



# Kuorma-auton voimanulosoton sähköistäminen

## Bulk-säiliöajoneuvokuljetuksissa

Teemu Ylikoski

Opinnäytetyö, AMK

Kesäkuu 2024

Insinööri (AMK), Logistiikan tutkinto-ohjelma

## Ylikoski, Teemu

### **Kuorma-auton voimanulosoton sähköistäminen. Bulk-säiliöajoneuvokuljetuksissa.**

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. **Kesäkuu 2024**, 58 sivua.

Logistiikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

### **Tiivistelmä**

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Kuljetusliike Koivulahti Oy, joka tuottaa kuljetuspalveluita Etelä-Pohjanmaan alueella. Toimeksiantajan kuljetustehtäviin kuuluvat muun muassa bulk-säiliöajoneuvokuljetukset, joissa mekaanisen voimanulosoton käyttäminen on yleistä. Mekaaninen voimanulosotto raskaassa kalustossa tarkoittaa voimantuottoa prosessissa, jossa kuorma-auton moottorin voimaa käytetään ajoneuvoon asennettujen lisälaitteiden käyttöön.

Ajoneuvon moottorin käyttäminen mekaanisen voimanulosoton voimanlähteenä kuluttaa polttoainetta. Polttoaineen palaminen vaikuttavasti negatiivisesti yrityksen taloudellisiin tunnuslukuihin ja aiheuttaa ympäristölle haitallisia CO<sub>2</sub>-päästöjä. Tämä herätti kiinnostuksen selvittää vaihtoehtoisten käyttövoimien soveltuvuutta voimanulosoton käyttöön. Opinnäytetyössä tutkittiin erilaisten voimanlähteiden, erityisesti sähkön käyttömahdollisuuksia ja sen vaikutuksia yrityksen liiketoimintaan.

Tutkimuksen tiedonkeruu toteutettiin analysoimalla yrityksen omistamia materiaaleja ja dataa sekä suorittamalla haastatteluja kohdeyrityksen sisällä ja mahdollisen järjestelmätoimittajan kanssa. Lisäksi osallistuttiin operatiiviseen toimintaan, kuten kuljetuksiin ja kuljetussuunnitteluun. Opinnäytetyön teoriaosuus pohjautuu alan kirjallisuuteen, verkkolähteisiin ja yritysten verkkosivuihin.

Tutkimuksen tuloksena kuvattiin mekaanisen voimanulosoton nykytila yrityksessä sekä sen vaikutukset taloudellisiin tunnuslukuihin ja CO<sub>2</sub>-päästöihin. Osana tutkimusta suoritettujen haastattelujen kautta saatiin konkreettisia tuloksia sähköisen voimanulosoton hyödyistä, mikä mahdollisti kustannussäästöjen ja CO<sub>2</sub>-päästövähennysten laskemisen.

Tutkimuksen myötä toimeksiantaja sai merkittävästi tietoa nykyisen mekaanisen voimanulosoton vaikutuksista ja sähköistämisen potentiaalisista hyödyistä. Tutkimuksessa havaittiin muun muassa, että voimanulosoton sähköistämällä ajoneuvojen CO<sub>2</sub>-päästöt voisivat laskea jopa yli 20 %. Tutkimustuloksia voidaan hyödyntää voimanulosottojen vertailussa ja valinnassa, ja ne tarjoavat hyvät lähtökohdat ajoneuvojen kehitysprojektin aloittamiselle.

### **Avainsanat (asiasanat)**

Mekaaninen voimanulosotto, sähköinen voimanulosotto, kuljetukset, soveltuvuus, CO<sub>2</sub>-päästöt, säiliöautot

### **Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)**

-

**Ylikoski, Teemu**

### **Electrification of the trucks power take-off. In bulk transport.**

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, June 2024, 58 pages.

Degree Programme in Logistics. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

### **Abstract**

The commissioner for the thesis was Kuljetusliike Koivulahti Oy, a transport company that provides transport services in the South Ostrobothnia region. The client's transport tasks include, among others, bulk tank vehicle transport, where the use of mechanical power take-off is common. Mechanical power take-off in heavy vehicles is a power generation process where the power from the truck's engine is used to operate an additional equipment installed on the vehicle.

Using the vehicle's engine as the power source for mechanical power take-off consumes fuel. The burning of fuel negatively impacts the company's financial indicators and causes environmentally harmful CO2 emissions. This sparked an interest in investigating the suitability of alternative power sources for use in power take-off. The thesis examined the possibilities of using different power sources, particularly electricity, and its effects on the company's business operations.

Data collection for the research was carried out by analyzing the materials and data owned by the company and conducting interviews within the target company and with a potential system supplier. Additionally, participation in operational activities such as transport and transport planning. The theoretical part of the thesis is based on industry literature, online sources, and company websites.

The research results described the current state of mechanical power take-off in the company, and its impacts on financial indicators and CO2 emissions. Concrete results on the benefits of the electric power take-off were obtained through interviews conducted as part of the research, allowing the calculation of cost savings and CO2 emission reductions.

Through the research the client received significant information about the effects of the current mechanical power take-off and the potential benefits of electrification. The study found that with electrifying the power take-off it could reduce vehicle CO2 emissions by over 20 %. The research results can be used in comparing and selecting power take-offs and it provides a good basis for initiating a vehicle development project.

### **Keywords/tags (subjects)**

Mechanical power take-off, electric power take-off, transport, suitability, CO2 emissions, tank trucks

### **Miscellaneous (Confidential information)**

-

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Tutkimusasetelma</b> .....	<b>5</b>
2.1	Tutkimusongelma.....	5
2.2	Tutkimuksen rajaus ja tutkimuskysymykset .....	6
2.3	Tutkimusmenetelmät ja -strategia.....	7
2.4	Aineiston tiedonkeruumenetelmät.....	9
2.5	Aineiston analysointimenetelmät .....	10
<b>3</b>	<b>Säiliökuljetukset</b> .....	<b>13</b>
3.1	Säiliöajoneuvokuljetukset .....	13
3.2	Bulk-säiliöajoneuvokuljetukset .....	13
3.3	Ajoneuvosäiliö .....	16
<b>4</b>	<b>Voimanulosotto</b> .....	<b>17</b>
4.1	Mekaaninen voimanulosotto .....	17
4.2	Sähköinen voimanulosotto .....	19
4.3	Hybridi voimanulosotto.....	23
<b>5</b>	<b>Investointilaskenta</b> .....	<b>24</b>
5.1	Investointilaskennassa tarvittavat lähtöarvot .....	25
5.2	Investointilaskentamenetelmät .....	28
<b>6</b>	<b>Case: Kuljetusliike Koivulahti Oy</b> .....	<b>29</b>
6.1	Nykytila.....	29
6.2	Sähköinen voimanulosotto toimeksiantajalla.....	31
<b>7</b>	<b>Tutkimustulokset ja johtopäätökset</b> .....	<b>49</b>
<b>8</b>	<b>Pohdinta</b> .....	<b>50</b>
	<b>Lähteet</b> .....	<b>52</b>
	<b>Liitteet</b> .....	<b>56</b>
	Liite 1. Toimeksiantajalla käytössä oleva ruuvikompressori.....	56
	Liite 2. Erilaisten voimanulosottojen polttoaineenkulutukset ja kulut sekä käyttöajat .....	58
	<b>Kuviot</b>	
	Kuvio 1. Tutkimuksen kulku .....	12
	Kuvio 2. Havainnekuva mekaanisesta voimanulosotosta kuorma-autossa.....	18
	Kuvio 3. Havainnekuva sähköisen voimanulosoton pääkomponenteista .....	19

Kuvio 4. Havainnekuva kuorma-auton runkoon sijoitetusta sähköisen voimanulosoton akustosta .....	21
Kuvio 5. Havainnekuva hybrid voimanulosotosta.....	24
Kuvio 6. Banke ApS:n erillinen akustokaappi.....	33

## **Taulukot**

Taulukko 1. Ajoneuvojen polttoaineenkulutukset.....	30
Taulukko 2. Polttoaineenkulutuksien ja kulujen vertailutaulukko .....	34
Taulukko 3. Toimeksiantajan ajoneuvojen CO <sub>2</sub> -päästöt .....	37
Taulukko 4. Ajoneuvojen kantavuudet sekä sähköisen voimanulosottokonseptin paino .....	39
Taulukko 5. Akuston latauskustannukset .....	42
Taulukko 6. Sähköisen voimanulosoton hankintakustannukset .....	44
Taulukko 7. Kustannuksien yhteenvetotaulukko.....	45
Taulukko 8. Investointilaskentataulukko .....	47
Taulukko 9. Voimanulosottojen arviointitaulukko .....	48

# 1 Johdanto

Pääasiallinen tavoite logistiikassa on ollut monissa tapauksissa logistiikan organisointi kannattavuutta maksimoivalla tavalla. Logistiikkatoiminnot on koordinoitu raaka-ainelähteiltä loppukäyttäjille, niin että toiminnot täyttävät asiakkaiden vaatimukset minimikustannuksilla. Aikaisemmin logistisissa kannattavuuslaskelmissa huomioitiin vain yrityksille suoraan kohdistuvat taloudelliset kustannukset, jättäen ulkoiset kustannukset huomiotta. Tämän päivän huoli globaalista ilmasto-kriisistä onkin ajanut myös kuljetusalaa siirtymään kohti vihreämpää tulevaisuutta ja pakottanut yritykset huomioimaan myös logistiikan ulkoiset kustannukset. Ulkoisia kustannuksia, joita logistiikasta syntyvät ovat mm. Ilmastonmuutoksen kiihtyminen, ilmansaasteiden lisääntyminen, meluhaitat sekä onnettomuudet. Logistiikkatoimintojen parissa työskentelevät yritykset pyrkivätkin nykyään pääsemään kokonaan eroon tai ainakin vähentämään näitä ulkoisia kustannuksia. Tavoitteena on saavuttaa kestävämpi tasapaino talouden, ympäristön ja yhteiskunnallisten tavoitteiden välillä. (McKinnon, Browne, & Whiteing, 2012, 3–5.)

