



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Leo Pantsukov

Apuvoimansiirron muutos hydrostaattisesta sähköiseksi (esikatselu)

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

25.5.2020

Tekijä Otsikko	Leo Pantsukov Apuvoimansiirron muutos hydrostaattisesta sähköiseksi.
Sivumäärä Aika	35 sivua 25.5.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine	Valmistus- ja tuotantotekniikka
Ohjaajat	Lehtori Heikki Paavilainen Tuotepäällikkö Arto Louhio
<p>Insinööriyön tavoitteena oli selvittää, onko Lai-Mun monitoimikoneen hydrostaattinen apuvoimansiirto mahdollista muuntaa sähköiseksi. Sähköisellä apuvoimansiirrolla pyritään säätämään tilaa ja tehdä siitä riippumaton monitoimikoneen moottorijärjestelmästä. Lisäksi pyrittiin arvioimaan, olisiko apuvoimansiirron muutos taloudellisesti kannattavaa.</p> <p>Teoriaosiossa tarkastellaan eri yrityksiä, jotka liittyvät apuvoiman muutokseen ja apuvoimansiirron historiaan, nykypäivään ja tulevaisuuteen. Perehdytään hydraulikan perusteisiin, jotta saadaan parempi ymmärrys apuvoimansiirrosta ja siihen tarvittavista komponenteista. Käytännön työ koostui pääasiassa sopivien komponenttien etsimisestä ja niiden hintakyselyistä.</p> <p>Insinööriyön tuloksena löydettiin sopivat sähkökomponentit, jotka tarvittaisiin apuvoimansiirron muutokseen, ja niiden toimittajalta saatiin hinta-arvio. COVID-19 tilanteen yrityksillä käyntiä ei voitu tehdä, joten työ jäi kesken.</p>	
Avainsanat	apuvoimansiirto, monitoimikone, hydraulikka

Author Title Number of Pages Date	Leo Pantsukov Changing Auxiliary Transmission from Hydrostatic to Electric 36 pages 25 May 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Professional Major	Production Engineering
Instructors	Heikki Paavilainen, Senior Lecturer Arto Louhio, Product Manager
<p>In this thesis, the possibility of changing hydrostatic auxiliary power transmission to an electric version is examined. The aim was also to find the right kind of electrical components, which are needed to change the forklift's auxiliary power transmission. Furthermore, the aim was to estimate if changing the auxiliary power transmission is financially viable.</p> <p>To start with, the thesis discusses the companies that are directly related to this project and the roles they play in it. In addition, the basic principles of hydraulics are studied to create a better understanding about auxiliary power transmission. The goal was to find the needed components with cost-effective prices to create an independent system from the main motor.</p> <p>In conclusion, we found the component supplier provided right kind of electrical components required to change the auxiliary power transmission and a cost estimate. However, because COVID-19 epidemic different visits to the companies could not be done so project was incomplete.</p>	
Keywords	Auxiliary power transmission, Hydrostatic

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Yritykset ja Monitoimikone	2
2.1	Oy Nestepaine AB	2
2.2	Yritys Oy Lai-Mu Ab	2
2.3	Lai-Mu:n monitoimikone 286	3
3	Apuvoimansiirto	6
3.1	Apuvoimansiirron periaate	6
3.2	Apuvoimansiirtoon tarvittavat komponentit	8
3.3	Apuvoimansiirron historiaa	9
3.4	Apuvoimansiirron nykypäivä	11
3.5	Apuvoimansiirron tulevaisuus	11
3.6	Hydrauliikan perusteita	12
3.6.1	Hydrauliikkajärjestelmät	12
3.6.2	Hydrauliikkamoottorit	15
3.6.3	Hydrauliikkapumput	17
3.6.4	Hydrauliikkaventtiilit	21
3.6.5	Hydrauliikkaletkut ja -putket	24
4	Työn toteutus	25
4.1	Sähkökomponenttien etsiminen	25
4.2	Sähkö napamoottori S400	29
4.3	Tarvittavat komponentit sähköiseen apuvoimansiirtoon	30
5	Tulokset	31
6	Yhteenveto	33
	Lähteet	35

1 Johdanto

Tässä työssä tavoitteena on tutustua apuvoimansiirtoon: sen historiaan, nykypäivään ja tulevaisuuteen. Myös tehdään esityö tutkimus monitoimikoneen hydrostaattisen apuvoimansiirron muuttamisen sähköiseksi ja arvioidaan sen kustannus. Jos sähköiseen apuvoimansiirtoon tarvittavat komponentit saadaan sopivaan hintaan, niistä tehdään tarjous Lai-Mulle. Tutustumme monitoimikoneeseen, johon muutos tehdään, ja Lai-Muun, joka valmistaa muun muassa monitoimikoneita. Lisäksi tutustutaan hydrauliiikan perusteisiin ja hydrauliiikkakomponentteihin, jotta saadaan käsitys nykyisestä apuvoimansiirrostä. Komponentit, jotka monitoimikoneessa korvataan sähkökomponenteilla: hydrauliiikkapumppu, venttiili, napamoottori, öljysäiliö ja suodattimet. Työn tavoitteena on selvittää, onko mahdollista muuttaa hydraulinen apuvoimansiirto sähköiseksi ja mihin hintaan tämä toteutuisi, jotta idea voitaisiin myydä eteenpäin.

Tässä työssä etsitään tarvittavat sähkökomponentit, mutta niiden asentamisen suorittavat Lai-Mun työntekijät. Komponentit tilataan Sloveniasta yritykseltä Elaphen. Heiltä saadaan hinta-arvio komponenteista, jonka jälkeen tehdään tarjous Lai-Mulle. Mikäli hinta on liian korkea, työ jätetään kesken, eikä komponentteja tilata. Osia tilatessa oli katsottava sähkökomponenttien raja-arvoja, esimerkiksi ajomoottoreiden tarvitsema käyttöjännite, joka ei saanut olla tarpeettoman korkea käyttöturvallisuuden kannalta. Tämä vaatimus rajoitti komponenttivalintaa.

Sähköinen ajovoimansiirto tulee yleistymään tulevaisuudessa, ja monet yritykset pitävät sitä tärkeänä tavoitteena ja haluavat laajentaa osaamistaan sähkökomponenteista.

2 Yritykset ja Monitoimikone

Tässä osiossa käydään läpi eri yrityksiä, jotka ovat osallisena työhön kerrotaan niiden taustoista ja tuotteista. Esitellään monitoimikone mihin suunnitellaan hydrostaattisen apuvoimasiirron muutos sähköiseksi, sen nykyinen apuvoimansiirto ja muita teknillisiä tietoja.

2.1 Oy Nestepaine AB

Nestepaine on hydraulikkakomponenttien maahantuojaja, ja yritys tekee huoltoja ja korjaa edustamiaan komponentteja. Nestepaine perustettiin vuonna 1973 ja aloitti myynnin autotaliyrityksenä. Yrityksen toimipisteet sijaitsevat Vantaalla, Tampereella, Seinäjoella, Jyväskylässä ja Kokkolassa. Nestepaine kuuluu Etola-yhtiöihin. Etola-yhtiöt ovat teollisuustuotteita maahantuova, valmistava ja markkinoiva yritys, joka muodostuu noin 30:stä keskenään tiiviissä yhteistyössä toimivasta erikoisliikkeestä [12]. Henkilökunnan määrä on 110 henkilöä ja liikevaihto on noin 30 miljoonaa euroa.

2.2 Yritys Oy Lai-Mu Ab

Lai-Mu on Raumalla toimiva metallialan yritys. Lai-Mu valmistaa monitoimikoneita, työkaluitteita ja turvaohjaamoja erilaisiin työkoneisiin. Turvaohjaamojen valmistus aloitettiin jo 60-luvun lopulla, ja muodostaa edelleen merkittävän osan yrityksen toiminnasta. Monitoimikoneiden valmistus aloitettiin vuonna 1987 yhdellä mallilla. Nykyään mallistoon kuuluu 4 erikokoista monitoimikonetta [1].

Lai-Mu yhtiöihin kuuluu lisäksi kaksi aivan eri aloilla toimivaa sisaryritystä: sairaalatarvikkeiden ja työvaatteiden kauppaan erikoistunut Suomen sairaalatukku sekä vuodevaatteita valmistava Vormu. Kaikki kolme yritystä ovat Oy Lai-Mu Ab:n perustajan Muisto Laineen yrityksiä [5].

2.3 Lai-Mu:n monitoimikone 286

Lai-Mun monitoimikoneeseen LM Trac 286 tehdään apuvoimansiirronmuutos hydraulisesta sähköiseksi (kuva 1). monitoimikone on pieni yhdelle henkilölle tehty toimilaite. Monitoimikonetta käytetään katujen puhdistamiseen tai puutarhatöihin. Monitoimikone on saavuttanut suuren suosion Keski-Euroopassa. Se on loistava työkonne esimerkiksi rikkakasvien mekaaniseen poistoon, harjaamiseen, nurmialueiden hoitoon, roskien imuroimiseen, hiekoittamiseen ja lumitöihin.

Tämä monitoimikone malli oli voittanut innovaatiopalkinnon vihreän teknologian messuilla Hollannissa. Messuilla esillä olleeseen koneeseen oli dieselmoottorin tilalle asennettu polttokenno. Muutostyö tehtiin Lai-Mun Hollantiin toimittamaan niin sanottuun vakiomalliseen LM Trac 286 monitoimikoneeseen [8]. Konehuoneessa polttomoottori irrotettiin hydraulikkajärjestelmästä, ja tilalle asennettiin polttokennojärjestelmä sähkömootoreineen. Fyysisesti suurimman tilan vie juuri sähkömoottori, joka pyörittää niin ajonhydrauliikkaa kuin työhydrauliikan pumppuja.

Monitoimikoneessa oleva apuvoima eli nelivetoisuus on traktorissa optio, ja se on toteutettu hydrostaattisesti. Hydraulikkavoima otetaan monitoimikoneen moottorista ja ohjataan pumpun avulla napamoottoreille. monitoimikoneessa on 1/3 virtauksenjakoventtiili, joka jakaa 2/3 hydraulisesta tehosta päävoimansiirron moottoreille ja 1/3 apuvoimansiirron moottoreille. Lisäksi monitoimikoneessa on venttiili, jolla apuvoimansiirto kytketään päälle taikka pois päältä. Tämä tarkoittaa sitä, että kun apuvoimansiirtoa käytetään niin, maksimi ajonopeus laskee 33.3 %.



