta.

Työssä havaitaan, että esimerkiksi kuorma-autoihin tarkoitettuja kytkinratkaisuja on olemassa useita, johtuen erilaisista käyttökohteista joihin kuorma-autoja voidaan käyttää. Kuorma-autoissa voi myös olla useita vetäviä akseleita, joihin sovelletaan omanlaista kytkinratkaisua.

Hybrdivoimanlähteisiin joudutaan suunnittelemaan täysin omanlaisia voimansiirtojärjestelmiä eri voimanlähteiden yhdistämisen vuoksi. Lisäksi erilaisten hybridijärjestelmien voimansiirron rakenne voi olla täysin erilainen.

Asiasanat: Kuorma-auto, voimansiirto, voimansiirtojärjestelmät

ABSTRACT

Heavy-duty truck drivetrain systems

Benjamin Timonen

University of Oulu, Degree Programme of Mechanical Engineering

Bachelor's thesis 2023, 28 p.

Supervisor at the university: Miro-Tommi Tuutijärvi

In this thesis, the reader is presented with different parts of heavy-duty truck drivetrain systems and the ways in which the drivetrains of heavy-duty trucks are controlled. This thesis introduces drivetrains of traditional combustion engine powered trucks and looks into drivetrains of trucks with hybrid power sources that are becoming more common on the market. The goal of the thesis is to create a broad understanding for the reader of what kind of solutions can be used in the drivetrains of heavy-duty vehicles, and how different solutions affect the vehicle's drivetrain components. After reading this thesis, the reader also understands how controlling drivetrains mechanically, electrically, pneumatically, and hydraulically works.

In the work, it is found that there are, for example, several clutch solutions intended for heavy-duty trucks, due to the different uses for which heavy-duty trucks can be used. Heavy-duty trucks can also have several driving axles to which a special clutch solution is applied.

For hybrid power sources, completely unique drivetrain systems must be designed due to the combination of different power sources. In addition, the structure of the drivetrain system of different hybrid systems can be completely different.

Keywords: Heavy-duty truck, drivetrain, drivetrain systems

ALKUSANAT

Työn tavoitteena on perehtyä kuorma-autojen voimansiirtorakenteisiin, voimansiirron ohjaukseen ja erilaisiin voimansiirron ratkaisuihin, joita kuorma-autoissa joudutaan käyttämään. Kiitos kandityöni ohjaajalle Miro-Tommi Tuutijärvelle työn ohjaamisesta ja avusta lähdemateriaalien löytämiseen. Kiitos myös vanhemmilleni ja DI Timo Veijolalle työn oikoluvusta ja avusta.

Oulussa 7.1.2023

Benjamin Timonen
Benjamin Timonen

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto	6
2 Voimansiirto.....	7
2.1 Voimansiirto yleisesti.....	7
2.2 Kytkimet.....	7
2.2.1 Yksilevykytkin.....	7
2.2.2 Kaksilevykytkin.....	7
2.2.3 Kaksoiskytkin	9
2.2.4 Monilevykytkin.....	9
2.3 Vaihdelaatikat	9
2.3.1 Manuaalivaihdelaatikat.....	10
2.3.2 Puoliautomaattivaihdelaatikat	10
2.3.3 Automaattivaihdelaatikat.....	10
2.4 Lisävaihteistot	11
2.4.1 Aluevaihteistot.....	11
2.4.2 Jakajavaihteistot.....	11
2.4.3 Jakovaihteistot	11
2.4.4 Momentinmuunninvaihteistot.....	12
2.4.5 Vaihdelaatikoiden voitelu.....	12
2.5 Nivelakselistot.....	13
2.6 Vetopyörästöt	13
2.6.1 Yksiportainen vetopyörästö	14
2.6.2 Kaksiportainen vetopyörästö	14
2.6.3 Kaksinopeuksinen vetopyörästö	15
2.7 Tasaussyörästöt.....	15
2.7.1 Tasaussyörästön rakenne.....	15
2.7.2 Tasaussyörästön lukot	17
2.8 Napavälitykset.....	17
2.9 Raskaiden hybridiajoneuvojen voimansiirto.....	18
2.9.1 Rinnakkaishybridin voimansiirto.....	18

2.9.2 Sarjahybridin voimansiirto	19
2.9.3 Voimajakohybridin voimansiirto.....	20
3 Voimansiirron ohjaaminen.....	22
3.1 Voimansiirron ohjaaminen yleisesti.....	22
3.1.1 Venttiilit.....	22
3.1.2 Sensorit	22
3.1.3 Vaihdelaatikoiden ohjaus.....	23
3.1.4 Kytkimen ohjaaminen.....	23
3.1.5 Hidastimet.....	24
4 Yhteenveto	25
5 Lähdeluettelo.....	26

1 JOHDANTO

Tässä kandintyössä esitellään kattavasti kuorma-autojen voimansiirtojärjestelmän osia kirjallisuuskatsauksena. Voimansiirtojärjestelmä käsitteenä tarkoittaa voimansiirtoa ja sen ohjauksen luomaa kokonaisuutta. Eli käytännössä voimansiirtorakenteet ja kaikki niitä ohjaavat elektroniset ja mekaaniset laitteet. Pääpaino tässä tekstissä kuitenkin on voimansiirtorakenteissa. Tämän kandintyön tavoite on tuoda lukijalle tutuksi, mistä voimansiirto kuorma-autoissa koostuu ja miten sen ohjaus toimii käytännössä. Aihetta tutkitaan erilaisten kirjallisten lähteiden avustuksella.

2 VOIMANSIIRTO

2.1 Voimansiirto yleisesti

Voimansiirron tehtävä on siirtää tarvittavat liike- ja työntövoimat, mitkä tarvitaan liikkeen aikaansaamiseen. Moottorissa kemiallinen energia tai sähköenergia muutetaan mekaaniseksi energiaksi. Voimansiirto siirtää tämän moottorissa tuotetun mekaanisen energian maahan. (Dietsche & Reif 2014) Sen lisäksi voimansiirron on kyettävä vastustamaan ajovastusvoimia kuten vierintävastusvoimaa, ilmanvastusvoimaa, mäktivastusvoimaa ja kiihdytysvastusvoimaa. (Karhima & Torniainen 2005) Voimansiirto koostuu voimansiirtorakenteista. Näistä tärkeimmät ovat kytkin, vaihdelaatikko, akselistot, vetopyörästöt ja erilaiset välitykset.

2.2 Kytkimet

Kuorma-autoihin on kehitetty useita erilaisia kytkimiä. Kytkimen tarkoitus on erottaa moottori ja vaihdelaatikko toisistaan vaihteen vaihdon ajaksi, tai jos halutaan kytkeä yhteys vetäviin pyöriin pois. (Torniainen 2006)