Ilmaston kannalta on tärkeää, että pyritään jatkuvasti kehittämään ympäristöystävällisempiä logistiikkaratkaisuja, joilla logistiikan ulkoisia kustannuksia saadaan vähenemään. Tavaraliikenteessä käytettäviin ajoneuvoihin on viime vuosikymmenien aikana tehty paljon teknisiä parannuksia ja ajoneuvojen järjestelmällinen kehittäminen on jo nyt vähentänyt ajoneuvojen ympäristövaikutuksia merkittävästi. Ajoneuvojen kehitystä edesauttaa vaatimukset ympäristölainsäädännön noudattamisesta erityisesti ilmansaasteiden ja melun osalta. Myös kaupalliset paineet sekä markkinahyöty ovat ajaneet ajoneuvoja valmistavia sekä niitä käyttäviä yrityksiä kehittämään energiatehokkaampia ajoneuvoja. (McKinnon ym. 2012, 145–151.)

Vuonna 2020 kotimaan liikenteen kasvihuonekaasupäästöistä 33 % syntyi kuorma-autoista (Liikenteen kasvihuonekaasupäästöt ja energiankulutus 2022). Osuus on todella huomattava ja ratkaisujen löytäminen päästöjen vähentämiseksi on tärkeää. Kuorma-autoja käytetään paljon erilaisissa työtehtävissä ja todella moni työtehtävä vaatii kuorma-autolta erikoistekniikkaa, kuten voimanulosottoa. Kuorma-autoissa voimanulosotto vaatii toimiakseen ajoneuvon moottorin joutokäymisen, koska sitä käytetään voimanulosoton voimanlähteenä. Toimeksiantajan suoritealalla bulk-säiliöajoneuvokuljetuksissa kuormien purkamiseen käytetään tyypillisesti erilaisia lisälaitteita, kuten kompressoria. Kompressorin käyttäminen vaatii voimanulosottoa, jotta sillä pystytään tuottamaan ilmaa sekä painetta ajoneuvosäiliöihin.

Tutkimuksen keskeinen tavoite on tutkia, miten vaihtoehtoinen käyttövoima, kuten sähkö voisi soveltua voimanulosoton käyttämiseksi toimeksiantajan kuljetustehtävissä. Tutkimus painottuu paljon sähköisen voimanulosoton käyttömahdollisuuksien ja soveltuvuuden tutkimiseen toimeksiantajalla. Tutkimuksessa pyritään selvittämään myös, minkälaisia teknisiä vaatimuksia sähköinen voimanulosotto asettaa kuorma-autolle ja minkälainen vaikutus sillä olisi yrityksen taloudellisiin tunnuslukuihin ja CO<sub>2</sub>-päästöihin. Sähköisellä voimanulosotolla vuotuisia CO<sub>2</sub>-päästöjä sekä polttoaineen kokonaiskulutusta saataisiin todennäköisesti vähennettyä, joka voisi vaikuttaa positiivisesti yrityksen talouteen ja imagoon. Tutkimuksen suoriteala keskittyy bulk-säiliöajoneuvokuljetuksiin, koska toimeksiantaja liikennöi muun muassa tällä toimialalla. Bulk-säiliöajoneuvokuljetuksissa on hyvin tyypillistä, että kuorma-auton moottoria käytetään voimanlähteenä voimanulosotolle. Voimanulosoton yhtäjaksoinen käyttöaika on usein pitkä, ja vuotuiset käyttötunnit ovat näin ollen suuret. Hyöty voimanulosoton sähköistyksestä voisi siis olla merkittävä. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Kuljetusliike Koivulahti Oy.

### **Kuljetusliike Koivulahti Oy**

Kuljetusliike Koivulahti Oy on Etelä-Pohjanmaalla Ilmajoella sijaitseva kuljetusyritys, jolta löytyy historiaa kuljetusten parista jo kahdeksalta vuosikymmeneltä. Koivulahti Oy suorittaa lämpötilasäädetyjä eläin- ja elintarvikekuljetuksia sekä irtorehukuljetuksia. Kuljetusliike Koivulahti Oy on perustettu vuonna 1952 ja yritys liikennöi sopimuskuljetusten parissa työllistäen noin 25 henkilöä. (Koivulahti 2023.)

Kuljetusliike Koivulahti Oy toimii Etelä-Pohjanmaan alueella todella vahvasti alkutuotannon kuljetusten parissa. Koivulahti Oy:n erikoisosaaminen painottuu broilerien kasvatuksen tuotantoketjuun. Yksi Koivulahti Oy:n yhteistyökumppaneista on A-rehu, jonka broilerinrehuja yritys kuljettaa Koskenkorvan tehtaalta kasvatustiloille pääasiassa Etelä-Pohjanmaan alueelle. Todella merkittävä yhteistyökumppani yritykselle on myös Atria Oyj. Koivulahti Oy hoitaa Atrian Nurmon siipikarjateurastamon kaikki teurasbroileri kuljetukset sekä yritys hoitaa myös untuvikkojen kuljetukset alueen Atria Oyj:n sopimustuottajien kasvatustiloille. Yrityksen kolmas merkittävä yhteistyökumppani on Juustoportti Oy, jonka alaisuudessa Koivulahti Oy hoitaa lämpösäädetyjä elintarvikekuljetuksia. (Koivulahti 2023.)

## 2 Tutkimusasetelma

### 2.1 Tutkimusongelma

Tutkimuksien lähtökohtana voidaan pitää tarvetta selvittää tai pyrkiä löytämään ratkaisu johonkin olemassa olevaan ongelmaan. Tutkimusongelmana voi olla myös jonkin asian kehittäminen tai muutoksen edesauttaminen. Tutkimuksissa pyritään tuottamaan uutta tietoa tutkittavasta aiheesta. Opinnäytetyö on tieteellinen työ, ja tieteellisessä työssä pitää aina olla tutkimusongelma. Ilman tutkimusongelmaa ei tieteellistä tutkimusta voida tehdä. Tutkimusongelma täytyy määritellä ja rajata, sillä se ohjaa koko tutkimusprosessia. (Kananen 2015, 45 & 64.)

#### Tausta

Kuljetusliike Koivulahti Oy on jatkuvasti kehittänyt uusia ja innovatiivisia ratkaisuja kuljetuskalustonsa parantamiseksi ja toimintavarmuuden takaamiseksi. Nyt yritys haluaa selvittää mahdollisia kehityksiä irtorehujen kuljettamiseen suunniteltuihin ajoneuvoihin. Yrityksellä on käytössä kolme yhdistelmäajoneuvoa, joilla kuljetetaan irtorehua broilerin kasvatustiloille keskimäärin kuusi kuormaa vuoden jokaisena päivänä. Toimeksiantajan kuorma-autojen moottoreita käytetään keskimäärin jopa 1200 tuntia vuodessa, koska niitä käytetään voimanlähteenä kuorma-autoissa olevalle voimanulosotolle. Bulk-säiliöajoneuvokuljetuksissa voimanulosottoa tarvitaan tyypillisesti kompressorin käyttämiseen, jotta irtotavarasta koostuvat kuormat saadaan purettua.

Ajoneuvojen moottorien käyttäminen voimanlähteenä on toistaiseksi välttämätöntä toimeksiantajalla, jotta irtorehut saadaan toimitettua asiakkaille. Kuorma-autojen moottorien käyttö voimanlähteenä voimanulosoton pyörittämiseksi on ajallisesti huomattavan korkea, kun sitä tarkastellaan vuositasolla, koska kuljetukset ovat hyvin tiheäsyklisiä. Opinnäytetyön taustalla on toimeksiantajan halu selvittää, olisiko voimanulosottoa mahdollista käyttää hyödyntäen jotain muuta vaihtoehtoista voimanlähdeä, kuin kuorma-auton moottoria. Kuorma-auton moottorin käyttämisestä syntyy useita erilaisia päästöjä, ja sillä on myös negatiivisia vaikutuksia polttoainekustannuksiin. Kuorma-auton moottorin käydessä paljon on sillä näkyvä vaikutus myös moottorin käyttöikään sekä yrityksen talouteen ja ympäristöön.

#### Tavoitteet



Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää vaihtoehtoisten voimanlähteiden, kuten sähkön, käytömahdollisuutta voimanulosoton pyörimisen takaamiseksi toimeksiantajan kuorma-autoissa. Opinnäytetyössä tutkitaan sähköisen voimanulosoton soveltuvuutta toimeksiantajan kuljetustehtäviin sekä selvitetään, olisiko sähköinen voimanulosotto käytännöllisesti järkevä vaihtoehto toimeksiantajalle. Oleellinen osa tutkimusta on myös selvittää, miten CO<sub>2</sub>-päästöt, polttoaineenkulutus ja polttoainekustannukset sekä tekniset vaatimukset eroavat toisistaan sähköisen ja mekaanisen voimanulosoton välillä.

Tutkimustulosten perusteella pyritään löytämään ratkaisu siihen, onko sähköisen voimanulosoton käyttäminen teknisesti mahdollista toimeksiantajan kuljetustehtävissä ja miten vaihtoehtoisen voimanlähteen käyttäminen vaikuttaisi yrityksen liiketoimintaan. Kuljetusliike Koivulahti Oy voi käyttää tutkimusta apuvälineenä päätöksenteossa arvioidessaan, onko sähköiseen voimanulosottoon järkevää investoida, kun tekniset vaatimukset sekä taloudelliset vaikutukset ovat selvillä.