Kuva 1. LM TRAC 286 [2].

Monitoimikoneen teknisiä tietoja:

MOOTTORI

Merkki	Lombardini (Kohler)
Malli	LDW 1603 plus serial
Päästöluokka	EU Stage 3A
Tyyppi	3-sylinterinen
Diesel	rivimoottori
Iskutilavuus	1649 cm ³
Teho	27 kW (36hv) 2400 r/min
Vääntö	113 Nm 1600 r/min

VOIMANSIIRTO

Tyyppi	Hydrostaattinen 2-veto. (4-veto) Napamoottorit.
Rakenteellinen ajonopeus eteen/taakse	0-20 km/h 0-10 km/h
Suunnanvaihto	Ajopoljin

TYÖHYDRAULIIKKA

Pumppu	Kaksoishammaspyöräpumppu 19,5 cm ³ /6,5cm ³
Suodatus	Paluusudatin
Moottorihydrauliikka	47 l/min/2400rpm, 200 bar
Sylinterihydrauliikka	15 l/min / 175bar

SÄHKÖJÄRJESTELMÄ

Generaattori	14V 65 AMP
Akut	1kpl 12V 70ah 540A (EN)
Starttimoottori	12V 2,2 kW

TÄYTTÖTILAVUUKSIA

Polttoainesäiliö	35 l
Hydrauliikkaöljysäiliö	55 l

[2]

Monitoimikoneen nykyisen hydrostaattisen apuvoimansiirron vetovoiman laskukaava:

$$M/r=F \quad Fx2/(mxG) x 100= K$$

M = Moottorin vääntömomentti.

r = Renkaan säde.

m = Akselinpaino.

K = Prosentuaalinen vetovoima akselinpainosta.

G = Painovoima.

F = Vetovoima.

$$560Nm / 0.31m = 1800N$$

$$1800N x 2 \text{ (renkaiden lukumäärä)} / (1200 \text{ kg} x 9.81) x 100 = 30\%$$

3 Apuvoimansiirto

3.1 Apuvoimansiirron periaate

Suurin osa meistä tietävät miltä tuntuu, kun työntää täyteen lastattua kottikärryjä ja jokin este pysäyttää matkanteon. Jos kiertäminen ei ole mahdollista, usein auttaa, kun kottikärryt käännetään ympäri ja vedetään esteen yli. Samaa vertauskuvaa voidaan käyttää esimerkiksi metsäkoneen peräkärryn vedottomiin pyöriin. Hankalassa maastossa vedottomia pyöriä yritetään työntää esteen yli ja kuorma painaa pyöriä lisäten vastusta. Tähän tulee avuksi apuvoimansiirto, joka kääntää negatiivisen vierintävastuksen positiiviseksi voimaksi [6]. Apuvoimansiirto tuo vetovoimaa peräkärryn pyörille esimerkiksi ”Black Bruinin” moottoreilla. Nämä moottorit pohjautuvat Oy Sisu Auto Ab:n 1960-luvulla kehittämään ratkaisuun, jossa puutavara-ajoneuvojen peräkärryn asennettiin hydrostaattinen apuveto. Pyöränapoihin asennetut moottorit antoivatkin tarvittavaa lisäpotkua huonokuntoisessa maastossa. Ehkä kaikista yksinkertaisin tapa selittää apuvoiman siirto on, että kaksivetoisesta ajoneuvosta tehdään hetkellisesti nelivetoinen hydrostaattisesti. Apuvoimalla pyritään antamaan noin. 20-70% akselinpainosta lisää vetovoimaa.

Vierintävastuksen pieneneminen on vain yksi apuvedolla saavutettavista eduista. Pyörään sijoitettu hydraulikkamoottori antaa suunnittelijalle täyden vapauden runkorakenteen suhteen, koska mekaaniset akselit eivät ole rajaamassa luovuutta. Nykyään jopa pienikokoisella traktorilla pystytään vetämään raskasta perävaunua, jos perävaunu on varustettu napamoottoreilla ja apuvoimansiirrolla. Napamoottoreita voidaan käyttää tarvittaessa, mutta moottoreiden avulla on mahdollista ajaa apuvoimansiirtoa jatkuvasti. Apuvoimansiirron käyttö myös vähentää renkaiden kaivautumista ja täten maan pinnanvaurioita.

Jos apuvoiman siirron moottoreina käyttää radiaalimäntämoottoreita, saadaan heti korkea käynnistysmomentti. Moottori antaa täyden vetovoiman heti päälle kytkettäessä ja pyörimisliike on tasainen hitaillakin nopeuksilla. Näin koneyhdistelmän hallinta on tarkkaa ja sujuvaa eri tilanteissa [3].

Haittoina on, että hydrauliiikapumput ja -letkut vievät aina tilaa ja ovat välttämätön paha. Koska hydrauliiikassa käytetään hydrauliiikkanestettä ja, jos se vuotaa maastoon siitä tulee ympäristösaaste (ellei hydrauliiikkaneste ole bionestettä). Jos nesteeseen pääsee epäpuhtauksia, järjestelmä voi tukkeutua ja voi jopa rikkoutua. Apuvoima järjestelmä on riippuvainen toimilaitteen moottorista ja toimilaitteen hydrauliiikasta. Toisin sanottuna jos toimilaite on rikki, hydraulista apuvoimaa ei voida käyttää. Hydrostaattinen apuvoimansiirto vaatii kookkaan venttiilin ja paljon letkuja, mikä voi olla ongelma pienissä koneissa. Haitoista suurin on, jos toimilaitteeseen halutaan apuvoimansiirto, se vaatii muutosten tekemistä alkuperäiseen voimansiirtoon.

Sähköisen apuvoiman etuja on erillinen järjestelmä toimilaitteen moottorista. Tämän vuoksi sähköisellä apuvoimansiirrolla voidaan työkone siirtää tien sivuun, vaikka moottori ei toimisi. Sähkömoottoreilla on hyvät hyötysuhteet, ja ovat yleistymässä tulevaisuudessa. Sähköisen apuvoimansiirron voi asentaa laitteisiin, joissa ei ole ollenkaan hydrauliiikkaa. Se ei vaadi muutoksia toimilaitteen hydrauliiikkaan. Jos toimilaite on sähköinen, apuvoima ei tarvitse olla jarrutuksesta latautuva. Toisin kuin hydrostaattinen apuvoimansiirto erillinen sähköinen apuvoimansiirto järjestelmä lisää toimilaitteen kokonais-tehoa. Sähköinen apuvoimansiirto vähentää asennusten määrää monitoimilaitetta kootaessa.

Haittoina on, että sähkömoottorit ovat vielä isokokoisia, joten niille pitää varata iso tila. Akkujen kesto on pitkäaikaisessa käytössä huono. Myös isokokoiset akut ja moottorit nostavat toimilaitteen painoa.

3.2 Apuvoimansiirtoon tarvittavat komponentit

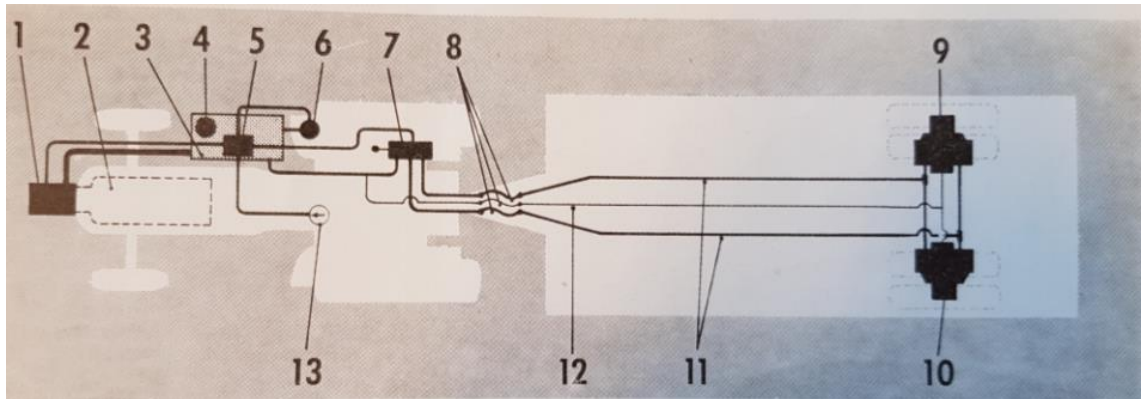
Tarvittavat komponentit hydrostaattisessa apuvoimansiirrossa:

1. Moottori toimilaitteelta, jossa mekaaninen teho muutetaan hydrauliseksi
2. Hydrauliiikkapumppu, joka siirtää hydraulisen tehon napamoottoreille
3. Napamoottorit, jolla hydrauliiikka pyörittää renkaita
4. Suuntaventtiili, joka siirtää hydraulista voimaa oikeaan suuntaan ja tietyllä voimalla
5. Öljysäiliö
6. Suodattimet

Nämä komponentit on tarkoitus vaihtaa sähköiseksi tässä työssä.