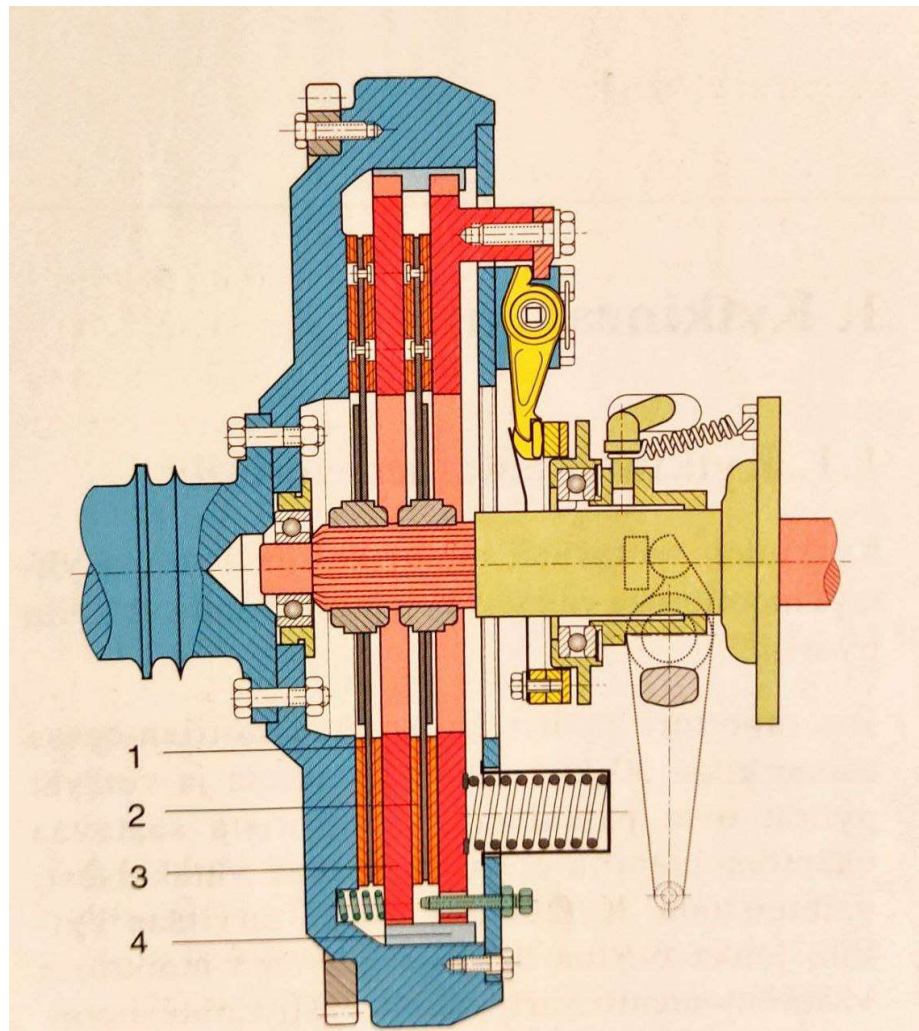
2.2.1 Yksilevykytkin

Yksilevykytkin on henkilö- ja pakettiautoissa yleisimmin käytetty kytkinrakenne. Kuorma-autojen yksilevykytkin on rakenteeltaan samanlainen kuin henkilöautoissa. Kuitenkaan tällaisen kytkimen momentinsiirtokyky ei ole hyvä, sillä siinä on ainoastaan kaksi kitkapintaa. Kuorma-autojen moottorit ovat suuria ja tarvitsevat suuria vääntömomentin siirtoja. Suurten vääntömomenttien siirtäminen tällaisella kytkimellä vaatii isoa kytkimen halkaisijaa. Yksilevykytkimet ovat suosittuja niiden huollon helppouden ja käyttövarmuuden vuoksi. (Torniainen 2006)

2.2.2 Kaksilevykytkin

Yksilevykytkimeen verrattuna kaksilevykytkimessä on, kuten nimikin viittaa, kaksi kytkinlevyä. Lisäksi siinä on myös kaksi painelevyä ja 4 kappaletta kitkapintoja. Kaksilevykytkin on luonnollisesti monimutkaisempi rakenteeltaan. Sen lisäksi, että

siinä on tuplamäärä kytkinlevyjä, painelevyjä ja kitkapintoja, vaatii se myös erillisen irrotuslaitteen. Irrotuslaite mahdollistaa välipainelevyn riittävän liikkeen. Kaksilevykytkin ei ole yhtä huoltovarma verrattuna yksilevykytkimeen, sillä esimerkiksi välipainelevyn siirtolaitteen rikkoontuminen aiheuttaa ennenaikaista kulumista välipainelevyssä ja sen kytkinlevyssä. Monesti kaksilevykytkimiin on asennettu myös erillinen kytkinjarru, mikä estää kytkinakselia ja vaihdelaatikon hammaspyöriä pyörimästä, mikäli kytkinlevyjen irtoaminen kytkinpoljinta poljettaessa on jäänyt puutteelliseksi. Kaksilevykytkimen hyötyinä ovat pienempi kytkinhalkaisija, sekä se kestää suurempia moottoritehoja. (Torniainen 2006) Kuvassa 1 esitettynä kaksilevykytkimen rakenne.



Kuva 1. Kaksilevykytkimen rakenne. Kuvassa numeroituna: 1. Etummainen kytkinlevy, 2. takimmainen kytkinlevy, 3. painelevy ja 4. hammastus, jolla painelevyt yhdistyvät vauhtipyörään. (Torniainen 2006)

2.2.3 Kaksoiskytkin

Kaksoiskytkimessä on myös tuplamäärä kytkinlevyjä ja painelevyjä. Kaksoiskytkimessä vain toinen kytkimistä välittää moottorin tehoa vaihdelaatikkoon. Toinen kytkin välittää tehoa suoraan kuorma-autoon liitetyille työkoneille voimanottoakselin avulla. Kuitenkin molemmat kytkimet toimivat yleensä samalla kytkinpolkimella. (Torniainen 2006)

2.2.4 Monilevykytkin

Monilevykytkimissä on useampi kappale ohuita kytkin- ja kitkalevyjä, joita painetaan painelevyllä toisiaan vasten. Kytkin- ja kitkalevyjen ohuen rakenteen takia monilevykytkintä kutsutaan myös lamellikytkimeksi. Monilevykytkintä käytetään sellaisissa raskaissa ajoneuvoissa, joissa tarvitaan suurta vääntömomentin siirtokykyä, mutta kytkimen halkaisija on suhteellisen pieni. Esimerkiksi kuorma-autossa, missä on neljä vetävää pyörää. Tavallisesti monilevykytkimet ovat öljytäytteisiä märkäkytkimiä. Öljytäyttö mahdollistaa kytkimen pehmeän ja joustavan kytkennän, sekä samalla öljy jäähdyttää itse kytkintä. (Torniainen 2006)

2.3 Vaihdelaatikot

Vaihdelaatikolla on monta tehtävää. Se välittää moottorin tuottamaa tehoa ja vääntöä sopivalla välityssuhteella ja kontrolloi pyörimisnopeuden suhdetta. Se mahdollistaa kytkimen avulla ajoneuvon liikkeelle lähdön pysähdyksistä. Lisäksi vaihdelaatikko ohjaa tehon sovitusta. Tyypillisesti kuorma-autoissa vaihdelaatikko sijaitsee pitkittäin asennetun moottorin jälkeen pitkittäin tai poikittaisen moottorin vieressä. Käytännössä kaikki yli 6-vaihteiset raskaamman kaluston vaihdelaatikot ovat monialueisia suunnittelultaan, eli ne omaavat hitaan ja nopean vaihdevalinnan. (Lechner & Harald 1999)

Kuorma-autoissa vääntömomenttia, pyörimisnopeutta ja vetovoimaa täytyy muuttaa laajalla alueella siten, että se on vetopyörille sopivaa, sillä kuorma-autojen paino ja nopeudet vaihtelevat suuresti. Lisäksi kuorma-autojen täytyy olla maastokelpoisia, jolloin tarvitaan suurta vetovoimaa. Tämän lisäksi kuorma-autojen moottoreiden koot vaihtelevat, joten tarvitaan erilaisia välityssuhdevaihtoehtoja. (Torniainen 2006) On hyvä myös huomioda, että polttomoottori voi tuottaa maksimaalisen tehon ja väännön

vain tietyllä kierrosnopeudella. Optimaalisella kierrosnopeudella saavutetaan myös paras polttoaineen kulutuksen hyötysuhde. Lisäksi nelitahtiset polttomoottorit pyörivät vain yhteen suuntaan, joten on ollut tarve keksiä tapa saada ajoneuvo kulkemaan myös taaksepäin. (Braess & Ulrich 2005)

2.3.1 Manuaalivaihdelaatikat

Manuaalinen vaihdelaatikko on kaikissa ajoneuvoissa yleisesti esiintyvä vaihdelaatikkotyyppi. Kytkimen kytkeä ja vaihteiden valitseminen tapahtuvat manuaalisesti kuljettajan toimesta.