Tutkimuksessa tarkastellaan myös mekaanisen ja sähköisen voimanulosoton yhdistävän hybridisovelluksen käytömahdollisuutta sekä sen vaikutuksia toimeksiantajan liiketoimintaan.

## **2.2 Tutkimuksen rajaus ja tutkimuskysymykset**

Aiheen rajaus on tutkimuksissa välttämätöntä, jotta saadaan selkeä kuva siitä, mitä halutaan tutkimuksen avulla tietää tai mitä tutkimuksesta saatavalla aineistolla halutaan osoittaa. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2009, 81.)

Tutkimuksen perustana on ennalta määritelty tutkimusongelma ja ongelmalle luodaan tutkimuskysymykset. Tutkimuskysymykset kertovat, mitä tarkalleen ottaen halutaan tutkia ja tietää. Tutkimuksella on yleensä pääkysymys, joka luo pohjan koko tutkimukselle ja pääkysymystä tuetaan erilaisilla apukysymyksillä. Tutkimuskysymysten avulla voidaan tutkimuksen edetessä ja lopuksi tarkastaa, vastataanko tai vastattiinko tutkimuskysymyksiin, jotka tutkimuksen alussa asetettiin. Tutkimuskysymysten puuttuminen voi olla kohtalokas virhe, jolloin työ saattaa helposti rönsyillä, kun rajaavia kysymyksiä ei ole ennalta määritetty. (Hong 2019.) Tätä tutkimusta ohjasi kaksi pääkysymystä ja toista pääkysymystä tuettiin kahdella apukysymyksellä. Tutkimuskysymykset olivat seuraavat:

1. Minkälainen on nykytilanne toimeksiantajalla mekaanisen voimanulosoton käytön suhteen?
2. Onko sähköinen voimanulosotto soveltuva vaihtoehto voimanlähteeksi toimeksiantajan kuljetustehtävissä?
  - a. Minkälaisia vaikutuksia voimanulosoton sähköistämisellä olisi toimeksiantajan liiketoimintaan?
  - b. Minkälaisia teknisiä vaatimuksia sähköinen voimanulosotto asettaa kuorma-autolle?

Toisen pääkysymyksen kohdalla tutkimuksessa lähdettiin ratkaisemaan ensin apukysymyksiä, jonka myötä saatiin vastaus varsinaiseen pääkysymykseen.

### **2.3 Tutkimusmenetelmät ja -strategia**

Tutkimusstrategiaa voidaan kutsua tutkimuksessa käytettävien menetelmien kokonaisuudeksi. Tutkimusstrategian valinta on yksi tärkeimpiä päätöksiä tutkimuksessa, koska se ohjaa käytettävien menetelmien valintaa ja käyttöä. Tutkimusongelman luonne määrittää tutkimusstrategian ja työn onnistumisen kannalta on tärkeää, että valittu strategia sopii ongelman ratkaisuun. (Tutkimusstrategiat 2014.)

Perinteisesti käytössä on kolme erilaista tutkimusstrategiaa. Ensimmäinen strategia on kokeellinen tutkimus, jossa mitataan yhden käsittelyssä olevan muuttujan vaikutusta toiseen muuttujaan. Toinen strategia on survey-tutkimus, jossa kerätään tietoa valitulta joukolta ihmisiä ja kerätyn aineiston avulla pyritään kertomaan, vertailemaan tai kuvailemaan tutkittavaa ilmiötä. Kolmas tutkimusstrategia on tapaustutkimus, jota kutsutaan myös nimellä case study. Tapaustutkimusta käytetään silloin, kun hankitaan tietoa yksittäisestä tapauksesta. Tapaustutkimuksen tavoitteena on tutkimusilmiön perusteellinen kuvailu. (Hirsjärvi ym. 2009, 134–135.)

Tutkimusongelman ja -kysymysten määrittelyn jälkeen valitaan tutkimukselle soveltuva tutkimusmenetelmä. Tutkimusmenetelmän valinnassa on tärkeää valita oikea menetelmä, jolla tutkimusongelma saadaan ratkaistua parhaalla mahdollisella tavalla. Oikein valittu menetelmä helpottaa tutkimusaineiston keruuta, ohjaa tutkimuksen kirjoittamista ja auttaa tutkijaa pysymään asiassa. Tutkimusmenetelmät jaotellaan usein kahteen eri ryhmään: laadullisiin eli kvalitatiivisiin ja määrällisiin eli kvantitatiivisiin menetelmiin. Tällainen kahtiajako on hyvin karkeaa, mutta kvantitatiivisessa tutkimuksessa vastataan usein miksi-kysymyksiin, kun kvalitatiivisissa tutkimuksissa tavantomaisempaa on vastata mitä- ja miten-kysymyksiin. Menetelmät eivät kuitenkaan sulje toisiaan

pois, vaan niitä voidaan käyttää myös samassa tutkimuksessa täydentämään toisiaan. (Kananen 2015, 63–64; Hirsijärvi ym. 2009, 136–137.)

### **Laadullinen tutkimus**

Laadullinen tutkimusmenetelmä, jota myös kvalitatiiviseksi menetelmäksi kutsutaan, on tutkimustapa, jonka avulla pyritään ymmärtämään yksittäisen tutkittavan kohteen laatua, ominaisuuksia tai merkitystä kokonaisvaltaisesti ilman tilastollisia menetelmiä tai muita määrällisiä keinoja. Pääsääntönä voidaan pitää, että mitä vähemmän tutkittavasta ilmiöstä tiedetään, sitä todennäköisemmin laadullinen tutkimus tulee kysymykseen. Mikäli kyseessä on ilmiö, josta ei ole juurikaan tietoa, teorioita, malleja tai aikaisempaa tutkimusta, on laadullisen tutkimuksen menetelmin näitä helpoin lähteä selvittämään. Laadullisen tutkimuksen tavoitteena on usein tuottaa yksityiskohtaista tietoa tutkittavasta aiheesta. (Kananen 2015, 70; Kananen 2017, 33–36.)

Laadullinen tutkimus on usein kuvailevaa, jolloin tutkija avaa tutkimuskohdetta sanojen, tekstien ja kuvien avulla. Laadullisen tutkimuksen ehdottomana vahvuutena voidaan pitää tutkimuksen kykyä tuottaa syvällistä ymmärrystä monimutkaisista ilmiöistä. Laadullisella tutkimusmenetelmällä saavutettu tutkimustulos pätee aina vain tutkimuskohteen osalta, eikä tutkimustulosta voida yleistää. (Kananen 2015, 70; Kananen 2017, 33–36.)

Kananen (2015, 127) kertoo, että laadullisessa tutkimuksessa yleisimmät aineistonkeruumenetelmät ovat havainnointi, haastattelut, erilaiset dokumentit ja joskus kyselyt. Laadullisessa tutkimuksessa ei voida etukäteen määritellä, kuinka paljon ja mitä tietoa/aineistoa kerätään (Kananen 2017, 35). Laadullisen tutkimuksen ominaispiirteisiin kuuluu myös ihmisten omakohtaiset kokemukset ja näkemykset sekä niiden tarkastelu. (Kananen 2017, 33–36.)

### **Määrällinen tutkimus**

Määrällinen tutkimusmenetelmä, jota myös kvantitatiiviseksi kutsutaan, on suuntaus, joka keskittyy tutkimusongelman kuvaamiseen ja tulkitsemiseen teorian, tilastojen tai jonkin muun numeerisen aineiston avulla. Määrällinen tutkimus soveltuu vain tietynlaisten ilmiöiden tutkimiseen ja se

suoritetaan määrällisen tutkimuksen keinoja hyödyntäen. Määrällisessä tutkimuksessa aineisto kerätään joko kyselylomakkeella, systemaattisella havainnoinnilla tai tulkitsemalla jo olemassa olevia rekistereitä ja tilastoja. Kyselylomake on edellä mainituista yleisimmin käytetty tutkimusaineiston keruumenetelmä. Määrällisen tutkimuksen aineistonkeruumenetelmät ovat usein yksinkertaisia ja aineiston keräyksen valmistuttua voidaan todeta suurimman työn jo tulleen tehdyksi. Määrällinen tutkimus etenee prosessimaisesti vaihe vaiheelta eteenpäin. Määrällistä tutkimusta voisi kuvata junaksi, joka lähtee tietyltä asemalta ja kulkee ennalta määriteltä reittiä päätepysäkille. Tämä on merkittävä ero laadullisen ja määrällisen tutkimuksen välillä, koska laadullisessa tutkimuksessa voidaan aina palata prosessin edeltävään vaiheeseen, kun taas määrällisessä ei. (Kananen 2015, 197–203.)

### **Tämä tutkimus**

Tässä työssä päädyttiin hyödyntämään sekä laadullista että määrällistä tutkimusmenetelmää, jota kutsutaan monimetodiseksi lähestymistavaksi, eli triangulaatioksi. Triangulaation avulla tutkimuksen syvyyttä ja laajuutta saadaan lisättyä, ja lopputuloksena saadaan luotettavampia ja perusteellisempia johtopäätöksiä. Monimetodisen menetelmän ehdoton etu on se, että silloin kun useampi tapa, jolla tutkimusongelmaa lähestytään, antaa samankaltaisia tuloksia, voidaan tuloksia pitää hyvin luotettavina. Menetelmä on soveltuva tähän tutkimukseen, koska tutkittavasta aiheesta on hyvin vähän ennakkotietoja saatavilla. Yhdistelemällä erilaisia tietolähteitä, menetelmiä ja näkökulmia pyritään saavuttamaan paras mahdollinen lopputulos. (Abbadia, 2023.)