3.3 Apuvoimasiirron historiaa

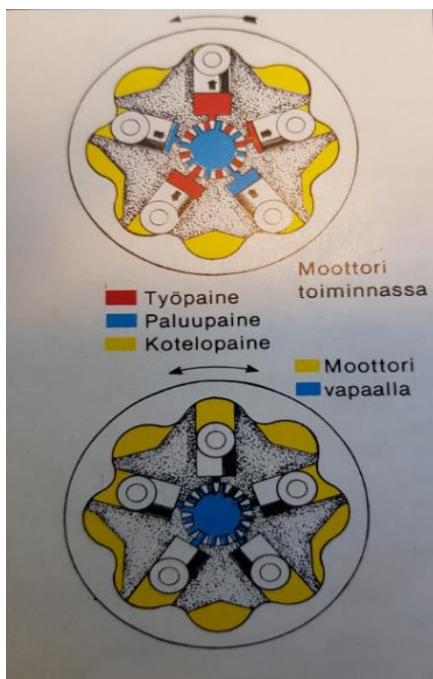
Metsäteollisuuden voimakas kasvu ja puun hinnan aleneminen lisäsivät tarvetta ajoneuvojen maastoliikkuvuuden parantamiseksi. Aluksi mietittiin mekaanisen voimansiirron rakentamista perävaunuun, mutta sen rakentaminen olisi ollut erittäin vaikeaa ja muutkin käyttökelpoisuutta rajoittavat asiat pakottivat Oy Suomen Autoteollisuus Ab:n (SAT) etsimään muunlaista ratkaisua. 50-luvun lopulla SAT:ssä insinööri Ilmari Louhio kehitti raskaan kaluston pyörännapaan soveltuvan nokkarengastyypinen radiaalimäntähydrauliikkamoottorin helpottamaan raskaan kaluston liikkumista huonoissa maasto-olosuhteissa. Ensimmäisiä kohteita moottoreiden käytölle olivat armeijan raskaat tykit, joiden vetäjinä toimivat hydrauliikkapumpuin ja venttiilein varustellut raskaat maastokuorma-autot. Käsite hydrostaattinen apuvoimansiirto ja SISU-nestemoottori olivat syntyneet (kuva 2). Suomen valtio katsoi tämän järjestelmän olevan niin ylivoimainen maastoliikkuvuuden kannalta tykistössä, että tässä käytetyt moottorit julistettiin sotasalaisuudeksi neljän vuoden ajaksi. Vasta vuoden 1963 lopussa moottorit vapautuivat pannasta ja Suomen Autoteollisuus sai luvan valmistaa niitä siviilikäyttöön. SAT kehitti puutavarakuorma-autoihin sopivan hydrostaattisen apuvoimansiirtojärjestelmän 1960-luvulla, kun he huomasivat, että yksinomaan vetoauton suuri hevosvoima määrä ja vetävien akselistojen runsaus ei riittänyt painavan perävaunun siirtämiseen metsäolosuhteissa, vaan tehoa tarvitaan myös perävaunun pyörissä. Heidän kokeissaan todettiin, että voimatarve oli tilapäistä koko ajotehtävän ajasta vain muutama prosentti. Lopuksi he päätyivät tekemään hydrauliikkajärjestelmän, joka käyttää vetävän puutavarakuorma-auton tai maataloustraktorin hydrauliikkaa ja yhdistää sen perävaunuun. Venttiileitten avulla apuvoimansiirto voidaan tarvittaessa aktivoida. Tämän etuina oli mm. ajosuunnan muutoksen helppous, sekä vetäjän ja perävaunun synkronoinnin yksinkertaisuus. [15]



Kuva 2. Sisun apuvoimansiirto ja sen komponentit:

1. Pumppu; 2. Pumpun, käytävä traktorin moottori; 3. Öljysäiliö; 4. Ilmansuodatin; 5. Paineensäätöventtiili; 6. Öljysuodatin; 7. Ajoventtiili; 8. Voimansiirtoletkut; 9 ja 10. Nestemoottorit; 11. Korkeapaineputket; 12. Ylivuoto öljyn paluuputki; 13. Mittari.

Jos apuvoimansiirtoa ei käytetä, moottorit on laitettava vapaalle. Vapaalle kytkettäessä yhdistetään jakoventtiilin molemmat virtaustiet säiliöön, jolloin sylinterit jäävät paineettomiksi. Männän toisella puolella moottorin koteloon järjestetään korkeampi paine, jolloin männät työntyvät keskiöön. Nokkarengas mahtuu tällöin pyörimään rullien koskettamatta sitä (kuva 3).



Kuva 3. Apuvoimansiirto vapaalla

3.4 Apuvoimansiirron nykypäivä

Apuvoimansiirtoa käytetään monissa eri työkoneissa, esim. leikkuupuimureissa tai perävaunuissa. Se soveltuu hyvin maatalous-, metsä- tai maansiirtotehtäviin. Useimmiten apuvoimansiirtoa nähdään työkohteissa, jossa tarvitaan hetkellisesti tai pidempi aikaista lisätehoa, jotta kuorma saataisiin liikkeelle. Sitä tarvitaan myös sellaisissa käyttökohteissa, joissa alusta on epätasainen, liukas tai siihen voi helposti kaivautua. Metsässä ja varsinkin hakkuualueella on paljon kantoja, liukasta ja pehmeää maastoa, joten apuvoimansiirtoa nähdään metsäperävaunuissa. Metsäperävaunut olivat ensimmäisiä käyttökohteita, joihin SAT alkoi 1960-luvulla kehittää apuvoimansiirtoa. Nykypäivänä apuvoimansiirrossa käytetään SISU-nestemootoreista edelleen kehitettyjä Black Bruinin hydraulisia napamootoreita, jotka on upotettu vanteen sisään (kuva 4).



Kuva 4. Black Bruin B200 series napamootori [16]

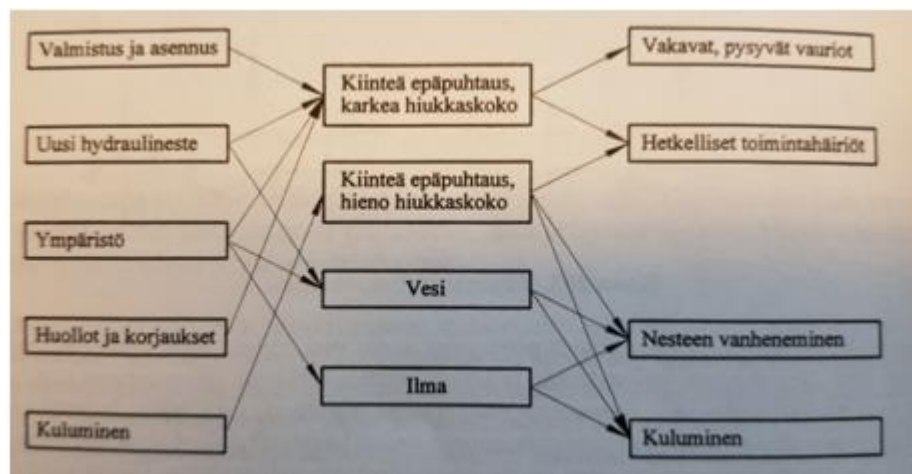
3.5 Apuvoimansiirron tulevaisuus

Kun ajoneuvoja ja varsinkin työajoneuvoja aletaan kehittää sähköiseksi, myös apuvoima muuttuu sähköllä toimivaksi, mutta tähän tarvitaan vielä akkujen ja sähkömootorien parannusta. Lyhyesti sähkökäytön lisääntyessä myös sähköinen apuvoimansiirto lisääntyy.

3.6 Hydrauliiikan perusteita

3.6.1 Hydrauliiikkajärjestelmät

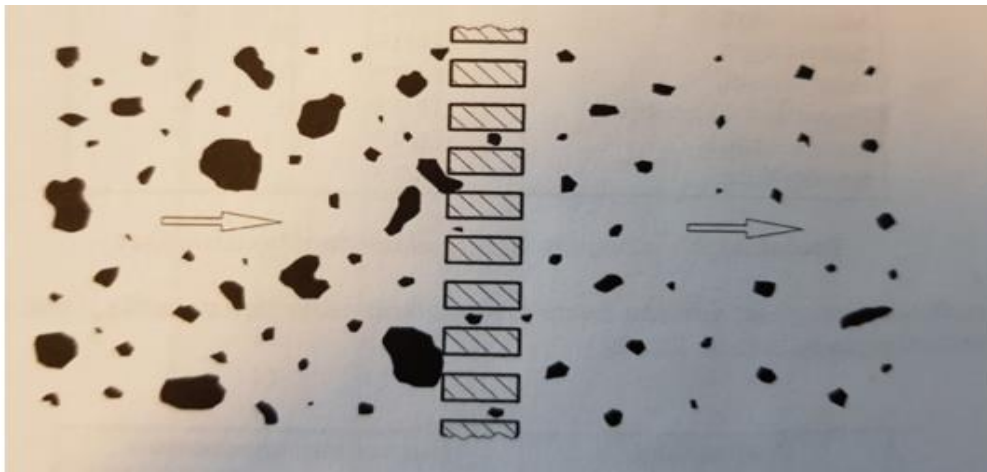
Hydrauliiikka tarkoittaa tehonsiirtoa nesteen, paineen ja virtauksen avulla [4]. Hydrauliiikan katsotaan kuuluvan fluidtekniikkaan. Fluidtekniikan osa-alueet ovat hydrauliiikka, hydrodynamiikka, pneumatiikka ja hydrostatiikka. Hydrauliiikkajärjestelmät ovat tehonsiirtoketjuja, joissa mekaanisesti tuotettu teho muutetaan hydrauliseksi tehoksi eli muutetaan tilavuusvirraksi ja paineeksi. Tämä nesteeseen sidottu teho puolestaan siirretään haluttuun kohteeseen ja muunnetaan sieltä takaisin mekaaniseksi tehoksi [9.] Hydrauliiikan käyttö lisääntyy sekä liikkuvassa kalustossa, että teollisuudessa elektroniikan ja ohjausjärjestelmien kehittymisen myötä. Tämä johtaa monimutkaisiin ohjausjärjestelmiin, joten suunnittelija ei tule toimeen pelkällä hydrauliiikalla, vaan hänen tulisi myös hallita ohjaustekniikkaa ja elektroniikkaa. [9; 7]