2.3.2 Puoliautomaattivaihdelaatikat

Puoliautomaattivaihdelaatikoita on kahta eri tyyppiä. On olemassa vaihteistoja, joissa kuljettajan ei tarvitse kytkeä kytöntä, mutta hän joutuu valitsemaan halutun vaihteen. Toisenlaisessa puoliautomaattivaihdelaatikossa kuljettajan taas ei tarvitse manuaalisesti kytkeä haluttua vaihdetta, mutta hän joutuu käyttämään kytkinpoljinta. (Lechner & Harald 1999)

2.3.3 Automaattivaihdelaatikat

Automaattivaihdelaatikoiden suurin ero manuaalivaihdelaatikoihin on se, että ne eivät tarvitse erillistä kytkinpoljinta. Automaattivaihdelaatikko valitsee automaattisesti sopivan välityssuhteen ilman kuljettajan komentoa. Välityssuhteen valinta on riippuvainen kuorma-auton nopeudesta ja siitä, kuinka kuormittunut moottori on. Tavanomainen kuorma-auton automaattivaihdelaatikko koostuu vaihteiston ohjausjärjestelmästä, planeettapyörävaihteistosta sekä momentinmuuntimesta. Momentinmuuntimen tilalla voi olla myös nestekytin. Rakenteeltaan momentinmuunnin ja nestekytin ovatkin melko samanlaisia (Torniainen, 2006). Automaattivaihdelaatikoissa suositaan planeettapyörästä sen vaatiman pienen tilan vuoksi. Kuitenkin kuorma-autoissa suositaan yleisesti manuaali- tai puoliautomaattivaihdelaatikoita, sillä automaattivaihdelaatikon on vaikea ennakoita nopeasti vaihtuvia kuormitustilanteita, kuten jyrkkenevää ylämäkeä. (Xie, et al. 2015)

2.4 Lisävaihteistot

Raskaissa kuorma-autoissa ilmenee useasti tarve suurelle vääntömomentille. Normaali vaihteisto ei yksinään kykene tuottamaan tarvittavan suurta vääntömomenttia voimansiirtoon, joten tarvitaan lisävaihteisto, jakovaihteisto tai jokin muu lisävälitys. (Torniainen 2006) Lisävaihteistoiksi luokitellaan vetopyörästä lisävälitykset, napavälitykset sekä alue-, jakaja-, jako- ja momentinmuunninvaihteistot.

2.4.1 Aluevaihteistot

Aluevaihteisto mahdollistaa kaksinkertaisen määrän päävaihteiston välityssuhteita. Tätä ei pidä kuitenkaan sekoittaa jakajavaihteistoon, mikä mahdollistaa kaksinkertaisen määrän päävaihteiston välitysportaita.

Aluevaihteistot ovat tyypillisesti planeettapyörästä vaihteistoja. Planeettapyörästä nimitys tulee sen rakenteesta. Vaihteisto koostuu neljästä osasta: kehäpyörästä, minkä sisäpuoli on hammastettu, kahdesta tai useammasta planeettapyörästä, keskuspyörästä eli aurinkopyörästä ja planeettakannattimesta, mikä kannattelee planeettapyöriä. (Torniainen 2006) Planeettavaihteistoa käytetään aluevaihteiden lisäksi myös kuorma-autojen vetopyörissä, napavälityksissä ja monissa automaattivaihdelaatikoissa.

2.4.2 Jakajavaihteistot

Kuten kappaleessa 2.4.1 mainittiin, jakajavaihteisto mahdollistaa kaksinkertaisen määrän päävaihteiston välitysportaita eli päävaihteiston matalan low ja korkean high puolen. Vaihdekeppiin Low/High valinta on merkitty usein L ja H kirjaimella. Jakajavaihteiston hyötyjä on, että kuorma-auton kuljettaja voi jakajavaihteistoa käyttämällä hypätä halutun vaihteen yli ja moottorin momenttialue pysyy silti sopivana kuormaan nähden. Puhekielessä jakajavaihteistosta käytetään nimeä hyppyyvaihte. (Torniainen 2006)

2.4.3 Jakovaihteistot

Kun vaihteistosta saatava vääntömomentti on jaettava kahdelle, tai jopa kolmelle vetoakselille, käytetään jakovaihteistoa. Jakovaihteistoa voidaan käyttää myös lisävaihteistona, ja siitä saadaan ulos jopa kahta eri välityssuhdetta. Yleensä

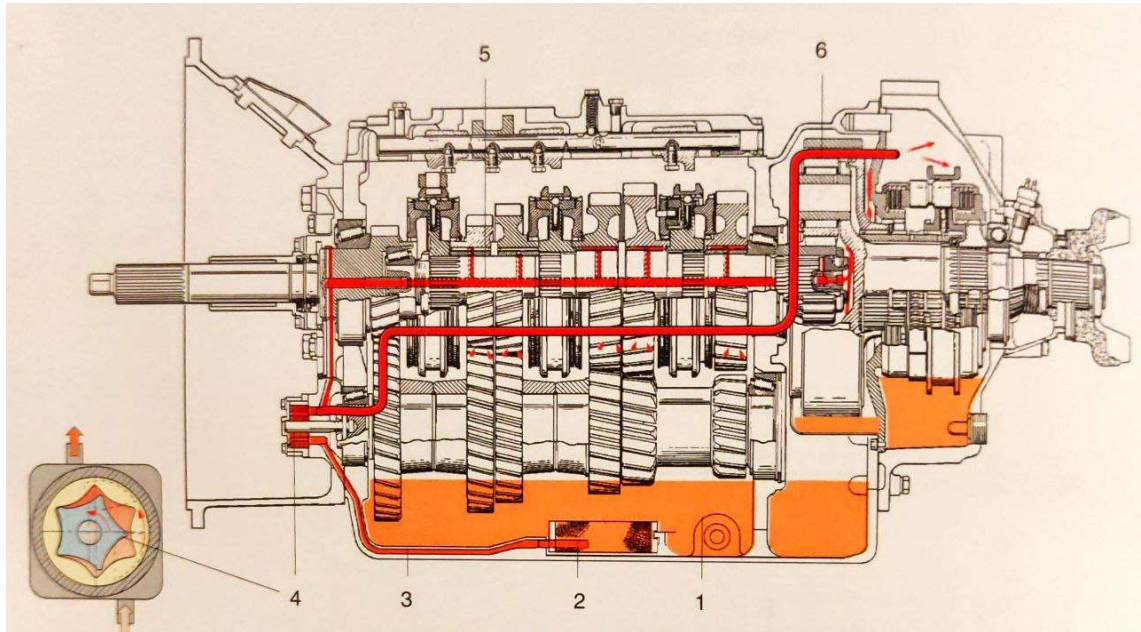
jakovaihteisto sijoittuu vaihdelaatikon perään tai nivelakselistoilla suoraan vaihdelaatikkoon. (Torniainen 2006)

2.4.4 Momentinmuunninvaihteistot

Momentinmuunninvaihteisto sijoittuu yleensä ennen kuorma-auton vaihdelaatikkaa, sillä sen tehtävä on suurentaa kokonaisvälityssuhdetta pienillä ajonopeuksilla ja liikkeelle lähdössä. (Surakka & Pietola 1992) Momentinmuuntimen hyötyjä on myös liikkeelle lähdön pehmeneminen, jolloin ajoneuvon muut voimansiirtorakenteet rasittuvat vähemmän. (Torniainen 2006)

2.4.5 Vaihdelaatikoiden voitelu

Kuorma-autojen suuret vaihteistot voidellaan sekä painevoitelulla että roiskevoitelulla. Öljypumppu ruiskuttaa paineella öljyä halutuille komponenteille, ja monet pyörivät rattaat vaihdelaatikon sisällä roiskivat alas valuvaa öljyä ympäriinsä. Lopulta öljy valuu öljypohjaan ja pumppu liikuttaa sen taas putkea pitkin halutuille komponenteille aloittaen syklin alusta. Esimerkiksi aluevaihteiston planeettapyörästöt voidellaan vaihdelaatikon voitelujärjestelmän avulla. Huomion arvoista on, että hyvä voitelu toimii samalla myös jäähdyttävänä elementtinä kuormitetulle vaihdelaatikolle ja vaihteistoöljyä voidaan jäähdyttää kierrossa olevan öljynjäähdyttimen avulla. (Torniainen 2006) Kuva 2 on esitetty perinteinen vaihdelaatikon voitelujärjestelmä.