## **2.4 Aineiston tiedonkeruumenetelmät**

Aineistonkeruumenetelmillä kerätään tarvittava aineisto, jonka avulla pyritään löytämään ratkaisu tutkimusongelmaan. Laadullisessa tutkimuksessa tarvittavaa aineistoa kerätään yleensä erilaisista dokumenteista, havainnoista ja haastatteluista. Laadullisen tutkimuksen aineisto tuottaa sanoja ja lauseita, joiden avulla tutkija kuvaa ilmiötä, tapahtumia, tapahtumien välisiä suhteita ja niiden vuorovaikutuksia. (Kananen 2015, 81–82.)

Määrällisessä tutkimuksessa yleisin käytössä oleva tiedonkeruumenetelmä on kysely, jolla kartoitetaan esimerkiksi ihmisten käyttäytymistä erilaisissa tilanteissa tai heidän mielipiteitään. Myös

valmiita tilastoja voidaan hyödyntää. Määrällisessä tutkimuksessa kerätty aineisto koostuu pääasiassa luvuista, joita tarkastellaan erilaisia menetelmiä hyödyntäen. Aineistonkeruumenetelmät eivät kuitenkaan sulje toisiaan pois, vaan niitä voidaan käyttää myös päällekkäin. (Kananen 2015, 81–82.)

Tässä tutkimuksessa hyödynnettiin useita erilaisia aineistonhankintakeinoja. Aineistoa kerättiin muun muassa suorittamalla teemahaastatteluita, tutkimalla toimeksiantajalta löytyviä aineistoja ja dataa sekä keräämällä erilaisia tunnuslukuja esimerkiksi toimeksiantajan tietojärjestelmistä. Tietojärjestelmistä saatiin tarvittavia tunnuslukuja liittyen esimerkiksi ajoneuvojen polttoaineiden kokonaiskulutuksiin sekä CO<sub>2</sub>-päästöihin. Tutkimusaineistoa kerättiin myös verkkosivustoilta ja tutkimukseen soveltuvasta kirjallisuudesta.

Teemahaastattelulle on tyypillistä, että haastattelun aihepiirit ovat ennalta määritetty, mutta aiheiden esittämiselle ei ole asetettu mitään erityisen tiukkaa järjestystä. Teemahaastattelussa haastatteluprosessi ja kysymysten runko on kaikille haastateltaville sama, mutta teemojen laajuus ja niiden käsittely voi vaihdella eri haastattelujen välillä. Tässä tutkimuksessa teemahaastatteluihin otettiin puolistrukturoitu lähestymistapa, jolloin kysymykset toimivat lähinnä ohjauksena haastatteluissa, jättäen tilaa myös vapaalle keskustelulle sekä uusille aiheille. Haastattelumuodossa annetaan haastateltaville mahdollisuus kertoa mielipiteensä, kokemuksensa tai näkemyksensä tutkittavasta aiheesta tai ilmiöstä. (Näpärä 2017.)

Valmiiksi olemassa olevaa aineistoa kutsutaan tutkimuksissa sekundääriaineistoksi. Primääriaineistoksi kutsutaan nimenomaan tätä tutkimusta varten tutkijan keräämää materiaalia. Näiden kerättyjen aineistojen avulla tutkimusongelmaan pyritään löytämään paras mahdollinen ratkaisu. (Kananen 2015, 81–82.)

## **2.5 Aineiston analysointimenetelmät**

Tutkimusaineiston keräämisen jälkeen aloitetaan aineiston analysointi. Tutkimusaineiston analysoinnissa kerätty aineisto käsitellään erilaisia analyysimenetelmiä ja -tekniikoita hyödyntäen. Analysointimenetelmien valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat kerätty tutkimusaineisto, tutkimuskysymykset sekä tutkimusongelma. Aineistojen analysointi tutkimuksissa on käytännössä aineistojen huolellista tarkastelua ja vertaamista eri aineistojen sisältöihin. Tässä tutkimuksessa noudatettiin

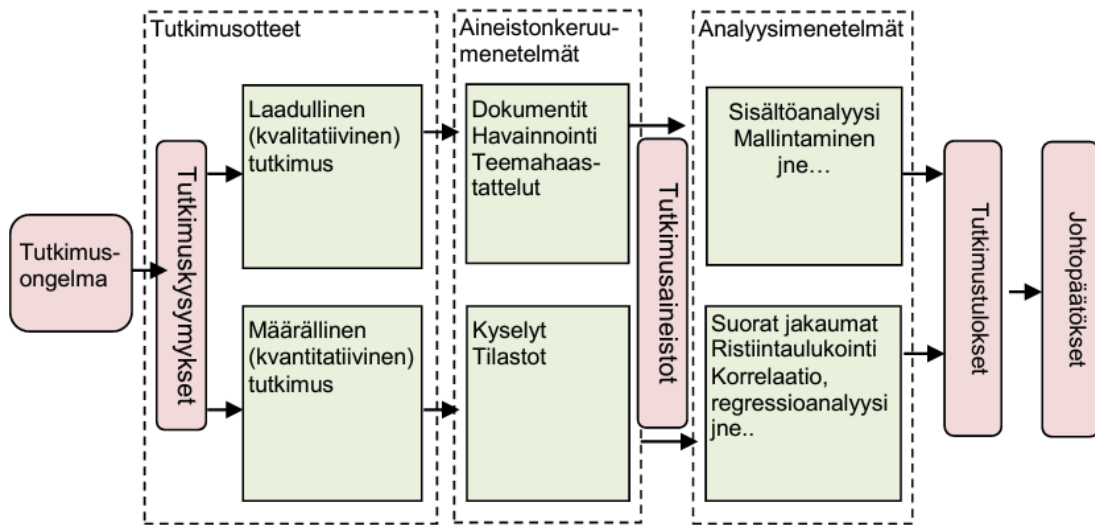
sekä laadullista että määrällistä tutkimusmenetelmää, joten tutkimusaineistoa käsiteltiin näille ominaisilla analysointimenetelmillä.

Määrällisessä tutkimuksessa aineistoa analysoidaan tyypillisesti tilastollisia menetelmiä hyödyntäen. Tilastollisten menetelmien tarkoituksena on helpottaa määrällisessä tutkimuksessa kerätyn aineiston kuvailua, tulkintaa ja arviointia. Kerätyistä aineistoista muodostetaan erilaisia taulukoita ja aineistoista lasketaan usein myös erilaisia tilastollisia tunnuslukuja, kuten keskiarvoja tai prosenttiosuuksia. Määrällisessä tutkimuksessa kerätyn aineiston analysoinnissa pyritään todistamaan sen paikkansapitävyys kytkemällä tutkimustulokset jo olemassa olevaan kirjallisuuteen. (Kvantitatiivisen tutkimuksen verkkokäsikirja n.d.)

Laadullisessa tutkimuksessa puolestaan aineiston analysointiin käytetään erilaisia menetelmiä, joilla keskitytään kerätyn aineiston syvälliseen ymmärtämiseen ja tulkintaan sekä pyritään lisäämään tutkimusaineiston informaatioarvoa. (Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja n.d.) Tässä tutkimuksessa suoritettiin esimerkiksi erilaisia sisältöanalyyssejä, joissa analysoitiin jo valmiita kirjallisia aineistoja sekä tutkimusta varten tallennettuja aineistoja, kuten haastatteluja ja erilaisia dokumentteja. Tutkimuksen tiedonkeruuvaiheessa hyödynnettiin osallistuvaa havainnointia ja kenttätööhön tutustumista, joten tutkimus sisältää myös näissä tehtyjen havaintojen ja kenttämuistiinpanojen analysointia.

Laadullisessa tutkimuksessa tyypillisiä apuvälineitä aineiston analysointiin ovat koodaaminen, teemoittelu ja tyypittely. Koodaamisella pyritään yksinkertaistamaan kerättyä tutkimusaineistoa ja siinä yhdistellään esimerkiksi erilaisia haastatteluita ja mediatekstejä. Teemoittelussa tutkimusaineiston ydinkohdat tiivistetään ja muodostetaan niistä erilaisia teemoja. Teemojen alle tuodaan esimerkiksi tutkimusta varten tehdyistä haastatteluista sellaisia kohtia, joissa käsitellään kyseistä teemaa. Tyypittelyssä tutkimusaineistoa luokitellaan tai ryhmitellään aineistojen yhteisten piirteiden tai ominaisuuksien perusteella, mikä auttaa ymmärtämään tutkittavaa ilmiötä. Laadullisessa tutkimuksessa käytetään tyypillisesti myös ns. Luonnollista yleistettävyyttä, jossa jokainen lukija

voi itse arvioida tulosten paikkansapitävyyttä ja käyttöarvoa. (Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja n.d.)



Kuvio 1. Tutkimuksen kulku (Kananen 2015, 82).

Kuvio 1 kuvaa tutkimusprosessin kulkua yleisesti. Tämä tutkimus alkoi tapaamisella toimeksiantajan kanssa, jossa kartoitettiin heidän kohtaamansa tutkimusongelma, jonka pohjalta tutkimusta alettiin suunnitella. Kun tutkimusongelma oli täysin hahmotettu, laadittiin tutkimuskysymykset, jotka ohjasivat tutkimuksen etenemistä kohti haluttua tavoitetta ja lopputulosta. Tutkimuskysymysten määrittämisen jälkeen valittiin sopiva tutkimusmenetelmä, joka oli tässä tapauksessa monimetodinen, yhdistäen sekä laadullisen että määrällisen tutkimusmenetelmän. Tutkimusmenetelmän valinnan jälkeen aloitettiin tarvittavan aineistonkeruu. Aineistoa kerättiin sekä sekundääriaineistona että primääriaineistona. Kun tutkimusaineistot oli kerätty, ne käytiin huolellisesti vielä läpi ja valittiin sopivimmat aineistot analysoitavaksi. Tutkimusaineistojen analysoinnin jälkeen saatiin tutkimustulokset selville, joiden pohjalta tehtiin lopulliset johtopäätökset ja lisättiin tutkijan oma pohdinta tutkimuksen tuloksista.