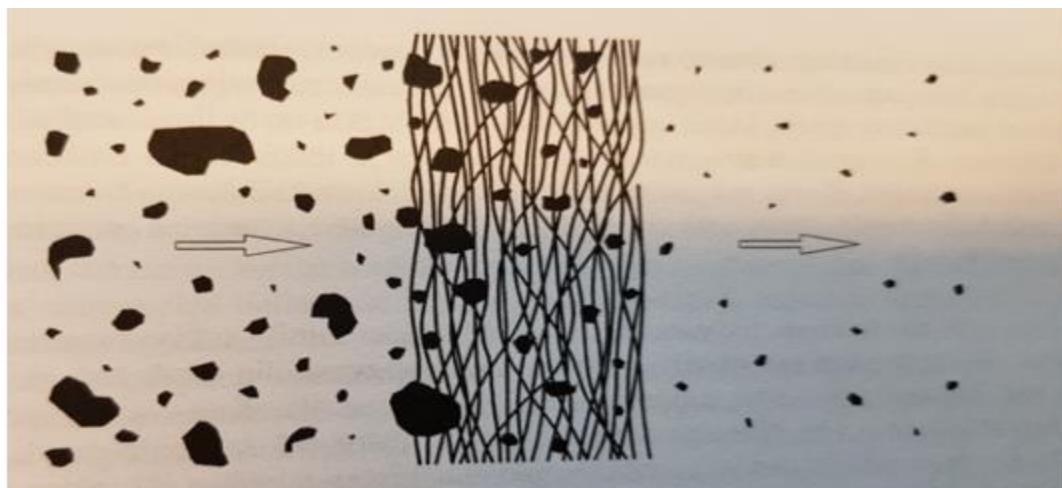
Kuva 5. Epäpuhtauslähteet, epäpuhtauslajit ja niiden seuraukset. [9]

Hydrauliiikassa tärkeintä on puhtaus. Noin 75% kaikista järjestelmissä ilmenevistä vioista johtuu nesteessä olevista epäpuhtauksista. Jos hydrauliiikkaneste on likaista, ei riitä pelkästään sen vaihto, koska järjestelmän pitäisi itse puhdistaa neste. Epäpuhtaudet voivat olla esim. kaasuja, nesteitä ja kiinteitä hiukkasia, jotka voivat olla joko hydrauliikkaneesteeseen liuenneita tai vapaita, kiinteitä aineita (kuva 5). Jokaista järjestelmään kuulumatonta aineosaa on pidettävä epäpuhtautena. Käytön aikana järjestelmään kulkeutuu epäpuhtauksia ympäristöstä useaa eri tietä, joista yleisemmät ovat sylinterin männänvarren

tiivisteet, säiliön huuhotin aukko sekä huollon tai korjauksen aikana avoimiksi ja suojaamattomiksi jätetyt huoltoluukut tai liitokset [9]. Tämän takia suodatus ja suodattimien vaihto on todella tärkeää hydraulikkajärjestelmissä. Suodattimet koostuvat suodatinpanoksesta, rungosta sekä erilaisista lisävarusteista. Varsinainen suodatus tapahtuu suodatinpanoksessa, jonka läpi neste kulkee ja johon epäpuhtaudet jäävät kiinni. Suodattimia on joko uudelleen puhdistettavia tai kertakäyttöisiä. Syväsuodatusperiaatteella (kuva 7) toimivat suodattimet ovat lähes poikkeuksetta kertakäyttöisiä, kun taas uudelleen käytettäviä suodatinpanoksia ovat eräät pintasuodatusperiaatteella (kuva 6) toimivat suodatinpanokset. [9;7]



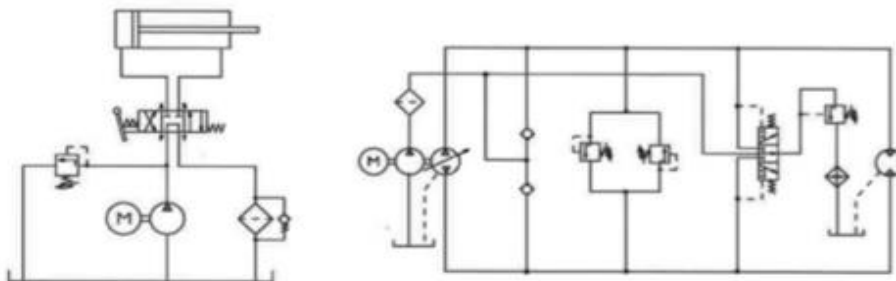
Kuva 6. Pintasuodatusperiaate [9].



Kuva 7. Syväsuodatusperiaate [9].

Hydrauliikkajärjestelmien etuja on, että saadaan aikaa suuria voimia ja momentteja. Hydrauliikkajärjestelmissä momentin, nopeuden ja voiman muuttaminen on helppoa. Teollisuudessa hydrauliikkaa sovelletaan esimerkiksi työstökoneissa, puristimissa, valsseissa ja paperikoneissa. Liikkuvassa kalustossa sitä käytetään esim. maatalous- ja maansiirtokoneissa, laivoissa, junissa, lentokoneissa ja kaivinkoneissa. Jokaisella sovelluskohteella on omat vaatimukset tehonsiirrolle sekä sen säädettävyydelle. Siksi käytettävät järjestelmäsuureet, paine ja tilavuusvirtaus vaihtelevat sovelluskohteittain. [9; 7]

Hydrauliikkajärjestelmät voidaan jakaa kahteen eri päätyyppiin, suljettuihin ja avoimiin järjestelmiin (kuva 8). Avoimet järjestelmät ovat tyypillisiä teollisuushydrauliikan järjestelmissä. Niille on ominaista suuri nestesäiliö, josta neste imetään järjestelmään ja johon se toimilaitteilta palaa. Järjestelmän pumppu pumppaa vain yhteen suuntaan, joten toimilaitteen liikesuuntaa ei voi ohjata pumpulla, vaan siihen käytetään venttiiliä. Avoimia järjestelmiä käytetään yleisimmin sylinterikäytössä, mutta myös moottorikäytöt ovat mahdollisia. Suljetut hydrauliikkajärjestelmät ovat tyypillisiä moottorikäyttöjen yhteydessä. Päinvastoin kuin avoimissa järjestelmissä, niissä ei ole suurta nestesäiliötä, vaan toimintalaitteilta palaava neste johdetaan takaisin pumpun imupuolelle. Tämänkaltaisissa järjestelmissä pumppuna on useimmiten kaksisuuntainen säätötilavuuspumppu, jotta pumppauksen suunnalla voidaan määrittää toimilaitteen liikesuunta ja liikenopeus. Jotta järjestelmään saataisiin jäähdytys ja vuodot minimoiduksi, tarvitaan järjestelmään pieni syöttöpumppu ja säiliö. Lisäksi on olemassa järjestelmiä, joissa on molempien edellä mainittujen järjestelmätyyppien ominaisuuksia, mutta niitä ei voida luokitella kuuluvaksi kumpaankaan kategoriaan. Tällaisia järjestelmiä kutsutaan ”puoliavoimiksi” järjestelmiksi. [9; 7]



Kuva 8. Avoin ja suljettu järjestelmä.

3.6.2 Hydraulikkamootorit

Mootorit muuntavat pumppujen tuottaman hydraulisen tehon takaisin mekaaniseksi. Teho saadaan pyörivänä liikkeenä, joka voi olla joko rajoitettu tai rajoittamaton [9]. Pumppujen ja moottorien rakenteeltaan samankaltaisuudesta huolimatta ne eivät yleensä ole täysin samalaisia komponentteja, vaan kummallekin ominaiset toimintavaatimukset johtavat eroihin sisäisen rakenteen yksityiskohdissa. Mootorit voidaan jakaa hammaspyörä-, siipi- ja mäntärakenteisiin niiden rakenteen perusteella. Hydraulikkamootorit toimivat syrjäytysperiaatteella kuten pumputkin, mutta toiminta on käänteinen.

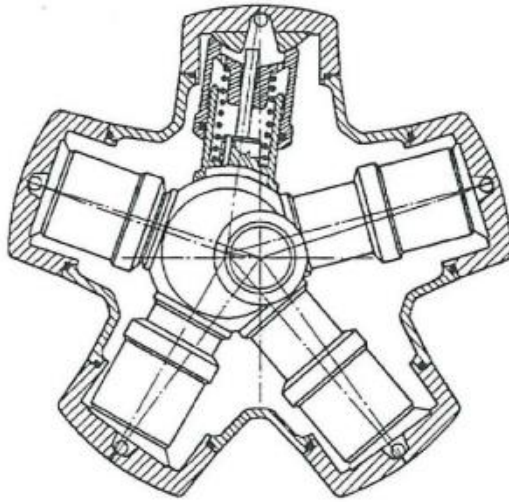
Mootorit jaetaan kolmeen nopeusalueeseen:

- Hidaskäyntiset 1–150 r/min.
- Keskinopeat 10–750 r/min.
- Nopeakäyntiset 300–5000 r/min.

Mootorit eivät kuitenkaan aina noudata esitettyä jakoa, vaan monet moottorit kattavat useita nopeusalueita. Hidaskäyntisten moottorien käyntiominaisuudet ovat hyvät koko nopeusalueella. Tämä johtuu syrjäystilavuuden tasaisuudesta, hyvästä laakeroinnista ja vuotojen pienuudesta. Tämän vuoksi alhaisilla pyörimisnopeuksilla on korkea mekaaninen hyötysuhde. Nopea ja keskinopea moottorien käyntiominaisuudet ovat yleensä korkeimmillaan nopeusalueen keski- ja yläosissa. [9]

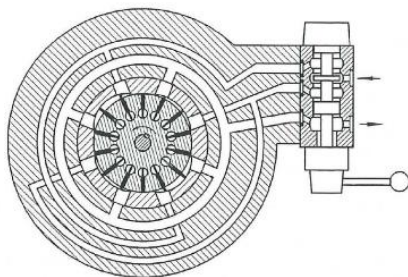
Radiaalimäntämootoreista (kuva 9) hidaskäyntisiin kuuluvat ulkoisin virtauskanavin varustetut moottorit sekä sisäisin virtauskanavin varustetuista ne moottorit, joissa kukin syrjäytyselin tekee useita iskuja yhtä akselin kierrosta kohti [9]. Ulkoisin virtauskanavin varustetut moottorit ovat vakiotilavuuksisia. Tilavuusvirtoja ohjataan akselin mukana pyörivän jakolevyn avulla. [9]

Kun moottorin tuloliitäntä paineistetaan, neste ohjautuu jakolevyn kautta sylinteriin. Tällöin mäntää kohdistuva paine saa aikaa voiman, joka välittyy moottorin akselilla olevalla epäkeskolle ja muodostaa moottoria pyörittävän momentin. Moottorin pyöriessä jakolevy kytkee kunkin sylinterin, joita on yhteensä 5-7 kpl, vuorotellen tulo- ja lähtöliitäntöihin, jolloin saadaan jatkuva pyörimisliike [9]. Sylinteri määrä sen onko kaksi vai kolme sylinteriä kerrallaan toiminnassa.