Kuva 2. Perinteinen vaihdelaatikon voitelujärjestelmä. Kuvassa numeroituna: 1. Öljypohja, 2. imusuodatin, 3. imuputki, 4. öljypumppu, 5. akseleille tehdyt voiteluöljykanavat ja 6. voiteluputkisto. (Torniainen 2006)

2.5 Nivelakselistot

Kuorma-autoissa moottorin teho ja vääntömomentti joudutaan usein siirtämään kauas moottorista vetäville takapyörille. Momentin siirtämiseen tarvitaankin yhtä tai useampaa nivelakselia. Kuorma-autojen nivelakselisto eroaa hieman henkilöautojen nivelakseleista. Pääasiassa kuorma-autojen nivelakselit kestävät kovempia vääntömomenteja. Nivelakselisto koostuu akseleista, ristinivelistä ja kannatinlaakereista. (Torniainen 2006) Nivelakselit valmistetaan ohutseinäisestä ja halkaisijaltaan suuresta teräsputkesta jäykkyyden kasvattamiseksi. Akselin teräksellä on oltava hyvä väännönkestävyys. Tarvittavan vääntömomentin määrä riippuu täysin moottorista ja vaihdelaatikon suhteista. (Torniainen 2006)

2.6 Vetopyörästöt

Vetopyörästöjen tehtävä on siirtää voimaa kardanaakselilta vetoakseleille. Vetopyörästöt koostuvat hammaspyöristä ja samalla sisältävät myös tasauspyörästön. Kuten muissakin voimansiirron osissa, myös vetopyörästöissä on kuorma-autojen osalta

jouduttu huomioimaan ajoittaista vääntömomentin aiheuttamaa suurta kuormitusvaihtelua, jonka vuoksi on kehitetty useita vetopyörästötyyppejä kuormitustarpeiden täyttämiseksi

2.6.1 Yksiportainen vetopyörästö

Yksinkertainen vetopyörästö koostuu vetopyöräparista. Yleisimmin käytetään kartiotyypistä vetopyöräparia, mikä voi olla spiraalikartio- tai hypoidi-tyyppinen pyörästö. (Torniainen 2006)

Spiraalikartiovetopyörästössä vetopyörien keskilinjat ovat samalla tasolla. Spiraalikartiovetopyörästön välityssuhdetta voidaan muuttaa suuremmaksi kasvattamalla ison ja pienen vetopyörän kokoeroa. Yleensä suositaan pienempää välityssuhdetta, sillä näin saavutetaan parempi hyötysuhde ja pienempi polttoaineen kulutus.

Hypoidivetopyörästössä vetopyörät eivät ole samassa tasossa. Pienempi vetopyörä on ylempänä tai alempana isomman vetopyörän keskitasosta. Tällaisen vetopyörästön etuna on rasituksen parempi jakautuminen, sillä useammat hampaat ovat yhtä aikaa kosketuksissa verrattuna spiraalikartiopyörästöön. Hypoidipyörästössä joudutaan käyttämään omanlaista voiteluöljyä johtuen osittain liukuvasta hammaskosketuksesta. (Torniainen 2006)

Kierukkavetopyörästössä kierukka pyörittää vetoakseleihin kiinnitettyä kierukkapyörää. Tällaisen pyörästön etuja ovat pieni käyntiääni, välityssuhteen helppo kasvattaminen ja voimansiirto saadaan tarvittaessa helposti kaksoisvetoteleihin. Kierukkavetopyörästön valmistaminen on kuitenkin kallista, ja sen voitelu on vaikeaa johtuen täysin liukuvasta hammaskosketuksesta. Lisäksi moottorijarrutuksessa pyörästö rasittuu merkittävästi, jos pyörästön välityssuhde on suuri.

2.6.2 Kaksiportainen vetopyörästö

Vääntömomenttia on joskus kasvatettava niin paljon, että yksiportainen vetopyörästö ei täytä välityssuhdevaatimuksia. Kaksiportainen vetopyörästö koostuu sekä kartio- tai hypoidivälitteisestä vetopyöräparista, että vinohampaisesta lieriöhammaspyöräparista.

Vetopyöräpari on rakenteeltaan heikompi kuin lieriöhammaspyöräpari, joten niissä suositaan pienempää välityssuhteen kasvattamista. Toisiovälityksessä, eli lieriöhammaspyöräparissa tapahtuu suuremmat momentin kasvattamiset. (Torniainen 2006)

2.6.3 Kaksinopeuksinen vetopyörästö

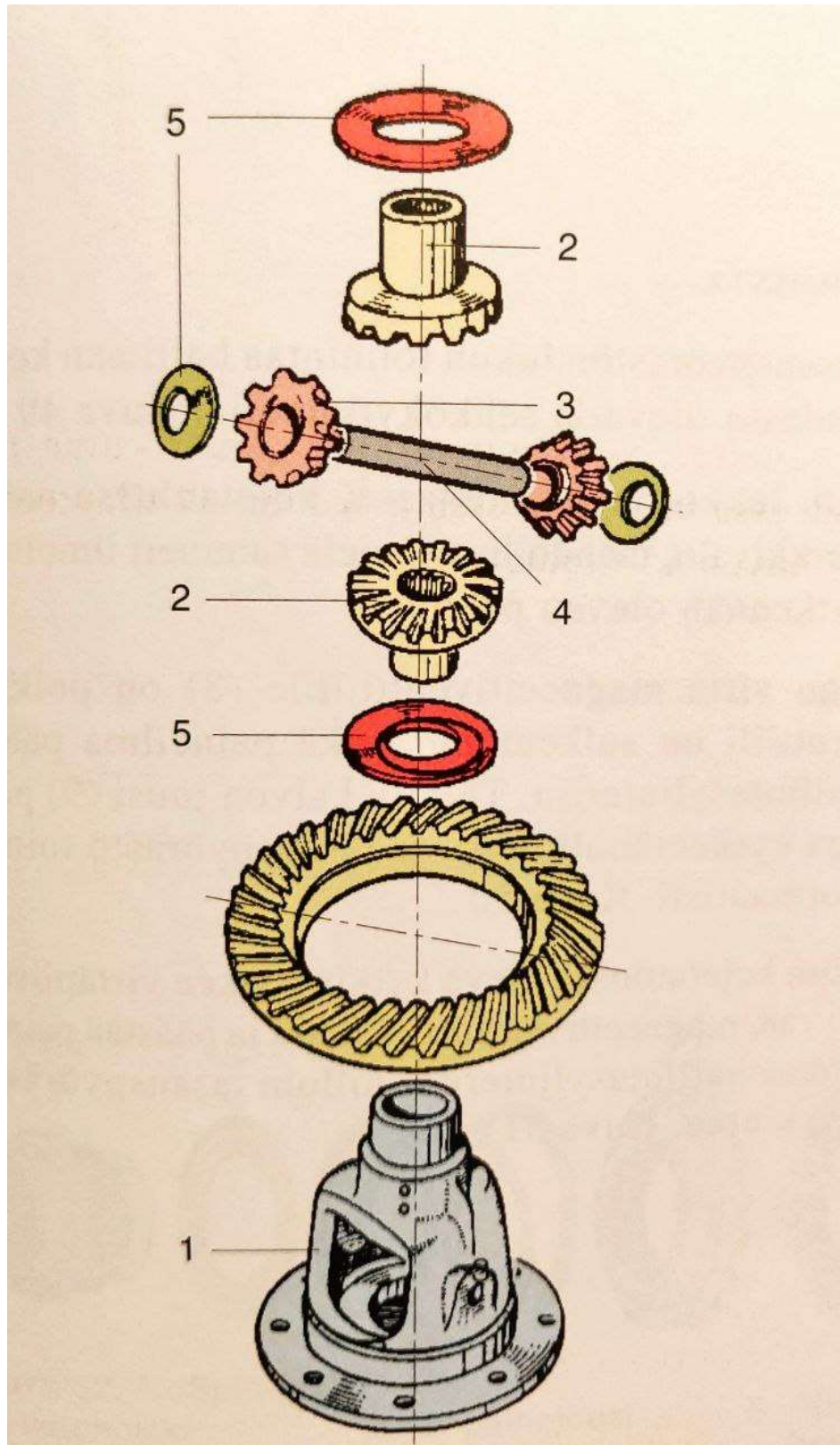
Kaksinopeuksisia vetopyörästäjä on yleisesti käytössä kahdella eri toteutuksella: lieriöpyörästö- tai planeettapyörästövälityksellä. Kaksinopeuksisia vetopyörästäjä käytetään, kun päävaihteistolta tulevia välityssuhteita on vähän. Kaksinopeuksisilla vetopyörästöillä saadaan helposti suhteiden määrä kaksinkertaistettua. Kuljettaja voi valita ohjaamosta kahden eri välityssuhteen väliltä. Puhekielessä puhutaan nopeista ja hitaista peristä. (Torniainen 2006) Tätä ei kuitenkaan pidä sekoittaa aluevaihteiston mahdollistamaan High/Low -vaihdevalintaan.