## 3 Säiliökuljetukset

### 3.1 Säiliöajoneuvokuljetukset

Säiliöajoneuvoilla tarkoitetaan ajoneuvoja, jotka on suunniteltu nesteiden, kaasujen, jauheiden tai rakeisten aineiden maantiekuljetuksiin, ja niissä on yksi tai useampi kiinteä säiliö. Säiliöajoneuvokuljetukset ja säiliöautoliikenne ovat välttämättömiä yhteiskunnan toimintojen turvaamisen kannalta maailmanlaajuisesti. Säiliöajoneuvokuljetukset ovat avainasemassa monilla eri toimialoilla ja ne ovat välttämättömiä niin yksityisille toimijoille kuin yrityksille. Kuljetettava materiaali asettaa vaatimukset ja rajoitteet säiliöajoneuvojen valinnalle. Osa säiliöajoneuvoista on tarkoitettu vain yhden tuotteen kuljettamiseen, mutta suurin osa nykyisistä säiliöajoneuvoista ovat niin sanottuja monituoteajoneuvoja, jolloin säiliöt ovat lokeroituja. Lokeroinnilla tarkoitetaan sitä, että säiliöissä on useita osastoja, joissa voidaan kuljettaa samanaikaisesti eri tuotteita tai raaka-aineita. Säiliöajoneuvokuljetuksien monipuolisuuden takia yritysten on helppo mukauttaa kalustoa omien tai asiakkaiden vaatimusten ja tarpeiden mukaan. Säiliöajoneuvokuljetuksissa kaluston käyttöaste on usein erittäin korkea ja kausivaihtelut voivat olla suuria. Kuljetusmuodolla pyritään tehokkaaseen raaka-aineiden kuljettamiseen sekä se soveltuu erityisesti myös suurien määrien tai massojen kuljettamiseen. Säiliöajoneuvokuljetuksille tyypillinen piirre on myös kuljetuskaluston korkea hankinta-arvo, sillä ne vaativat niihin räätälöityä kuljetuskalustoa, johon kuuluu erikoissuunniteltuja säiliöitä ja lisälaitteita, jotka mahdollistavat rahdin kuljettamisen ja purkamisen. (Kuljetustoiminta 2019, 238; The future of tank truck transportation 2023.)

### 3.2 Bulk-säiliöajoneuvokuljetukset

Kuivien aineiden säiliöajoneuvokuljetuksilla tarkoitetaan jauhe- ja raemaisten aineiden kuljettamista. Bulk-kuljetuksissa kuljetettavat tuotteet ovat irtotavaraa, jolle on tyypillistä, että kuljetettavaa tavaraa ei voida määrällisesti laskea. Bulk-kuljetuksia suoritetaan hyvin yleisesti säiliöajoneuvoilla, joissa on yksi tai useampi säiliökuljetuksiin soveltuva kuljetusyksikkö, kuten kuorma-auto ja perävaunu. Yleisimmät säiliöajoneuvoilla kuljetettavat kuivat aineet ovat sementti, kalkki, hiekka, talkki, pelletti, vilja, erilaiset viljajauhot sekä elintarvikkeet, rehut ja raemaiset muovien raaka-aineet. (Suoniemi & Hakaniemi 1990, 35–38.)



Bulk-säiliöajoneuvokuljetuksissa säiliöiden puhdistaminen on oleellinen osa kuljetusprosessia, koska kuljetettavia aineita on useita erilaisia. Kuljetettavat aineet voivat olla vaarallisia tai haitallisia, jos ne sekoittuvat keskenään tai jäävät säiliöön. Puhdistuksella varmistetaan, että aikaisemmin kuljetetut aineet ja jäämät saadaan poistettua säiliöstä. Esimerkiksi muovipelletin sekaan joutunut hiekka voi muuttaa koko kuorman käyttökelvottomaksi, tai puhdistamattomat säiliöt voivat aiheuttaa elintarvikkeiden saastumista, mikä synnyttää terveysriskejä. (Cordock 2021; Tank cleaning equipment for food grade bulk transport 2017.)

### **Kuorman lastaus- ja purkaminen bulk-säiliöajoneuvokuljetuksissa**

Kuivien aineiden lastaus säiliöajoneuvoihin hoidetaan melkein poikkeuksetta aina ylätäyttönä, jolloin kuljetettava tavara lasketaan säiliöiden päällä sijaitsevista täyttöaukoista säiliöön. Lastaus tapahtuu yleensä tuotteen lähettäjän toimitiloissa, jossa tuotetta varastoidaan esimerkiksi siiloissa. Säiliöajoneuvojen lastauksessa käytetään apuna erilaisia tuotantolaitteita tai koneita, kuten kuljettimia, pneumaattisia järjestelmiä tai muita vastaavia vaihtoehtoja.

Bulk-säiliöajoneuvokuljetuksissa ajoneuvot varustetaan usein erilaisilla lisävarusteilla, jotta kuormat saadaan purettua kuljetettavan tuotteen asettamien vaatimusten mukaan. Ajoneuvojen korkean varustelutason takia myös kuluvien ja huollettavien osien määrä on huomattavan korkea. Näin ollen bulk-säiliöajoneuvojen huoltokustannukset muodostavatkin merkittävän osan säiliöajoneuvojen elinkaaren kustannuksista. Jauhe- ja raemaisten aineiden purkaminen säiliökuljetuksissa hoidetaan pääsääntöisesti joko kippaamalla pneumaattista purkujärjestelmää hyödyntäen tai täysin pneumaattista purkujärjestelmää käyttäen.

### **Pneumaattinen purkujärjestelmä**

Pneumaattinen purkujärjestelmä perustuu paineilman avulla tapahtuvaan purkamiseen, jolloin purettava tavara fluidisoidaan. Fluidisointi tarkoittaa prosessia, jossa kiinteät hiukkaset tai jauheet saadaan käyttäytymään nesteiden tavoin. Fluidisointimenetelmä perustuu kaasun virtaamiseen kiinteän aineen läpi, jolloin virtaus aiheuttaa kiinteiden hiukkasten tai jauheiden sekoittumisen kaasun kanssa, luoden aineelle fluidimaisen käyttäytymisen. (Atlas Copco 2023.)

Bulk-säiliöajoneuvokuljetuksissa fluidisointiin käytettävä kaasu on pääsääntöisesti ilmaa, joka tuotetaan erillisellä kompressorilla. Ajoneuvoon asennetun kompressorin avulla syötetään paineilmaa ajoneuvosäiliöihin, jolloin paineilma sekoittuu voimakkaasti säiliössä olevaan kuljetettavaan aineeseen ja muuttaa aineen juoksevaksi. Ajoneuvosäiliön venttiilien keskinäistä asentoa säätelemällä fluidisoitunut aine saadaan purettua tehokkaasti, nopeasti sekä tasaisesti säiliöstä. (Suoniemi & Hakaniemi 1990, 35–38; Tavaraliikenneyritykset 2020, 321–322.)

Pneumaattinen purkujärjestelmä sisältää paineilmakompressorin, ohjausventtiilit sekä purku- ja paineputkistot, joiden avulla säädetään virtauksen määrää ja jakautumista. Säiliön paineen nousua ennalta asetettuun arvoon, joka on kuljetettavan aineen mukaan määritelty esimerkiksi n. 0.5–2 baariin voidaan lisäilma- ja tyhjennysventtiili avata, jolloin kuorman purkaminen alkaa. Paineilman avulla tapahtuvassa purkamisessa myös purkuaikavälillä on merkittävä vaikutus. Mitä pidempi purkuaikaväli, sitä heikommin purettava materiaali virtaa. Tyypillisiä purkukohteita ovat erilaiset säiliöt ja siilot. (Suoniemi & Hakaniemi 1990, 35–38; Tavaraliikenneyritykset 2020, 321–322.)

### **Toimintaympäristöt**

Bulk-säiliöajoneuvokuljetuksiin liittyy hyvin useasti erityisiä toimintaympäristöjä, joka vaihtelevat kuljetettavan materiaalin mukaan. Bulk-säiliöajoneuvokuljetukset voivat olla yksi osa laajempaa toimitusketjua, jossa esimerkiksi laivalla saapuneita bulk-tuotteita kuljetetaan satamista asiakkaille tai asiakkailta satamiin laivauksia varten. Toinen tyypillinen tapaus, jossa bulk-säiliöajoneuvokuljetuksia käytetään, on keräily- ja jakokuljetukset, kuten maitojen, rehujen ja viljojen kuljetukset. Näin ollen on tyypillistä, että ympäristöt, joissa kuljetukset tapahtuvat, voivat vaihdella hyvin usein. Kuljetuksia tapahtuu esimerkiksi maatilojen ja tuotantolaitosten välillä sekä tehtaiden ja satamien välillä.

### **Kompressorit**

Bulk-säiliöajoneuvokuljetuksien suorittamisen kannalta keskeisin ajoneuvolta vaadittava lisälaite on kompressorit, joka on suunniteltu tuottamaan painetta säiliöihin kuormien purkamiseksi. Kuormien purkunopeus ja -aika ovat täysin riippuvaisia kompressorin tuottamasta paineesta ja ilmämäärästä. Kompressorin valintaan suurin vaikuttava tekijä on kuljetettavan aineen ominaispaino,

sillä se määrittää kompressorilta vaadittavat ominaisuudet. Kevyen ominaispainon omaavat aineet vaativat yleensä suuren ilmamäärän, mutta maltillisen purkupaineen, kun taas raskaammat aineet vaativat suuren purkupaineen, mutta pienemmän ilmamäärän. Ilmamäärän ollessa liian suuri on riskinä, että purkupuotkistoissa kulkee enemmän ilmaa, kuin materiaalia, jolloin purkaminen ei tapahdu optimaalisesti. (Kivimäki 2023.)