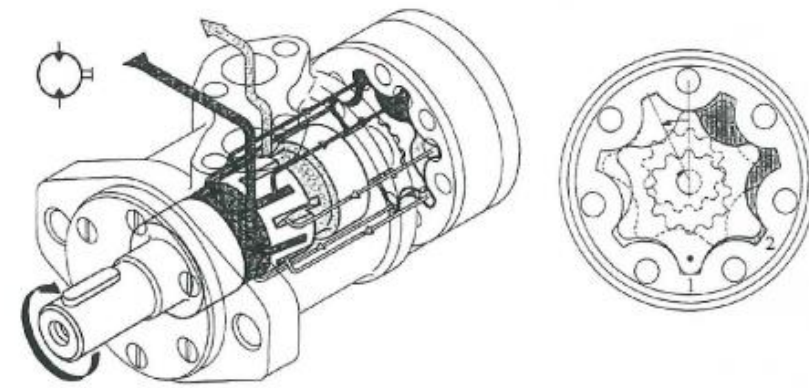
Kuva 9. Radiaalimäntämoottori

Hidaskäyntiset siipimoottorit (kuva 10) ovat rakenteeltaan samankaltaisia kuten vakiotilavuuksinen ja monikammioinen pumppu. Pyörivä roottori on sijoitettu kehärenkaaseen eli staattoriin. Moottorin kammiot muodostavat staattorilla olevan ratakäyrän. Päinvastoin kuin pumpuissa, moottoreissa käytetään vähintään kolmea kammiota [9]. Koska moottorin kammiot sijaitsevat tasasin välein roottorin ympärillä, paineesta aiheutuvat radiaalivoimat kumoavat toisensa, joten laakereihin kohdistuva voima on nolla.



Kuva 10. Siipimoottori

Sisäryntöisiin hammaspyörämootoreihin kuuluva orbitaalimootorin (kuva 11) syrjäytysperiaate eroaa muista hammaspyörärakenteisista, eikä sillä ole vastinetta pumpuissa [9]. Rakenne muodostuu roottorista ja sisähammastetusta staattorikehästä, joka kiertyy pitkin staattorin pintaan, jolloin roottorin keskipiste kulkee rataa pitkin staattorin ympäri. Moottorin staattorissa on seitsemän nokkaa ja roottorissa kuusi. Kun moottori paineistetaan, akselilla oleva jakokara ohjaa nesteen ulko- ja sisäpyörän välisiin tiloihin [9]. Roottoriin kohdistuessaan paine saa tällöin aikaan voiman, joka muodostaa moottoria pyörittävän momentin.



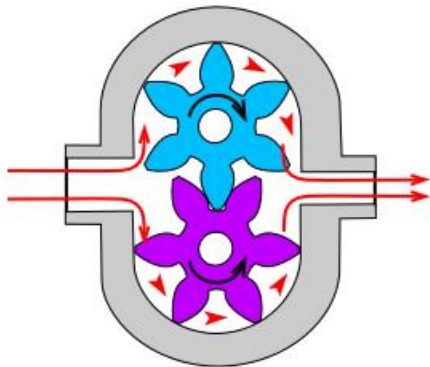
Kuva 11. Orbitaalimoottori

3.6.3 Hydraulikkapumput

Pumpuilla muutetaan toimilaitteen moottorilla tekemä mekaaninen teho hydrauliseksi. Mekaaninen teho on yleensä pyörivän liikkeen muodossa, sillä tehonlähteenä yleensä käytetään joko sähkö- tai polttomoottoria [9]. Rakeenteellisesti pumppu voidaan toteuttaa monin eri tavoin, mutta käytännössä valmistettavat pumput voidaan lähes poikkeuksetta luokitella johonkin seuraavista ryhmistä: hammaspyöräpumppuihin, ruuvipumppuihin, siipipumppuihin ja mäntäpumppuihin [9]. Pumput voidaan jakaa toimintaperiaatteensa mukaan hydrostaattisiin ja hydrodynaamisiin pumppuihin. Toimintaperiaate on kaikissa pumpuissa sama. Neste suljetaan pumppujen sisällä kammioihin, jotka avataan vuorotellen imu- ja paineliitännöihin. Erilaisten rakenteiden avulla saavutetaan erilaisia ominaisuuksia esim. käyttöpaineen, hyötysuhteen ja säädettävyyden osalta.

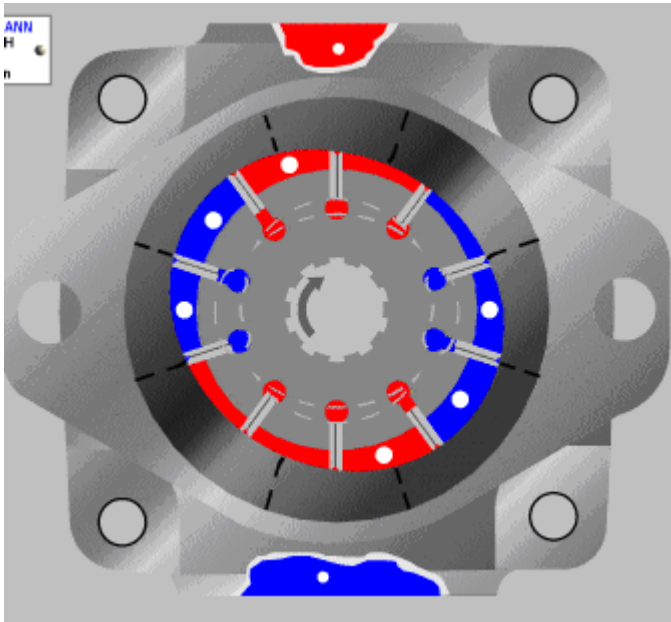
Toimintaperiaatteelta hydraulikkapumput toimivat syrjäytysperiaatteella, jolla tarkoitetaan pumpun kammioiden koon jaksottaista vaihtelua [9]. Imujaksossa kammion tilavuus kasvaa, jonka seurauksena paine kammiossa laskee. Samanaikaisesti kammiota on yhteydessä pumpun imuliitännään, jossa paine on korkeampi kuin laajentuvassa kammiossa, joten neste virtaa kammioon ja tasaa paineen. Syrjäytysperiaatteella toimivat pumput eivät kohota nesteen painetta, vaan siirtävät nestettä imuliitännästä paineliitännään. Järjestelmään syntyy paine vasta silloin, kun pumpun tuottamaa virtausta vastustetaan. Vastuksen aiheuttajana voi olla, vaikka kuristus tai kuormitettava sylinteri. Lisäksi paineen muodostumiseen vaikuttaa järjestelmän sisäiset kuormitukset eli kitka- ja kertavastukset.

Hammaspyöräpumput (kuva 12) ovat vakio-tilavuuspumppuja, jota käytetään ajoneuvohydrauliikassa ja teollisuuden eri aloilla. Hammaspyörästä pyörä on vapaasti pyörivä (käytetty pyörä) ja toinen pyörä on kytketty käyttömootorin akselille (käyttävä pyörä). Pyörimissuunta on vastakkainen käyttävään pyörään, jolloin syntyy imuvaikutus ja hammaslovet täyttyvät hydraulikkaneesteellä. [9;7]



Kuva 12. Hammaspyöräpumppu

Siipipumput (kuva 13) voivat olla joko vakio- tai säätötilavuuspumppuja. Matala paineissa hydraulikkajärjestelmissä siipipumppuja käytetään paljon. Rakenteensa perusteella siipipumput voidaan luokitella joko pumppuihin, joiden siivet on sijoitettu pyörivään roottoriin tai pumppuihin, joiden siivet on sijoitettu liikkumattomaan staattoriin. Siipipumppuissa roottorissa olevan siipi kulkee soikion muotoista kammion kehää pitkin. Kammion ja roottorin välinen tilavuus pienenee, joka aiheuttaa nesteen paineen nousun [2]. [9;7;5]

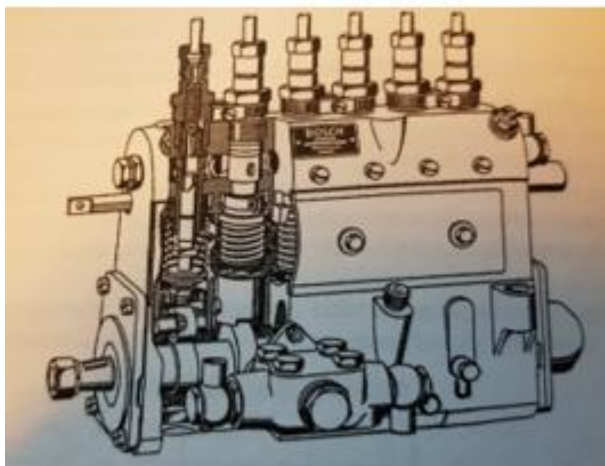


Kuva 13. Siipipumppu. [5]

Mäntäpumput ovat joko vakio- tai säätötilavuuspumppuja, jotka voidaan luokitella mäntien perusteella seuraavasti:

1. Rivimäntäpumput (kuva 14):

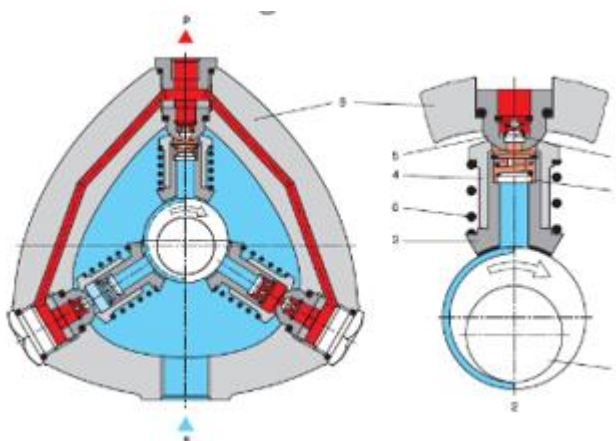
Rivimäntäpumppuissa sylinterit on sijoitettu vierekkäin kohtisuoraan käyttöakseliin nähden.