2.7 Tasauspyörästöt

2.7.1 Tasauspyörästön rakenne

Tasauspyörästö koostuu kotelosta, kahdesta isosta ja kahdesta-neljästä pienestä tasauspyörästä. Koteloon pienet tasauspyörät laakeroidaan ristiakselilla. Johtuen tasauspyörästössä muodostuvasta akselin suuntaisesta ulospäin työntävästä voimasta, tasauspyörien ja kotelon väliin on asetettu levylaakerit. (Torniainen 2006) Kuvassa 3 on esitetty tasauspyörästön rakenne.

Kartiohammaspyöräparit muodostavat tasauspyörästön muutamaa poikkeustapausta lukuun ottamatta. (Dietsche & Reif 2014) Tasauspyörästö tasaa tarvittaessa vetävien pyörien kehänopeudet oikeiksi, ja käytännössä tasauspyörästö estää hitaamman kehänopeuden omaavan renkaan laahaamisen.



Kuva 3. Tasauspyörästön rakenne. Kuvassa numeroituna: 1. tasauspyörästön kotelo, 2. isot tasauspyörästöt, 3. pienet tasauspyörät, 4. ristiakseli ja 5. laakerilevyt. (Torniainen 2006)

2.7.2 Tasauspyörästäön lukot

Ajon aikana normaalissa tasauspyörästäössä voi ilmaantua etenemistä hankaloittavia ongelmia. Jos toinen vetävistä renkaista luistaa tien pinnalla, määräytyy vetokyky luistavan renkaan mukaisesti. Rengas, joka ei luista, ei saa vetovoimaa. (Karhima & Torniainen 2005) Tätä varten on olemassa erilaisia lukituslaitteita, jolla renkaille saadaan sama määrä vetovoimaa tarvittaessa.

Huonoissa ajo-olosuhteissa on joskus tarve saada tasauspyörästäö lukittua vetokyvyn parantamiseksi. Käytössä on mekaanisesti ja automaattisesti toimivia lukkoja, joista mekaanisesti toimiva on selvästi yleisin kuorma-autoissa. Yleensä tasauspyörästäönlukot ovat sähköisesti ohjattavia, mutta kytkeytyvät paineilmalla. Puhutaan siis sähköpneumaattisesta ohjauksesta.

Kuljettaja joutuu kytkemään mekaanisesti toimivan tasauspyörästäön lukituksen ajoneuvon kojelaudassa sijaitsevasta sähkökytkimestä. Tällöin virtapiiriin kytkeytyy virta ja tämä avaa magneettiventtiilin. Magneettiventtiili päästä paineilman lukon hallintasynteriin ja pyörästäö lukittuu.

Automaattisesti toimivan tasauspyörästäön lukituksen erottaa mekaanisesti toimivasta se, että kuljettajan ei tarvitse tehdä mitään toimenpiteitä lukituksen kytkemiseksi. Automaattisesti toimivia lukkoja käytetään harvemmin kuorma-autoissa.

2.8 Napavälitykset

Soran ja puutavaran kuljettamisessa käytettävät kuorma-autot ovat monesti myös tarpeen varustaa napavälityksellä. Se on edullisin keino vääntömomentin suurentamisen, jos tutkitaan asiaa vääntörasitusten kautta. Käytännössä napavälitys on alennusvaihe, joka sijaitsee pyörän navassa. Napavälitys toteutetaan yleensä lieriöpyöräparina tai planeettapyörästäönä, joista jälkimmäinen on yleisin. (Torniainen 2006)

2.9 Raskaiden hybridiajoneuvojen voimansiirto

Huoli ilmastonmuutoksesta on luonut markkinoille kysyntää myös hybridivoimanlähteitä käyttäville kuorma-autoille. Hybridivoimanlähteiden käyttö voi pienentää kasvihuonekaasujen määrää jopa 85 %, kun puhutaan normaalin kevyesti kuormatun kuorma-auton ajosyklistä. (Lajevardi, et al. 2019) Hybridiajoneuvon määritelmä on: ”Ajoneuvo, joka käyttää sekä perinteistä polttomoottoria, ja vähintään yhtä sähkömoottoria voimanlähteenään.” (Dietsche & Reif 2014) Voimanlähteiden yhdistäminen luo tarpeen uudentyyppisille voimansiirtojärjestelmille.

2.9.1 Rinnakkaishybridin voimansiirto

Rinnakkaishybridikuorma-autossa poltto- ja sähkömoottori on kytketty rinnakkain. Tämä tarkoittaa sitä, että kuorma-autoa voidaan liikuttaa joko molemmilla voimanlähteillä, pelkällä sähköllä tai ainoastaan polttoaineella. Rinnakkaishybridin voimansiirrolle on useita erilaisia voimansiirtojärjestelmän muunnelmia, mitkä yleensä perustuvat erilaisiin kytkinratkaisuihin.

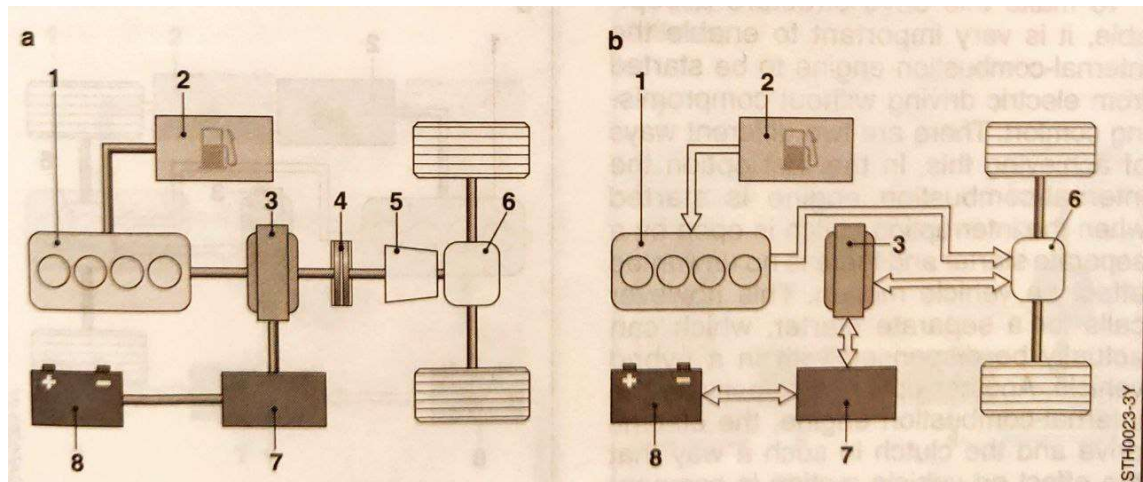
Yksinkertaisin näistä voimansiirtojärjestelmän muunnelmista on voimansiirtojärjestelmä yhdellä kytkimellä. Tällaisessa ratkaisussa sähkömoottori on kiinnitetty suoraan polttomoottoriin. Vaikka tässäkin tapauksessa puhutaan rinnakkaishybridistä, ei sitä voi ajaa pelkällä polttomoottorilla, johtuen polttomoottorin suorasta kytkennästä sähkömoottoriin. (Dietsche & Reif 2014) Tällaisen voimansiirron rakenne on esitetty kuvassa 4.