Kuivien aineiden säiliöajoneuvokuljetuksissa paineen tuottamiseen käytetään lähes poikkeuksetta ruuvikompressoreita. Säiliöajoneuvokuljetuksissa kuorma-autojen alustat ovat usein täynnä erilaisia lisälaitteita ja varusteita, jolloin kompressorille jää vain rajallisesti tilaa. Ruuvikompressorien etuja ovatkin esimerkiksi niiden kompakti koko, alhainen paino ja eri tehoisten sekä tuottoisten kompressorien saatavuus. Ruuvikompressorien hyötyjä ovat myös niiden korkeat virtausnopeudet sekä tasaisen ja riittävän ilmanpaineen tuotto, jolloin ne soveltuvat irtotavarakuljetuksiin kuljetettavasta materiaalista riippumatta. Säiliöajoneuvon kompressoria pyöritetään ajoneuvon voimanulosotolla ja voima välitetään kompressorille voimanottoakselin avulla. (Jones 2022.)

### **3.3 Ajoneuvosäiliö**

#### **Säiliörakenne**

Bulk-säiliöajoneuvokuljetuksissa kuormatilat ovat rakenteellisesti umpinaisia erillisiä säiliöitä, jotka ovat yleensä asennettu kiinteästi kuorma-autoon tai perävaunuun. Säiliöitä on useita erilaisia ja ne ovat suunniteltu tietynlaisten materiaalien kuljettamiseen. Säiliötyyppi valitaan sen perusteella, onko kyseessä nestemäinen, kaasumainen vai irtonainen materiaali, jota kuljetetaan. Kaikki ajoneuvosäiliöt eivät ole kiinteitä; osa säiliöistä on irtonaisia, jolloin ne ovat varustettu jalkalavakontivarustuksella. Tällöin säiliöitä voidaan vaihtaa helposti kuorma-auton ja perävaunun välillä. Jalkalavakontteja käytetään tyyppillisesti silloin, kun purkupaikka on ominaisuuksiltaan sellainen, että sinne ei voida perävaunun kanssa mennä. Ajoneuvosäiliöt valmistetaan pääsääntöisesti ruostumattomasta teräksestä tai alumiinista. Yleisimmin käytössä olevat ajoneuvosäiliöt ovat kipattavat säiliöt, makaavat säiliöt, suppilomalliset pystysäiliöt tai kipattavat lokerosäiliöt. (Kuljetuskalusto 2023; Tank Pro 2014.)

#### **Lainsäädäntö ja asetukset**

Bulk-säiliöajoneuvokuljetuksissa säiliöyksiköt ovat pääsääntöisesti aina paineistettuja, joten niitä koskevat tarkkaan määritellyt kestävyysvaatimukset. Paineistettuja säiliöitä tarkastetaan painelaitteina, joten niiden tulee täyttää painelaitteille asetetut direktiivit, jotka Euroopan Unioni (EU) on määritellyt. Direktiivi sisältää painelaitteiden tekniset ohjeet, kuten valmistusmateriaalit, säiliön seinämien vaatimukset sekä korkeimmat ja alimmat täyttö- ja käyttölämpötilat. Säiliö luokitellaan painelaitteeksi, kun suunnittelupaine on yli 0,5bar. (Direktiivi 2014/68/EU.)

Painelaitelaki asettaa säiliöille ja niissä oleville varusteille määräaikaistarkastukset. Tarkastuksissa tulee tarkastaa esimerkiksi säiliöiden sisäinen ja ulkoinen kunto sekä turvallisuusvarusteiden toiminta. Painelaitelain alaisten säiliöiden käyttötarkastusväli on kaksi vuotta, sisäpuolinen tarkastusväli neljä vuotta ja säiliöille tulee suorittaa painekoe joka toisen sisäpuolisen tarkastuksen yhteydessä, eli kahdeksan vuoden välein. Paineoetta ei ole kuitenkaan välttämätöntä tehdä painesäiliölle, mikäli sisäpuolisen tarkastuksen yhteydessä on riittävästi varmistuttu painesäiliön rakenteen eheydestä ja lujuudesta. Suomessa säiliöiden tarkastuksista vastaa Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). (Painelaitelaki 1144/2016.)

## **4 Voimanulosotto**

Voimanulosotolla raskaassa kalustossa tarkoitetaan voimantuottoa, joka mahdollistaa voiman siirtämisen ajoneuvoon asennettuun lisälaitteeseen käyttäen kuorma-auton moottoria voimanlähteenä. Ilman voimanulosottoa kuorma-autoista puuttuisi materiaalien kuljettamiseen välttämättä tekniikka ja monipuolisuus (What is a pto on a truck, 2021.)

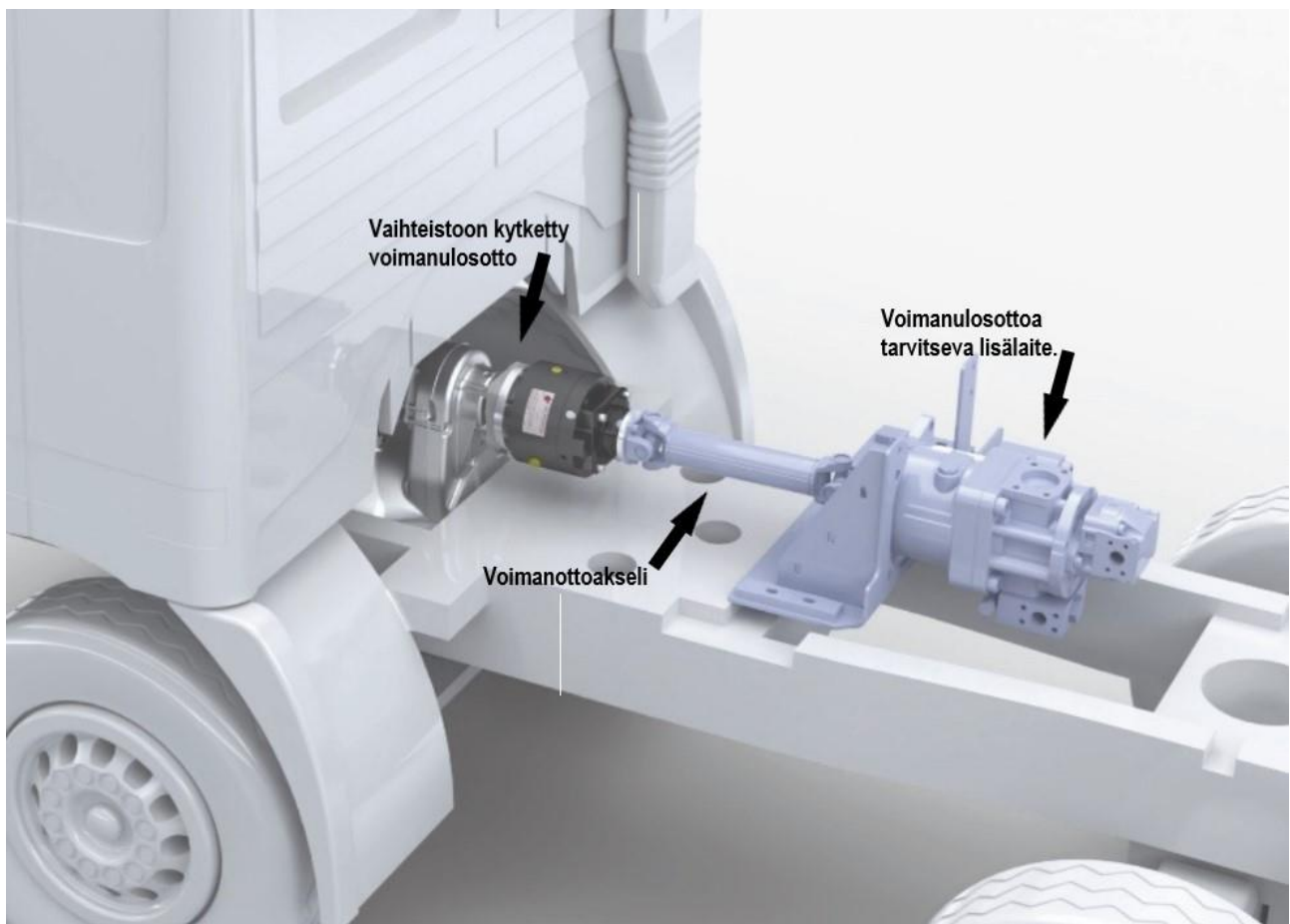
### **4.1 Mekaaninen voimanulosotto**

Kuorma-auton voimanulosoton pääkomponentti on mekaaninen vaihteisto, joka liitetään pääsääntöisesti kuorma-auton vaihteistoon voimanulosotolle erikseen määriteltyihin kiinnityskohtiin. On olemassa muitakin tapoja toteuttaa voimanulosotto riippuen kuorma-auton rakenteesta ja käyttötarkoituksesta, mutta edellä mainittu on selkeästi yleisin käytössä oleva ratkaisu. Voimanulosotossa hyvin yleisesti kuorma-auton moottorin tuottama voima välitetään voimanulosoton avulla tyypillisesti hydrauliselle pumpulle. Pumpun tuottama hydraulivirtaus ohjataan sitten esimerkiksi hydraulisylintereihin tai hydraulimoottoreihin, niiden käyttämistä varten esimerkiksi nosturi- tai roska-autoissa. Kuorma-autojen perinteisen mekaanisen voimanoton heikkoutena voidaan pitää

sitä, että se vaatii toimiakseen aina ajoneuvon moottorin joutokäynnin. (Douglass 2018; What is a pto on a truck, 2021.)