Kuva 14 Rivimäntäpumppu. [9]

1. Radiaalimäntäpumput (kuva 15):

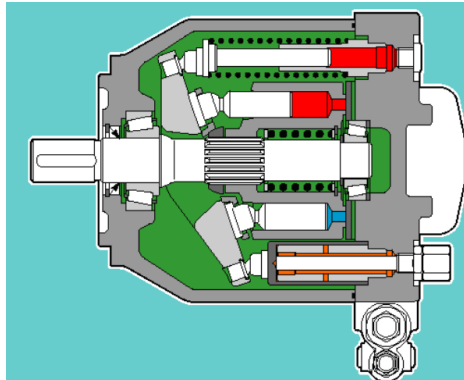
Radiaalimäntäpumppuissa sylinterit sijaitsevat tähtimuodossa kohtisuoraan käyttöakseliin nähden.



Kuva 15. Radiaalimäntäpumppu. [5]

2. Aksiaalimäntäpumput (kuva 16):

Aksiaalimäntäpumppuissa sylinterit on sijoitettu käyttöakselin suuntaisesti.



Kuva 16. Aksiaalimäntäpumppu. [5]

Mäntien paikka määrää, onko pumppu radiaali-, rivi- tai aksiaalimäntäpumppu. Mäntäpumppuja käytetään korkeaa painetta vaativissa hydraulikkajärjestelmissä. Neste siirretään imuliitännästä paineliitännään syrjäytyselimen eli männän edestakaisen liikkeen avulla. Mäntäpumppuissa tilavuusvirran ohjaukseen tarvitaan erillinen ohjausjärjestelmä: paineohjaus eli venttiiliohjaus tai mekaaninen pakko-ohjaus eli ohjaus jakolevyin tai karo-in.

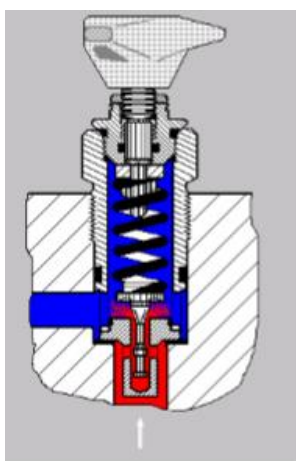
3.6.4 Hydraulikkaventtiilit

Hydraulikkajärjestelmissä venttiileiden tehtävä on säätää painetta, ohjata tilavuusvirran suuruutta ja sen suuntaa. Paineen säädöllä vaikutetaan toimilaitteista saataviin momentteihin ja voimiin. Tilavuusvirran säädöillä vaikutetaan toimilaitteisten liikenopeuksiin ja tilavuusvirran suunnan ohjaukseen, joka vaikuttaa liikesuuntiin. Näiden käyttö tarkoitusten avulla venttiilit voidaan ryhmitellä paine-, virtavastus- ja suuntaventtiileihin. Näiden toisistaan eroavien ryhmien lisäksi oman ryhmänsä muodostavat proportionaali-, servo-, sekä patruunaventtiilit, joita voidaan käyttää edellä mainittuihin käyttötarkoituksiin. Venttiilin toiminnan määräävän suihkukappaleen eli karan rakenteen perusteella venttiilit voidaan jakaa luistinrakenteisiin ja istukkarakenteisiin. [9;7;5]

Paineventtiileitä (kuva 17) käytetään sekä järjestelmän paineen säätöön, että järjestelmän toiminnan ohjaamiseen [9]. Paineen säädöllä vaikutetaan toimintalaitteelta saataisiin voimiin ja momentteihin. Toiminnan ohjauksella taas säädetään esim. pumpun saattamista vapaakierrolle tai toimilaitteiden liikejärjestyksien määräämistä. Eräs paineventtiilien tärkeä tehtävä on suojata järjestelmää ja sen komponentteja ylipaineelta ja ylikuormitukselta [3]. Rakenteeltaan paineventtiilit ovat joko istukka- tai luistintyyppisiä. Istukkarakenteen etuna on sen vuodottomuus ja nopea toiminta. Luistinrakenteella taas saadaan tarkempi paineen säätö ja stabiilimpi toiminta kuin istukkarakenteella.

Paineventtiilit voidaan ryhmitellä seuraavasti:

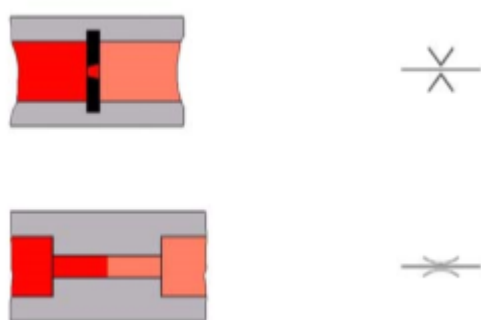
1. Paineenrajoitusventtiilit, joiden tyypillisiä tehtäviä on ylikuormitussuojana toimiminen, järjestelmän maksimipaineen määrittäminen ja pumpun kytkeminen tarvittaessa vapaakierrolle. [5]
2. Paineenalennusventtiilit, jotka poikkeavat paineenrajoitusventtiilistä siten, että ne alentavat tulevan paineen haluttuun arvoon ja pitävät sen vakiona riippumatta tulevan paineen vaihtelusta. [5]
3. Paineenohjausventtiilit, jotka ovat muunnelmia paineenrajoitusventtiileistä tai paineenalennusventtiileistä, jotka soveltuvat hieman eri tarkoituksiin esim. sekvenssiventtiileiksi tai kuormalaskuventtiileiksi. [5]



Kuva 17. Paineventtiili. [5]

Virtavastusventtiilien tehtävä on tilavuusvirran säätäminen ja samalla myös liike- ja pyörimisnopeuden säätäminen [5]. Virtaventtiilit voidaan ryhmitellä: virtavastusventtiilit, virtasäätöventtiilit ja virranjakoventtiilit.

Virtavastusventtiilien (kuva 18) tehtävänä on vaikuttaa tilavuusvirran suuruuteen ja siten myös toimilaitteiden liikenopeuksiin. Rakenteeltaan virtavastusventtiilit ovat kuristuksia, joiden läpäisemän tilavuusvirran suuruus riippuu sisäisen ominaisuuksien lisäksi myös venttiiliin nähden ulkoisista tekijöistä eli kuristuksen yli vaikuttavasta paine-erosta sekä nesteen ominaisuuksista.



Kuva 18 Virtavastusventtiili. [5]

Kuten vastusventtiileillä myös virransäätöventtiileillä vaikutetaan tilavuusvirtojen suuruuteen ja siten toimilaitteiden liikenopeuksiin. Virransäätöventtiilit kuitenkin poikkeavat vastusventtiileistä siinä, että niillä saadaan aikaa kuormituksen ja paineen vaihteluista riippumaton toimilaitteen liikenopeus. Virransäätöventtiileissä käytetään lisäksi painekompensoattoria, jolla säätökuristimen yli vaikuttava paine-ero saadaan pysymään vakiona. Näin kuorman koolla ei ole enää vaikutusta liikenopeuteen.

Virranjakoventtiilit jakavat venttiilille tulevan virtauksen kahteen vakiosuhteiseen lähtövirtaukseen riippumatta tulovirtauksen suuruudesta ja venttiilin liitännöissä valitsevista paineista. Tavallisimmin jakosuhte on 1:1 eli lähtövirtaukset ovat yhtä suuria, mutta myös muut jakosuhteet ovat mahdollisia.

Virranjakoventtiilit voidaan toimintansa perustella jakaa kolmeen ryhmään:

1. yksitoimiset venttiilit, jotka läpäisevät virtauksen vain toiseen eli säätösuuntaan; vastakkaissuuntainen virtaus ei ole mahdollinen
2. yksitoimiset venttiilit, jotka säätävät virtauksen toisessa suunnassa; vastakkaiseen suuntaan virtaus läpäisee venttiilin kuristuksetta rakenteessa olevien vastaventtiileillä varustettujen ohivirtauskanavien kautta
3. kaksitoimiset venttiilit, jotka säätävät virtauksen sekä jakosuunnassa että yhdistyssuunnassa.

3.6.5 Hydraulikkaletkut ja -putket

Pumpun avulla synnytetty tilavuusvirta siirretään putkien ja letkujen avulla haluttuun paikkaan. Letkujen avulla on mahdollista siirtää tilavuusvirta helposti liikkuviin osiin. Tämä on yksi hydraulikan eduista mekaaniseen tehonsiirtoon nähden [4]. Hydraulisen tehonsiirtoon tarkoitettujen putkiston on kestävä korkeita paineita. Lisäksi putkiston läpimitta on oltava tarpeeksi suuri, että se pystyy siirtämään tarvittavan nestemäärän ilman suuria häviöitä. Letkujen on myös kestävä ulkoisia rasituksia, kuten mekaanista kuormitusta ja hankausta. Hydraulikkaletkut toimivat hydraulikkajärjestelmissä joustavina putkiston osina, hydraulikkaletkut vaimentavat järjestelmässä mahdollisesti esiintyvät paineiskut. Letkut jaetaan viiteen eri ryhmään: normitetut, termoplastiset, teflon-, metalli- ja muut letkut. Hydraulikkaletkun rakenteessa on kolme tai useampia kerroksia [2].

4 Työn toteutus

Työn tavoitteena on tehdä esitutkimus Lai-Mun monitoimikoneen hydrostaattisen apuvoimansiirron muuttamisesta sähköiseksi. Tehtävänä on löytää sopivat sähkökomponentit ja tehdä niistä hinta-arvio. Jos hinta on sopiva myydään komponentit eteenpäin. Työ tehdään yritykselle Nestepaine, joka tekee yhteistyötä Lai-Mun kanssa. Suunnitelmana oli, että sähkökomponenttien toimittaja antaisi tarvittavat tiedot heidän tuotteista, jotta saataisiin hyvä kokonaiskuva, mitkä komponentit olisivat parhaimmat tehtävään. Tuotokuvausten ja hinta-arvion saavuttua olisi Lai-Mun kanssa alettu suunnitella niiden asennusprosessia.