Rinnakkaishybridin voidaan myös toteuttaa kahdella erillisellä kytkimellä, joista toinen erottaa moottorin sähkömoottorista. Tässä ratkaisussa pelkällä sähköllä ajaminen on mahdollista. Kahden erillisen kytkimen järjestelmässä on kuitenkin ongelmana voimansiirron pituuden kasvaminen. Kaikissa ajoneuvoissa tämä pituuden kasvattaminen ei ole mahdollista, joskaan se ei ole kuorma-autoissa ongelma. Tämä ongelma ratkeaa kuitenkin tuplakytkimellä.

Rinnakkaishybridillä, jossa on tuplakytkin, pystytään ajamaan myös pelkällä sähköllä. Erona aiempiin on se, että sähkömoottori ei enää ole suoraan samassa linjassa

kampiakselin kanssa. Myöskään ylimääräistä kytkintä poltto- ja sähkömoottorin välille ei tarvita.

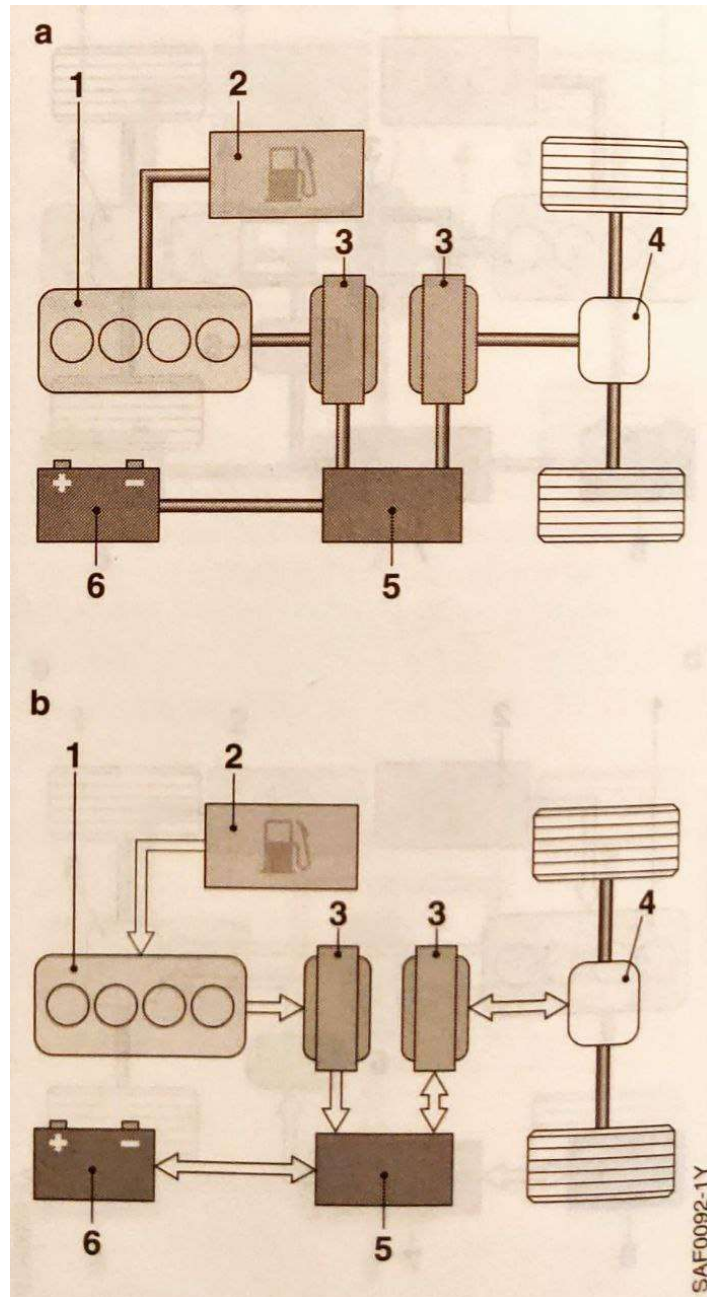
Henkilöautoissa voidaan käyttää myös järjestelyä, missä sähkömoottori tuottaa voimaa pelkästään taka-akselille, ja polttomoottori etuakseleille. Tätä kutsutaan akselijakoiseksi rinnakkaishybridiksi.



Kuva 4. Rinnakkaishybridin voimansiirron rakenne ja energian kulkusuunta. Kuvan a. kaaviossa esitetään voimansiirron rakenneosat ja b. kaaviossa energioiden kulkusuunnat. Kuvassa numeroituna: 1. Polttomoottori, 2. polttoainetankki, 3. sähkömoottori, 4. kytin, 5. vaihdelaatikko, 6. tasauspyörästö, 7. invertteri ja 8. akusto. (Dietsche & Reif 2014)

2.9.2 Sarjahybridin voimansiirto

Sarjahybridissä polttomoottori pyörittää sähkömoottoria, mikä toimii generaattorina. Generaattori tuottaa virtaa invertterille. Invertterissä tasavirta muutetaan vaihtovirraksi ja samalla jännite nostetaan korkeammaksi. Jännitteen noston vaatii pääsähkömoottori, mikä tuottaa voimaa vetäville pyörille. Tällaisessa ratkaisussa ei käytännössä ole yhteyttä polttomoottorin ja vetävien pyörien välillä. Sarjahybridin ei näin ollen tarvitse perinteistä vaihdelaatikkoa ollenkaan. Ongelmaksi kuitenkin muodostuu se, että sähköenergiaa joudutaan muuntamaan kahdesti, mistä syntyvä hukka on suurempaa kuin perinteisen vaihdelaatikon kanssa. Näistä huolimatta sarjahybridin kokonaishyödyt ylittävät polttoaineen kulutuksessa negatiiviset puolet, sillä polttomoottori voidaan suunnitella käymään sen optimikiertoalueella. (Dietsche & Reif 2014) Kuvassa 5 on esitetty tällaisen voimansiirron rakenne.



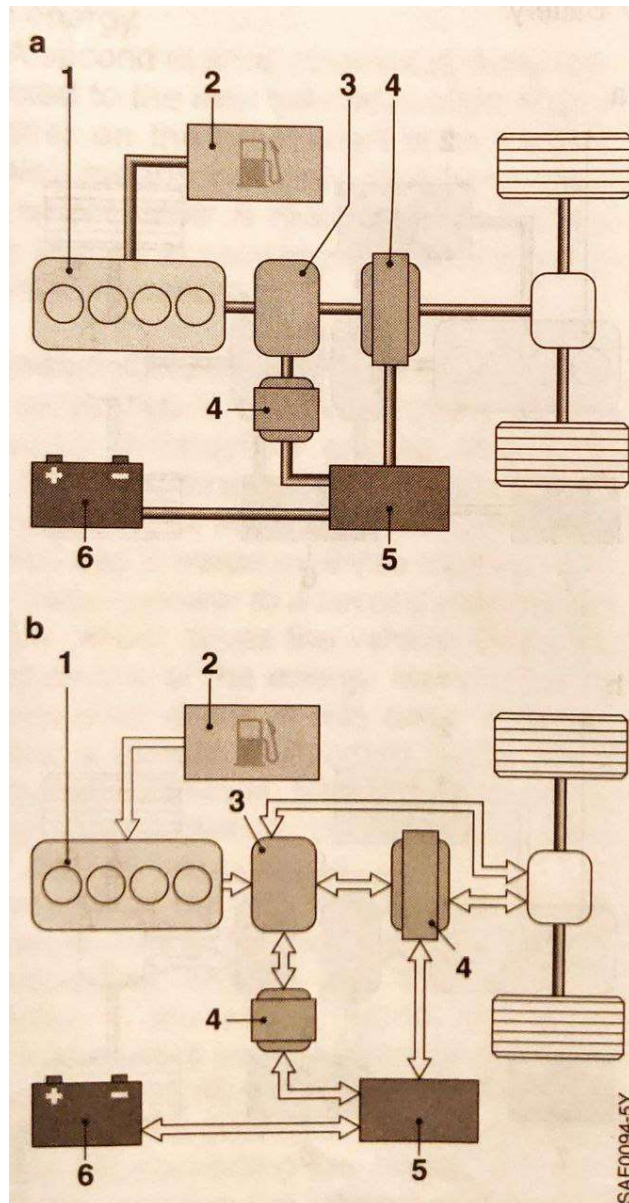
Kuva 5. Sarjahybridin voimansiirron rakenne ja energian kulkusuunta. Kuvan a. kaaviossa esitetään voimansiirron rakenneosat ja b. kaaviossa energioiden kulkusuunnat. Kuvassa numeroituna: 1. polttomoottori, 2. polttoainesäiliö, 3. sähkömoottori, 4. tasauspyörästö, 5. invertteri ja 6. akusto. (Dietsche & Reif 2014)