### Voimanottoakseli

Kuorma-autoissa voi olla käyttötarpeen mukaan myös erilaisia pneumaattisia järjestelmiä, tyhjiöpumppuja tai nesteensiirtopumppuja. Tällöin voimanulosotto antaa erillisen pyörivän voimanottoakselin välityksellä voimaa suoraan käytettävälle komponentille (ks. kuvio 2), joka kuorma-autoissa voi olla esimerkiksi kompressorin tapauksessa. Voimanottoakselit altistuvat käytössä kovalle kuormitukselle, joten ne vaativat säännöllistä huoltoa, jotta vältetään vaurioita sekä varmistetaan voimanoton sekä lisälaitteiden toimivuus. (Douglass 2018; What is a pto on a truck, 2021.)

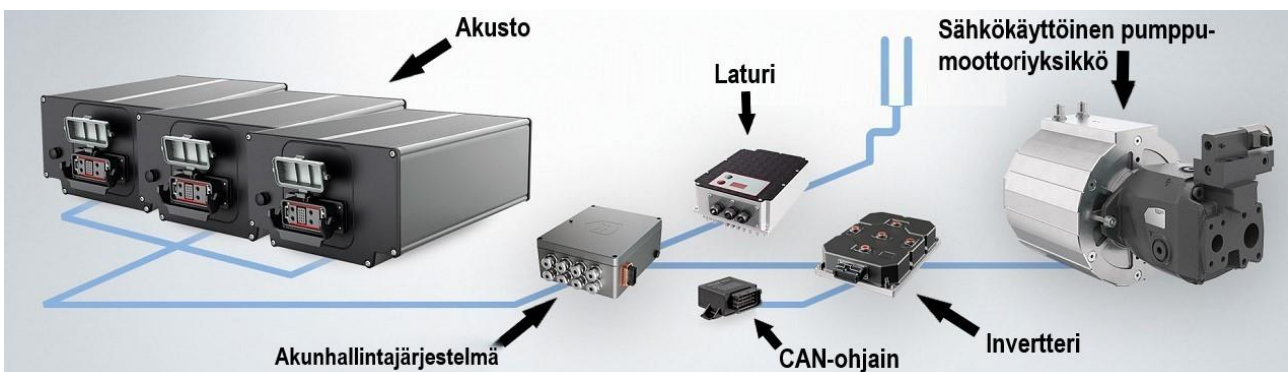


Kuvio 2. Havainnekuva mekaanisesta voimanulosotosta kuorma-autossa. (Logan n.d, muokattu.)

## 4.2 Sähköinen voimanulosotto

Sähköinen voimanulosotto on perinteisen mekaanisen voimanoton tavoin tekniikka, jonka avulla ajoneuvoon asennettuja lisälaitteita, kuten kompressoria pystytään käyttämään. Kuorma-autoihin asennettujen lisävarusteiden käyttäminen sähköistä voimanulosottoa hyödyntäen vähentää riippuvuutta kuorma-auton moottorista. Näin ollen joutokäynti voimanoton aikana vähenee, joka vaikuttaa alentavasti polttoaineenkulutukseen, päästöihin sekä meluun. Sähköinen voimanulosotto koostuu useista erilaisista komponenteista (ks. kuvio 3), jotka vaativat sähköä toimiakseen. Sähkö saadaan tavallisimmin tasavirtalähteestä, esimerkiksi akusta tai akustosta. Sähköinen voimanotto voidaan liittää mekaaniseen voimansiirtojärjestelmään, kuten voimanottoakseliin tai hydraulipumppuun perinteisen mekaanisen voimanulosoton tavoin. (Lynn 2020.)

Jatkuvasti muuttuvat määräykset ja säädökset muuttavat kuljetus- ja logistiikka-alaa jatkuvasti. Yritysten on jatkossa omaksuttava entistä enemmän ympäristöystävällisempiä käytäntöjä. Esimerkiksi sähköisen voimanoton käyttöönottamisella yritykset voivat osoittaa olevansa sitoutuneita kestävään kehitykseen ja ympäristövaikutusten vähentämiseen. Näin yritykset edistävät puhtaamman ja terveemmän maapallon rakentamista. (Why switch to electric PTO? 2023.)



Kuvio 3. Havainnekuva sähköisen voimanulosoton pääkomponenteista. (Komponentit sähköistykseen n.d, muokattu.)

### Akusto

Sähköisen voimanulosoton energiavarausta kutsutaan puhekielessä akustoksi. Akusto rakentuu tyypillisesti useista sarjaan- tai rinnankytkettyjen akkukennojen kokonaisuudesta (ks. kuvio 4).

Akusto on perinteinen ratkaisu varastoida sähköenergiaa ajoneuvoissa. Sähköenergian avulla saadaan tarvittava voima, jonka avulla voidaan käyttää ajoneuvoihin asennettuja lisävarusteita esimerkiksi sähköistä voimanulosottoa, josta voima välitetään edelleen eteenpäin ajoneuvoon asennettuihin lisälaitteisiin. Akuston kokoa säätelemällä akuston jännitettä sekä kapasiteettia saadaan muutettua. (Hietalahti 2011, 31 & 95; Makkonen 2017.)

Akuston koko mitoitetaan yleensä tarvittavan energian ja tehovaatimusten mukaisesti. Akuston koko ilmoitetaan pääsääntöisesti ampeerituntien mukaan ja se kertoo, kuinka monta tuntia täyteen ladattua akustoa voidaan purkaa tietyn suuruisella virralla. Akuston elinikä on suuresti riippuvainen akuston käyttötavasta, käyttöolosuhteista, huoltamisesta ja kunnossapidosta. Korkea käyttölämpötila alentaa akuston elinikää ja alhainen käyttölämpötila vaikuttaa yleensä alentavasti akuston kapasiteettiin. Purkaus- ja lataussyklien määrä on kuitenkin isoin vaikuttava tekijä akuston käyttöikänsä. Akuston lataus ja purkaus tilanteissa akustoon syntyy kemiallinen reaktio, josta aiheutuu akuston kulumista. Akustoa voidaan pitää loppuun kuluneena, kun akustoa ei saada latautumaan yli 80 prosenttiin alkuperäisestä kapasiteetista. (Hietalahti 2011, 102–105.)



Kuvio 4. Havainnekuva kuorma-auton runkoon sijoitetusta sähköisen voimanulosoton akustosta. (ePTO n.d.)

### Akunhallintajärjestelmä

Akustot tarvitsevat aina erillistä hallintaelektroniikkaa toimiakseen. Akunhallintajärjestelmästä käytetään tyypillisesti nimitystä BMS (Battery Management System) ja se yhdistää kaikki virtaa tarvitsevat laitteet akustoon. BMS-järjestelmä on tärkeä osa akustoa, jolla parannetaan akuston käytöturvallisuutta sekä edistetään akuston käyttöikä. BMS-järjestelmää käytetään akuston hallintaan, valvontaan ja suojaamiseen. BMS-järjestelmän avulla pystytään seuraamaan akuston jännitettä, jonka avulla pystytään välttämään akuston yllilataus tai syväpurkaus. BMS-järjestelmästä seurataan myös lämpötila tietoja, joten akusto ei pääse ylikuumentumaan tai ylikuormittumaan. Mikäli akustossa havaitaan ongelmia, kuten ylikuumentumista, ylivirtaa tai alijännitettä, niin BMS-järjestelmä katkaisee virran tai rajoittaa akustosta otettavaa tehoa automaattisesti. (Akkupaketit ja akkujärjestelmät päästöttömään käyttöön 2023; Hietalahti 2011, 101–102.)

### Akkulaturi



Akkulaturilla tarkoitetaan laitetta tai järjestelmää, jonka avulla verkkovirrasta otettua sähköä, muutetaan käytössä olevalle akustolle sopivaksi. Laturia käytetään energian syöttämiseen akustoon, jolloin akuston varausta saadaan kasvatettua tai ylläpidettyä. Akkulatureita on useita erilaisia, joiden tehot ja toimintaperiaatteet vaihtelevat, joka näkyy suoraan latausajassa sekä virrankulutuksessa. (Battery university 2021.)

Voimanulosoton sähköistyksissä akuston lataukseen valitaan tyypillisesti joko on-board akkulaturi tai off-board akkulaturi, jota kutsutaan usein myös pikalaturiksi. On-board akkulaturilla tarkoitetaan akustoon kytkettyä sisäistä laturia, joka muuntaa verkkovirrasta tulevan vaihtovirran (AC) tasavirraksi (DC), joka varastoidaan akustoon. On-board akkulaturin teho on tavallisesti 22 kilowattia. Off-board akkulaturilla vaihtovirta (AC) muutetaan tasavirraksi (DC) jo akuston ulkopuolella, jolloin akuston sisäinen laturi voidaan ohittaa ja akustoa saadaan ladattua suoraan tasavirralla. Off-board akkulaturit ovat huomattavasti tehokkaampia, koska latauspiste on kiinteä. Akkulaturin teho on yleensä vähintään 50 kilowattia tai mahdollisuuksien mukaan vielä enemmän. (Hansen 2023.)

Sähköisen voimanulosoton akuston lataaminen ja energian varastointi on hyvin saman kaltainen, kuin sähköajoneuvoissa. Akkuteknologia on tällä hetkellä kovassa kehityksessä ja uusien sähköajoneuvojen akustot pystyvätkin ottamaan jo huomattavan suuria määriä virtaa vastaan. Esimerkiksi ABB ja MAN ovat esitelleet sähkökuorma-auton lataamista yli 700 kilowatin teholla ja 1000 ampeerin virralla. Tähän peilaten voidaan olettaa, että latausteknologia tulee tulevaisuudessa kehittymään, jolloin latausnopeutta sekä akkulaturin tehoa saadaan varmasti kasvatettua. (ABB E-mobility ja MAN esittelevät ensimmäistä kertaa eTruckin latausta megawatin teholla 2024.)