4.1 Sähkökomponenttien etsiminen

Työssä ensimmäiseksi etsittiin sopivat sähkökomponentit, jotka toimisivat noin. 24-48 jännitteellä. Näitä komponentteja etsittiin eri nettisivuilta ympäri maailmaa, mutta moottoreita, joka täyttäisi käyttöjännitteeltään sopivat vaatimukset, on harvassa. Joitain käyttöjännitteeltään sopivia napamoottoreita löytyi ”www.made-in-china.com” -nettisivulta, mutta nämä komponentit eivät toteuttaneet muita vaatimuksia. Nettisivulta löydetyistä napamoottoreista oli tarkoitettu mopuille taikka muihin toimikoneisiin, jotka eivät täyttäneet haluttuja raja-arvoja. Työhön löydettiin sopiva sähköinen napamoottori, jonka toimittaa Elaphe. Tärkeää oli myös, että moottori ei olisi liian tehokas, jotta nelivetoa käytettäessä takarenkaat eivät ala sutia.

Tarkoituksena oli, että Elaphe toimittaisi kaikki sähköjärjestelmään tarvittavat komponentit. Elaphe on vuonna 2003 perustettu yritys, joka valmistaa sähköisiä napamoottoreita ja moottoreiden ohjaimia [17]. Elaphe:n kanssa voi myös aloittaa erilaisia projekteja, mitä tässäkin työssä aloitettiin. Elaphe:lle laitettiin sähköpostia työstä ja heiltä saatiin vastaus, missä he halusivat, että täytämme teknillisen lomakkeen (Taulukko 1), jonka jälkeen he osaisivat kertoa, mitä komponentteja tarvitsemme ja mihin hintaan he pystyvät ne tarjoamaan.

Tietoja mitä Elaphe.n halusi projektiin

Taulukko 1

B PROJECT BASIC DATA		
1.	<p>Vision and goals of the project (<i>idea, technical goals, marketing and vehicle/project presentations planned</i>)</p>	Our goal is to change forklifts hydraulic auxiliary power transmission to electrical.
2.	<p>Type of planned activity (<i>bottom up development of new vehicle, conversion of existing vehicle, custom development of propulsion system or similar activities</i>)</p>	We would like to replace the auxiliary power transmission to be independent of the hydraulic system.
3.	<p>What is the benefit for you in using in-wheel-electric-propulsion instead of central-motor-solution? (<i>i.e. modularity, space, efficiency, weight savings, etc....</i>)</p>	We need to use wheel motors inside the steering wheels to get the maximum ground clearance and steering angle. Axles are not possible to use.

For the evaluation of different parameters of an in-wheel motor, please estimate the:	
a) Importance of energy efficiency compared to weight and space limitations (<i>i.e.: 1% higher efficiency is more important than 1 kg of motor weight saving...</i>)	<input type="checkbox"/> crucial <input checked="" type="checkbox"/> higher <input type="checkbox"/> medium <input type="checkbox"/> lower <input type="checkbox"/> less important Explanation:
b) Importance of cost	<input type="checkbox"/> crucial <input type="checkbox"/> higher <input checked="" type="checkbox"/> medium <input type="checkbox"/> lower <input type="checkbox"/> less important Explanation:
c) How important is the fit of an in-wheel motor with the preliminary defined space available for integration (<i>i.e.: predefined space – no flexibility; some flexibility possible; full flexibility</i>)	<input type="checkbox"/> crucial <input checked="" type="checkbox"/> higher <input type="checkbox"/> medium <input type="checkbox"/> lower <input type="checkbox"/> less important Explanation:
d) Importance of additional features (<i>such as traction control, torque vectoring, stability control, anti-lock regenerative braking system, infotainment interface, etc.</i>)	<input type="checkbox"/> crucial <input type="checkbox"/> higher <input checked="" type="checkbox"/> medium <input type="checkbox"/> lower <input type="checkbox"/> less important Explanation:
e) Importance of NVH factors during operation (project-scope)	<input type="checkbox"/> crucial <input type="checkbox"/> higher <input checked="" type="checkbox"/> medium <input type="checkbox"/> lower <input type="checkbox"/> less important Explanation:

C	VEHICLE DATA <i>(required for calculating vehicle performance requirements: torque, power and energy demand)</i>	
1.	Vehicle type and model	forklift
2.	Type of drivetrain <i>(2WD or 4WD/AWD)</i>	2WD by hydrostatic transmission 4WD with electric motors
3.	Expected number of in-wheel motors	2
4.	Total mass	FULL: 2800 kg (steering wheels 1200 kg) EMPTY:1350 kg (550 kg)
5.	Vehicle dimensions or front surface area	not needed
6.	Air drag coefficient	not needed, max speed 30 km/h
7.	Rotational resistance coefficient	0,03...0,20 depending of surface, asphalt, sand, mud and snow
8.	Rim size in inches	17"
9.	Outer diameter of the tire	60cm
1	Expected acceleration 0.	no mening
1	Expected top speed 1.	30 km/h
1	Expected cornering ability force or a_{max} expected vehicle lateral acceleration <i>(in "m/s²" or "0.Xg")</i>	
1	Expected braking torque on powered 3wheels (in Nm) or general braking requirements (incl. emergency braking without regeneration, parking brake needs).	
1	Hill-climbing ability (in %) 4.	PEAK: CONTINUOUS: HILL-START:
1	Peak hill climbing time limitation 5 <i>(in "Nm" for "XX" seconds/minutes)</i>	
1	Operating conditions 3 <i>(explain the typical usage of the vehicle and driving cycle, mark multiple options if needed)</i>	<input type="checkbox"/> 20-40C <input checked="" type="checkbox"/> 0-20C <input checked="" type="checkbox"/> -20-0C <input type="checkbox"/> dry <input checked="" type="checkbox"/> wet <input checked="" type="checkbox"/> ice/snow <input type="checkbox"/> asphalt (mostly on-road) <input checked="" type="checkbox"/> gravel/mud/sand (mostly off-road) <input type="checkbox"/> urban cycle <input type="checkbox"/> extra urban cycle <input type="checkbox"/> mixed cycle <input checked="" type="checkbox"/> special cycle Explanation:
1	Transmission	direct auxiliary drive

D ENERGY SOURCE AND ELECTRONICS DATA		
1.	DC bus voltage	if you could provide us battery with 48v.
2.	Controller / inverter data <i>(if not provided by Elaphe)</i>	-
3.	Rotation position data required <i>(if not provided by Elaphe)</i>	-
4.	Preferred connector type	
5.	Cooling system preferred <i>(if not provided by Elaphe)</i>	-no cooling
6.	Multiple motor control unit (PCU) required (Y/N)	
7.	Functional requirements <i>(Torque vectoring, slip control, ARBS, Connected Car module, condition monitoring, choice of driving mode, other)</i>	In auxiliary transmission 400 Nm/ wheel seems to be enough. It means 22% traction force in steering wheels in fully loaded 1200 kg. If the wheel motors could load the batteries while the system is not used when driving only 2WD by hydraulically can be a benefit.

Näiden tietojen perusteella Elaphe:n tekee hinta-arvion heidän sähkökomponenteista.

4.2 Sähkö napamoottori S400

Sopivaksi napamoottoriksi löytyi S400 (kuva 19), josta tehtiin hintakysely Elaphe:lle. S400 täytti vaatimukset kokonsa, vääntömomentin ja tarvittavan jännitetason puolesta. Moottori on suunniteltu sähkö- ja hybridi ajoneuvoille. Moottoria käytetään kevyessä tai keskitason kuormituksessa ja moottoriin pystytään integroimaan normaali levy- tai rum-pujarrulla. Tätä moottoria saa myös 100V jännitteellä, mutta se on tähän työhön liian tehokas ja tarvitsee liian ison akun.



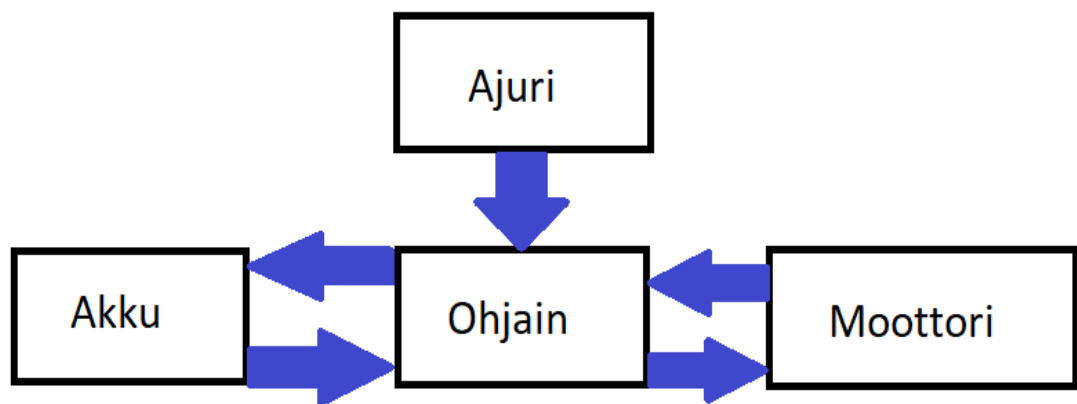
Kuva 19. Napamoottori S400

Moottorin S400 teknisiä tietoja [13].

Paino	17.6 kg
Maksimimomentti	400Nm
Maksiminopeus	750 rpm
Maksimiteho	19.5 kW
Jatkuvateho	11 kW
Volttimäärä	48 V
Nestejäähdytys	

4.3 Tarvittavat komponentit sähköiseen apuvoimansiirtoon

Sähköiseen apuvoimansiirtoon tarvittavat komponentit ovat akku, moottorinohjain, napamoottori ja ajuri. Ohjaamosta käsin kuski käyttää ajuria, joka käskee ohjainta laittamaan moottorin käyntiin, ja näin saadaan järjestelmä päälle. Kun ajuri käskee sähköisen apuvoimansiirron pois päältä, moottori alkaa siirtää jarrutus energian akkuun, joten jarruttaessa akku latautuu. Akku lopettaa latauksen täynnä ollessaan ja tätä säätelee ohjain (Kuva 20). Nämä komponentit olisi toimittanut Elaphe, ja niiden asennuksen tekisivät Lai-Mun työntekijät.