2.9.3 Voimanjakohybridin voimansiirto

Voimanjakohybridin yhdistää sarja- ja rinnakkaishybridivoimansiirtojen tehonjakominaisuudet. Osa moottorin tuottamasta voimasta muutetaan ensimmäisen sähkömoottorin avustuksella sähkövoimaksi ja loput moottorin tuottamasta voimasta käytetään toisen sähkömoottorin avulla auton ajamiseen. Voimanjakohybrideissä

käytetään usein planeettapyörävaihteistoa yhdistämään toisiinsa polttomoottori ja kaksi sähkömoottoria. Kuvassa 6 on esitetty voimajakohybridin voimansiirron rakenne.

Planeettapyörävaihteisto siirtää osan moottorin tuottamasta voimasta mekaanisesti pyörille, mutta loput vetävästä voimasta siirretään sähköisesti vetäville pyörille. (Dietsche & Reif 2014)



Kuva 6. Voimajakohybridin voimansiirron rakenne ja energian kulkusuunta. Kuvan a. kaaviossa esitetään voimansiirron rakenneosat ja b. kaaviossa energioiden kulkusuunnat. Kuvassa numeroituna: 1. polttomoottori, 2. polttoainesäiliö, 3. planeettavaihteisto, 4. sähkömoottori, 5. invertteri ja 6. akusto. (Dietsche & Reif 2014)

3 VOIMANSIIRRON OHJAAMINEN

3.1 Voimansiirron ohjaaminen yleisesti

Kuorma-autoissa voimansiirtoa voidaan ohjata mekaanisesti, hydraulisesti, sähköhydraulisesti, pneumaattisesti, sähkö-pneumaattisesti ja sähköisesti. Ajoneuvoissa voi nykyään olla jopa 100 elektronista ohjausyksikköä eli ECU:ia (Electrical Control Unit). Tarvittavien sensorien määrä on jatkuvasti lisääntynyt moderneissa ajoneuvoissa. (Turner 2009) Voimansiirron jokaista komponenttia voidaan nykyään seurata erilaisilla antureilla ja niiden kautta saadun tiedon pohjalta komponentteja voidaan ohjata halutusti.

3.1.1 Venttiilit

Venttiilejä käytetään kontrolloimaan hydraulisia ja pneumaattisia järjestelmiä. Venttiilit ohjaavat järjestelmässä kulkevan aineen suuntaa ja painetta. Voimansiirrossa tarvitaan useita erilaisia venttiilejä, sillä voimansiirrossa on useita rakenneosia, jotka toimivat pneumaattisesti tai hydraulisesti.

3.1.2 Sensorit

Sensorit ovat merkittävä osa sähköisesti toteutettavaa ohjausta. Käytännössä sensorit muuttavat fyysisiä suureita, kuten painetta, sähköiseksi signaaliksi, mitä esimerkiksi ajotietokone voi käyttää voimansiirron ohjaamiseen. (Fleming 2008) Voimansiirrosta puhuttaessa tarvitaan painesensoreita tarkkailemaan esimerkiksi hydrauliiKANESTEEN painetta ja venttiilien asentoantureilla seurataan vaihdelaatikossa olevien hydrauliiKkaa ohjaavien venttiilien asentoa. (Turner 2009) Vaihdelaatikon vaihteenvaihtamista seurataan myös asentoanturilla. (Ribbens & Mansour 2003) Pyörimisnopeusantureita voidaan käyttää esimerkiksi vaihdelaatikon kytkin akselin ja nivel akselin nopeuden määrittämiseen. Erilaisia kiihdytysantureita käytetään ajonvakausjärjestelmien tarpeisiin. (Fleming 2001) Momenttisensoria hyödynnetään kehitysvaiheessa selvittämään, kuinka paljon kytkin välittää momenttia vaihdelaatikolta veto akselille tai kardani akselille. (Zhao, et al. 2016)

3.1.3 Vaihdelaatikoiden ohjaus

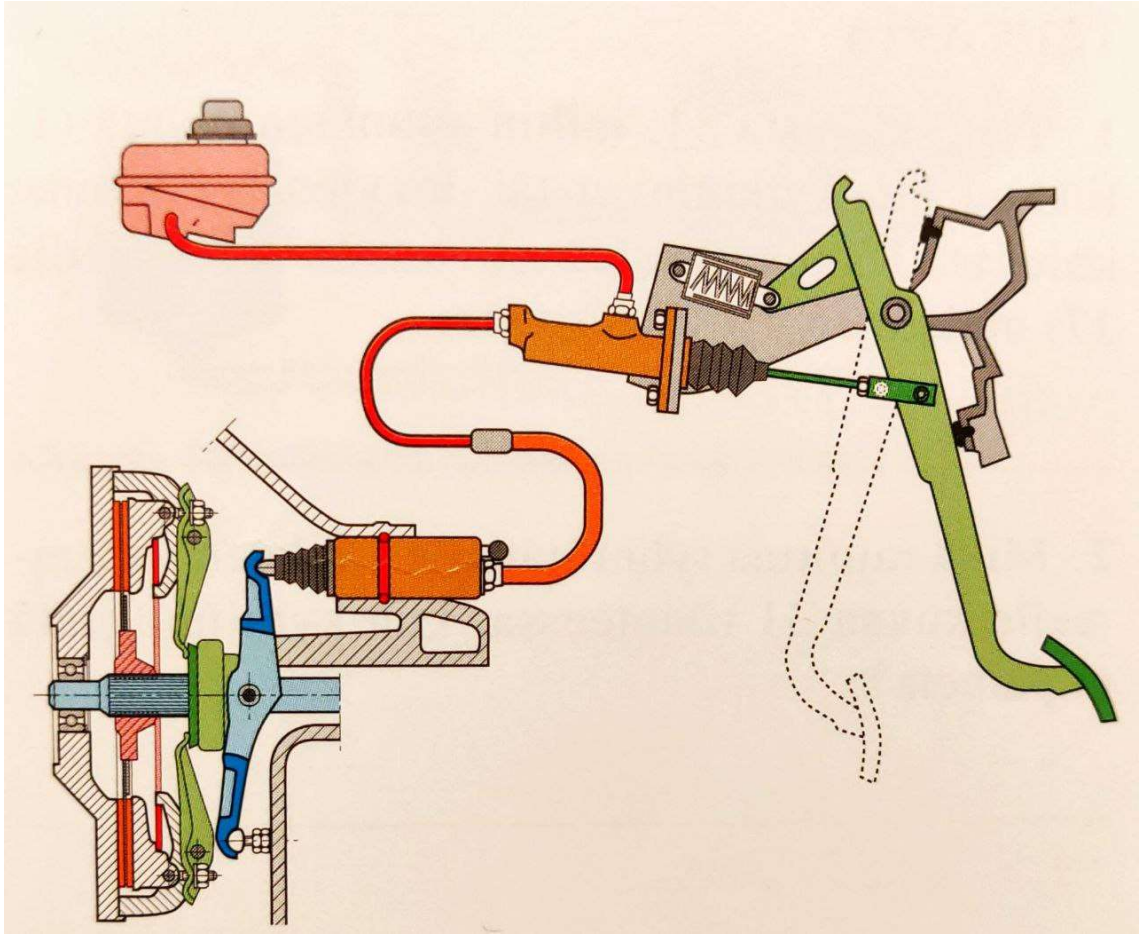
Jos kuorma-autossa on jokin muu kuin manuaalinen vaihdelaatikko, on se luultavimmin sähköisesti ohjattu. Vaihteenvalinnat voidaan toteuttaa esimerkiksi sähköisesti ohjatulla pneumatiikalla (sähkö-pneumaattisesti), jolloin ohjausyksikkö antaa signaalin magneettiventtiileille. Magneettiventtiilit ohjaavat kytkinsylintereitä, mitkä vaihtavat oikean vaihteen halutussa tilanteessa. Kuljettajan täytyy itse määrittää, haluaako hän vaihtaa vaihteen ylöspäin vai alaspäin.

Tästä kehittyneempi versio on ns. robottivaihdelaatikko, mitä kontrolloi kokonaan ohjausyksikkö. Kuljettajan tarvitsee ainoastaan painaa kytkinpoljinta vaihteen vaihtamiseksi. Ohjausyksikkö käyttää elektronisesti ohjattuja magneettiventtiilejä ja paineilmasylintereitä vaihteiston ohjaukseen, ja tekee vaihtamispäätöksen vaihteistossa olevien nopeusantureiden avulla.

Täysin automaattista vaihdelaatikkoa ohjataan hydraulisilla toimilaitteilla, joita ohjataan elektronisesti. (Surakka & Pietola 1992) Automaattivaihdelaatikon hydraulikkapiiriä ohjaa ohjausyksikkö ja se kontrolloi piirissä olevia magneettiventtiilejä. Piirissä kulkeva hydraulikkaneeste (vaihteistoöljy) kytkee vaihteiden lamellikytkimiä päälle ja pois, jolloin vaihde vaihtuu. (Torniainen 2006)

3.1.4 Kytkimen ohjaaminen

Kytkintä ohjataan yleensä aina kytkinpolkimella, mikäli kuorma-autossa ei ole automaattivaihdelaatikkoa. Kytkinpolkimia voi olla tehostamattomina tai tehostettuina. Tarvittaessa kytkinpoljin vaatii tehostinta, jotta kuljettaja jaksaa painaa sitä. Kytkinpolkimen tehostus voidaan toteuttaa hydraulisesti tai pneumaattisesti. Kuvassa 7 on esitetty hydraulisesti tehostetun kytkimen rakenne.



Kuva 7. Hydraulisesti tehostettu kytkin. (Torniainen 2006)

3.1.5 Hidastimet

Kuorma-autoyhdistelmien merkittävän painon vuoksi pelkästään mekaanisten jarrujen käyttäminen ajoneuvoyhdistelmän hidastamiseksi ei ole järkevää jarrujen liiallisen kulumisen ja lämpenemisen takia. Tämän takia kuorma-autoihin on aikojen saatossa asennettu erilaisia hidastimia, jotka joko lisäävät moottorijarrutusta tai hidastavat nivelakseliston pyörimistä. Merkittävä voimansiirtoon vaikuttava hidastin on turbiinihidastin. Turbiinihidastin on aivan kuin hydraulinen jarru. Kytettäessä hidastimeen ohjataan paineilmalla öljyä, minkä määrä hidastimessa vaikuttaa jarrutuspaineen voimakkuuteen.

4 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli tutustuttaa lukija kuorma-autojen voimansiirtojärjestelmiin, niiden voimansiirtorakenteisiin ja ohjaukseen. Työssä lähdettiin liikkeelle esittelemällä kuorma-autojen voimansiirrossa esiintyviä voimansiirron rakenteita ja kerrottiin niiden toiminnasta. Lukija myös tutustutettiin markkinoilla yleistyvien hybridivoimanlähteillä toimivien kuorma-autojen voimansiirtoon ja näiden erilaisiin layoutteihin. Lopuksi kerrottiin lyhyesti voimansiirron ohjauksesta.

Kuorma-autojen voimansiirto eroaa merkittävästi henkilöautojen voimansiirrosta ja kirjallisuuslähteiden avulla saatiin esitettyä erilaiset ratkaisut, joita kuorma-autoissa joudutaan käyttämään. Kuorma-autojen voimansiirrossa joudutaankin ottamaan huomioon useasti vaihtuvat kuormitukset, rasitukset ja vääntömomentit.

Lisäksi käsiteltiin hybridivoimanlähteillä toimivien kuorma-autojen voimansiirtoa. Huomattiin, että pelkästään hybridivoimanlähteen käyttäminen kuorma-autossa edellyttää uusia ratkaisuja kuorma-auton voimansiirron kannalta.

Voimansiirtoa pitää myös ohjata ja kirjallisuuslähteiden perusteella kuorma-autoissa onkin monia omanlaisia voimansiirron ohjaukseen liittyviä komponentteja. Tärkeimpänä varmasti ovat kuorma-autoissa käytettävät hidastimet. Hidastimet säästävät kuorma-auton jarruja hidastamalla vetoakselin pyörimistä, jolloin jarrua ei tarvitse kytkeä esimerkiksi pitkän alamäen aikana.

5 LÄHDELUETTELO

Braess, H.-H. & Ulrich, S., 2005. *Handbook of Automotive Engineering*. Toinen painos toim. Warrendale: SAE International.

Dietsche, K.-H. & Reif, K., 2014. *Automotive handbook*. Yhdeksäs toim. Chichester: John Wiley & Sons.

Fleming, W. J., 2001. Overview of Automotive Sensors. *IEEE Sensors Journal*, 1(4), pp. 296-308.

Fleming, W. J., 2008. New Automotive Sensors - A Review. *IEEE Sensors Journal*, 8(11), pp. 1900-1921.

Karhima, M. & Torniainen, K., 2005. *Auto- ja kuljetusalan perusoppi. 5, Voimansiirto : voimansiirron perusteet, voimansiirron peruslaitteet*. Ensimmäinen uudistettu painos toim. Helsinki: Otava.

Lajevardi, S. M., Axsen, J. & Crawford, C., 2019. Comparing alternative heavy-duty drivetrains based on GHG. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Osa/vuosikerta 76, pp. 19-55.

Lechner, G. & Harald, N., 1999. *Automotive transmissions : fundamentals, selection, design and application*. Ensimmäinen toim. Berlin: Springer.

Ribbens, W. B. & Mansour, N. P., 2003. *Understanding automotive electronics*. kuudes toim. Boston: Newness.

Surakka, M. & Pietola, M., 1992. *Hydrauliikan käyttö autotekniikassa*, Espoo: Helsinki University of Technology.

Torniainen, K., 2006. *Auto- ja kuljetusalan erikoistumisoppi. 6, Voimansiirto : raskaan ajoneuvokaluston voimansiirto : voimansiirron automatiikka*. Ensimmäinen uudistettu toim. Helsinki: Otava.

Turner, J. D., 2009. *Automotive sensors*. Ensimmäinen toim. New York: Momentum Press.

Xie, T., Hu, J., Peng, Z. & Liu, C., 2015. Synthesis of seven-speed planetary gear trains for heavy-duty. *Mechanism and Machine Theory*, Osa/vuosikerta 90, pp. 230-239.

Zhao, Z., He, L., Yang, Y., Wu, C. & Li, X., 2016. Estimation of torque transmitted by clutch during shifting. *Mechanical Systems and Signal Processing*, Osa/vuosikerta 75, pp. 413-433.