Kuva 20. Sähköjärjestelmä.

5 Tulokset

Työn tuloksena löydettiin sopivat komponentit ja helpon tavan vaihtaa apuvoimansiirto sähköiseksi ilman, että monitoimikoneeseen tarvitsisi tehdä suuria muutoksia rakenteellisesti tai hydraulisesti. Testausta tässä työssä ei voinut tehdä, sillä Elaphe:n tarjoamat osat prototyyppiin olisivat olleet kolme kertaa kalliimmat kuin nykyinen hydrostaattinen apuvoimansiirto, joten työtä ei voitu jatkaa sen pidemmälle ilman suuria kuluja. Sarja käytössä sähkökomponenttien hinta on vain kolmas osa prototyypin hinnasta, joten silloin se on hinta tasoltaan kilpailu kykyinen. Covid-19 tilanteen takia työn aikana ei päästy käymään Lai-Mu:n tehtaalla eikä Elaphe: nilla, jonka takia työ jäi kesken.

Työ hydraulisen apuvoimansiirron muuttamiseksi sähköiseen apuvoimansiirtoon olisi tapahtunut vaihtamalla kaikki hydrostaattisessa apuvoimansiirrosta tarvittavat komponentit sähköisiksi. Sähköisestä apuvoimansiirrosta olisi tullut erillinen järjestelmä. Tähän muutokseen olisi tarvittu ainoastaan tilan löytäminen napamoottoreiden akuille.

Sähköisen apuvoimansiirron vaatimuksina oli löytää sähkökomponentit, joilla voidaan korvata hydraulikka ja suunnitella järjestelmä, joka on riippumaton hydraulikkasta. Tämänkaltaisen järjestelmän voitaisiin asentaa laitteisiin, joissa ei ole yhtään hydraulikkaa, esim. mönkijöihin tai veneperäkärriihin.

Elaphe:n suosittelema moottori:

Elaphe:n mielestä projektiin sopisi paremmin M700 (kuva 21) moottori, joka on suunniteltu toimivan 300V, mutta he pystyisivät muuttamaan sen toimimaan 100V. Elaphe:n ei kykene muuttamaan moottoria toimimaan 48V, koska heillä ei ollut tarpeeksi tietoa, kykenevätkö ilmajäähdyttimet toimimaan oikein tässä volttimäärässä. Tämä muutos hidastaisi moottoria, mutta sillä ei ole merkitystä apuvoimansiirrosta, jonka tavoitteena on lisätä pitoa ja tehoa toimilaitteelle. Elaphe:n toimittaisi myös moottoria vastaavan ohjaimen ja käyttövoimaohjausyksikön. Akkua yritys ei toimittaisi vaan antaisi raja-arvot, mitkä tarvittaisiin akulta. Lisäksi he neuvoisivat, mistä voisi sopivan akun ostaa.



Kuva 21. Napamoottori M700

Moottorin M700 teknillisiä tietoja:

Paino	23 kg
Maksimimomentti	700Nm
Maksiminopeus	1500rpm
Maksimiteho	75 kW
Jatkuvateho	50kW
Volttimäärä	100 V
Nestejäähdytys	
[13].	

6 Yhteenveto

Työssä onnistuttiin löytämään tarvittavat komponentit hydraulisen apuvoimansiirron muuttamiselle sähköiseksi, mutta COVID-19 tilanteen takia osia ei tilattu taikka testattu. Työssä päästiin tutustumaan apuvoimansiirtoon ja saatiin osaamista sen hydraulikasta ja sähkötoiminnoista. Tämä projekti oli uniikki, ja sillä päästiin tutustumaan erilaisiin sähkökomponentteihin. Työssä päästiin työskentelemään useiden eri yritysten kanssa ja vähän tutustumaan heidän käytäntöihinsä ja tuotteisiin.

Tässä työssä käytiin läpi, mitä on ja mihin käyttötarkoituksiin apuvoimansiirtoa tarvitaan. Apuvoiman historiaa, nykypäivää ja tulevaisuutta tuli tutkittua ja sen kautta saadaan ymmärrystä sen monista hyödyistä. Työn alussa tutustuttiin Nestepaine yritykseen, jossa insinööriyö tehtiin ja Lai-Mu yritykseen, jonka monitoimikoneeseen apuvoimansiirron vaihtaminen oltaisi tehty. Lisäksi katsottiin monitoimikoneen teknillisiä tietoja ja sen käyttökohteita. COVID-19 tilanteen takia tietojen saanti erityisesti Elaphenilta oli hidasta, haastavaa ja käyntiä yrityksiin ei voinut tehdä.

Työssä oppimisen kannalta keskeisiä asioita oli uusiin komponentteihin tutustuminen vie aikaa ja sitä kannattaa siihen varata. Tämä auttaa paljon kun, lähdetään etsimään sopivia komponentteja. On tärkeää tiedostaa tarkat raja-arvot, jotta voidaan heti karsia suurin osa tarpeettomista komponenteista. Työssä tutkittiin hydraulikka- ja sähkökomponentteja, joten ne tulivat työn ohella tutuiksi.

Tutkimuksen tuloksena voidaan todeta, että hydrostaattinen apuvoimansiirto on mahdollista muuttaa sähköiseksi, mutta komponenttien korkean hinnan vuoksi tätä loppu tuotetta olisi todella vaikea myydä eteenpäin. Jos komponenttien hinnat laskisivat, idea voisi toimia muihinkin laitteisiin kuin kyseiseen monitoimikoneeseen esim. veneenperäkärrihin.

Sähkömoottori S400 vetovoiman laskukaavat:

$$M/r=F \quad F \times 2 / (m \times G) \times 100 = K$$

M = Moottorin vääntömomentti.

r = Renkaan säde.

m = Akselinpaino.

K = Prosentuaalinen vetovoima akselinpainosta.

G = Painovoima.

F = Vetovoima.

$$400\text{Nm} / 0.31\text{m} = 1290\text{N}$$

$$1290\text{N} \times 2 / (1200\text{kg} \times 9.81) \times 100 = 22\%$$

Sähkömoottorin M700 vetovoiman laskukaavat:

$$700\text{Nm} / 0.31 = 2260\text{N}$$

$$2260\text{N} \times 2 / (1200\text{kg} \times 9.81) \times 100 = 38\%$$

Lähteet

1. Käyttäjän käsikirja LM Trac. Verkkoaineisto. Oy Lai-Mu AB. <http://www.laimu.fi/wp-content/uploads/2013/04/KK_LM286_FIN_15012013_web.pdf>. Luettu 3.4.2020.
2. LM TRAC 286. Verkkoaineisto. Oy Lai-Mu AB. <<http://laimu.fi/monitoimikooneet/lm-trac-286/>>. Luettu 9.4.2020.
3. Black Bruin hydraulinen napaveto (on-demand). Verkkoaineisto. <https://www.blackbruin.com/media/Black_Bruin_Hydraulic_Motors_On-Demand_Wheel_Drives_FI_C.pdf>. Luettu 16.4.2020.
4. Lappeenrannan teknillinen yliopisto Konetekniikan osasto Mekatroniikan ja virtuaalisuunnittelun laboratorio. Verkkoaineisto. <<https://docplayer.fi/9052001-Hydraulitekniikka-lappeenrannan-teknillinen-yliopisto-konetekniikan-osasto-mekatroniikan-ja-virtuaalisuunnittelun-laboratorio.html>>. Luettu 20.5.2020.
5. Hydraulikka – koneautomaatio- Metropolia. Verkkoaineisto. <<https://wiki.metropolia.fi/display/koneautomaatio/Hydraulikka>>. Luettu 26.3.2020.
6. FLUID Finland 2/13. Verkkoaineisto. <https://issuu.com/omnip/docs/fluidfinland2_13_kevyt> (sivut 8-9). Luettu 3.4.2020.
7. Brax, Juhani & Hurmelinna, Antti. Hydraulikkajärjestelmän suunnittelu. Verkkoaineisto. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/55179/Brax_Hurmelinna.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Luettu 8.4.2020.
8. Hydraulikka. Verkkoaineisto. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Hydraulikka>>. Luettu 26.3.2020.
9. Kauranne, H., Kajaste, J. & Vilenius, M. (1996). Hydraulikan perusteet.
10. Issuu. Ammattilehti 4 2014. Verkkoaineisto. <<https://issuu.com/ammattilehti.fi/docs/ammattilehti-4-2014/111>>. Luettu 15.4.2020.
11. Anon, Oy Lai-Mu AB: kovassa kisassa pärjää vain huippulaadulla. Eurometalli. Verkkoaineisto. <<https://eurometalli.com/oy-lai-mu-ab-kovassa-kisassa-parjaa-vain-huippulaadulla/>>. Luettu 22.4.2020.
12. Konepörssi.com. (2019). Ensimmäinen polttokäyttöinen LM Trac ajoon. Verkkoaineisto. <<https://koneporssi.com/tyokoneet-2/ensimmainen-polttokennokayttainen-lm-trac-ajoon/>>. Luettu 20.4.2020.

13. www.made-in-china.com. Electric+pole+motor, China electric+pole+motor. – Page 6. Verkkoaineisto. <<https://www.made-in-china.com/multi-search/electric%2Bpole%2Bmotor/F1/6.html>>. Luettu 5.4.2020.
14. Nestepaine. Oy Nestepaine AB. Verkkoaineisto. <<https://www.nestepaine.fi/fi/yri-tys>>. Luettu 3.4.2020.
15. Black Bruin. Company. Verkkoaineisto. <<https://www.blackbruin.com/company>>. Luettu 27.4.2020.
16. Black Bruin. B200 Series. Verkkoaineisto. <<https://www.blackbruin.com/products/hydraulic-motors/b200-series>>. Luettu 15.4.2020.
17. Elaphe. (2019). Direct-drive in-wheel motors – Elaphe. Verkkoaineisto. <<https://in-wheel.com/en/solutions/direct-drive-in-wheel-motors/>> Luettu 10.4.2020.