## **Invertteri**

Invertteri, jota myös muuntajaksi kutsutaan, on tärkeä komponentti sähköisessä voimanulosotossa, joka sijoitetaan akuston ja sähkömoottorin väliin. Akustoon varastoitu sähköenergia on aina tasajännitteistä (DC), joka täytyy saada muutettua sähkömoottorille sopivaksi vaihtojännitteeksi (AC), jota varten muuntajaa käytetään. Muuntajalla määritetään myös sähkömoottorille johdettavan vaihtojännitteen taajuus, jolla määritetään puolestaan sähkömoottorin pyörimisnopeus. (Hietalahti 2011, 63; Mikä taajuusmuuttaja on, n.d.)

## **CAN-ohjain (Controller Area Network)**

Can-ohjain toimii koko sähköisen voimanulosoton hallinta- ja ohjausjärjestelmänä. Can-ohjaimella mahdollistetaan tiedonsiirto ja kommunikaatio eri komponenttien välillä, joista sähköinen voimanulosotto koostuu. Can-ohjaimen tärkeimmät tehtävät sähköisessä voimanulosotossa on:

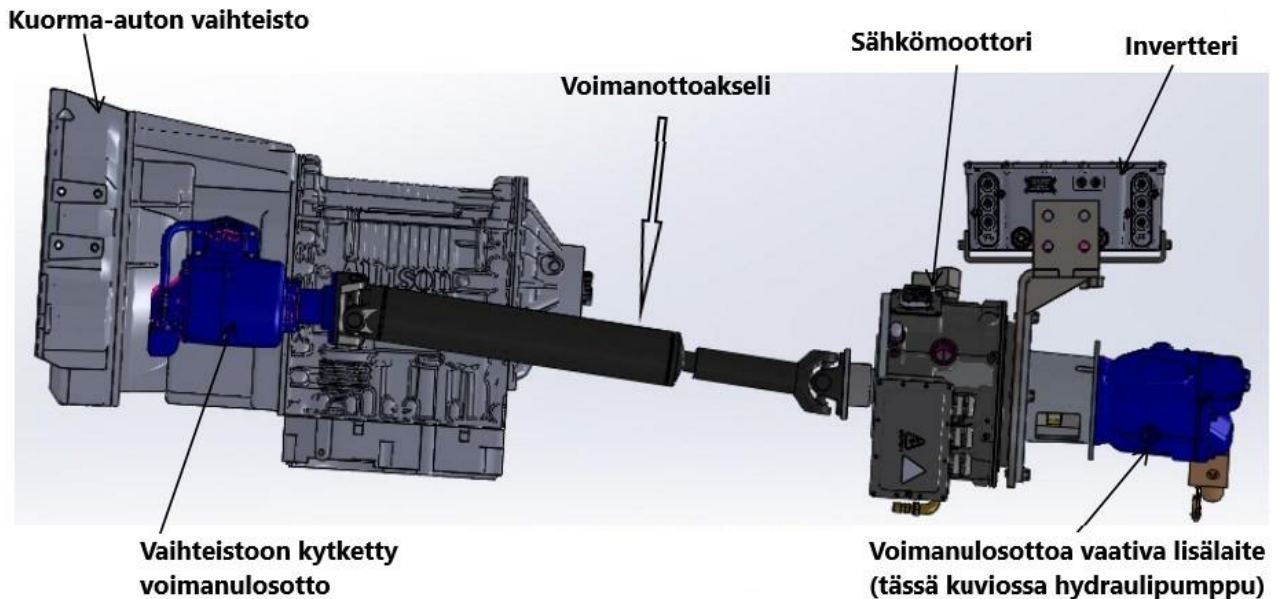
1. Tiedonsiirto ja valvonta: Can-ohjain valvoo sähköisen voimanulosoton toimintaa ja siirtää tietoa esimerkiksi invertterin ja sähkömoottorin välillä.
2. Toiminnanohjaus: Can-ohjaimen avulla ohjataan sähköisen voimanulosoton erilaisia toimintoja, kuten sen käynnistämistä, sammuttamista ja kierroksien nopeutta. (Hansen 2023.)

## **Sähkömoottori**

Sähkömoottorin tehtävänä on muuntaa sähköisen voimanulosoton akustoon varastoitu energia mekaaniseksi energiaksi. Mekaanisen energian avulla saadaan liike aikaiseksi esimerkiksi voimannoakselille tai hydraulikalle. Sähköisessä voimanulosotossa sähkömoottoreina käytetään tyypillisesti vaihtojännitteisiä (AC) kestromagneettimoottoreita. Kestomagneettimoottorit soveltuvat sähköiseen voimanulosottoon niiden korkean hyötysuhteen, tehosiheyden ja laajan skaalautuvuuden takia. Kestomagneettimoottoria voidaan käyttää suoravetoisesti esimerkiksi kompressorin pyörittämiseen, joten se olisi soveltuva myös tutkimuksen toimeksiantajan tarpeisiin. (Hansen 2023; Pasini 2023.)

## **4.3 Hybridi voimanulosotto**

Hybridi tarkoittaa teknologiassa yleensä erilaisten teknologioiden tai järjestelmien yhdistämistä, jotta saavutetaan jotain, mitä yksittäinen vaihtoehto ei pysty tarjoamaan. Sähköinen voimanulosottokonsepti voi vaatia niin suuren akuston toimiakseen koko työsuoritusten ajan, että akuston paino voi nousta turhan korkeaksi, jolloin siitä voi olla enemmän haittaa kuin hyötyä. Esimerkiksi ajoneuvon kantavuus voi laskea, ja sillä voi olla negatiivinen vaikutus yrityksen liiketoimintaan. Tämä voi johtaa siihen, että voimanulosotoista rakennetaan hybridisovellus, jossa yhdistetään sähköinen- ja mekaaninen voimanulosotto (ks. kuvio 5). Hybridisovelluksen etuna on, että mahdollinen liiallinen painonnousu saadaan hillittyä, ja mikäli sähköisen voimanulosoton akut tyhjentyvät voidaan kuorman purkaminen suorittaa loppuun mekaanisen voimanulosoton avulla. (Geluid-sarme & zero emissie logistiek 2023.)



Kuvio 5. Havainnekuva hybrid voimanulosotosta ( Jarmuz 2014, muokattu.)

## 5 Investointilaskenta

Investointilaskenta on prosessi, jossa keskitytään arvioimaan ja analysoimaan erilaisia investointimahdollisuuksia yrityksen näkökulmasta. Tyypillinen esimerkki, johon investointilaskelmia käytetään, on koneinvestointi ja sen taloudellisen kannattavuuden analysointi. Investointiprosessi tukee yrityksiä päätöksenteossa, mihin käytettävissä olevia resursseja kannattaa sijoittaa. (Pellinen 2019, 174.) Pellinen (2019, 174) kertoo, että investointilaskennassa on huomioitava myös investointiin liittyvät rahoitus- ja liiketoimintariskit, tulon odotusaika, sitoutuvan pääoman määrä, rahoituksen riittävyys, käytettävissä olevat rahoitusmuodot sekä investointimenon ja jäännösarvon suuruus. Investoinnin odotusajan arvon määrittämiseen käytetään investointilaskelmissa korko- ja diskonttotekijöitä. (Pellinen 2019, 174.)

### Investointi käsitteenä

Organisaatiossa investointi määritellään menoksi, jossa hankintakustannukset ovat suuret ja tulojen odotusaika on pitkä. Pitkää aikaväliä koskevat investointipäätökset ovat kertaluontoisia ja niiden vaikutukset yrityksessä ovat näkyviä ja pitkäaikaisia. Kauaskantoiset päätökset ovat usein organisaatiolle todella tärkeitä, mutta samalla hyvin vaikeita, koska pitkän aikavälin investoinnit

tuovat mukanaan erilaisia haasteita. Investoinnin huomioon otettavien tekijöiden määrä lisääntyy tai niiden määrittäminen voi olla hyvin vaikeaa. Investoinneista käytettävissä oleva tieto tai data voi olla epätäydellistä tai sitä ei ole lainkaan, jolloin investointeihin liittyy epävarmuutta ja riskejä. (Pellinen 2019, 172–174.)

Investoinnit ovat osa strategisesta päätöksentekoa, jossa käytetään hyödyksi toimialatietämystä ja organisaation kykyjä. Investointien avulla yritykset pyrkivät kehittämään kilpailuetua suhteessa kilpailijoihin ja investointeja tehdään odotettavissa olevan hyödyn saavuttamiseksi. Kuljetusalalla investointipäätökset voivat koskea esimerkiksi kuljetusperiaatteita tai kalustohankintoja. Investoinnin onnistuminen on usein riippuvainen monista tekijöistä, kuten markkinaolosuhteesta, taloudellisesta tilanteesta, poliittisista päätöksistä ja monista muista ulkoisista ja sisäisistä tekijöistä. Niinpä investointipäätökset edellyttävät huolellista analyysiä ja suunnittelua ennen niiden toteuttamista. Investointipäätösten tukena käytetään aina erilaisia investointilaskennan taloudellisia mittareita, kuten takaisinmaksuaikaa, investoinnin tuottoa, nettonykyarvoa ja kustannus-hyöty-analyysiä. Näiden avulla pystytään arvioimaan investoinnin kannattavuutta ja sen vaikutusta yrityksen talouteen. (Pellinen 2019, 172–180.)

## 5.1 Investointilaskennassa tarvittavat lähtöarvot

Investointilaskennan suorittamista varten tarvitaan lähtöarvoja, jotta laskentaa voidaan lähteä suorittamaan erilaisten mittareiden avulla. Investoinnit sisältävät aina monia vaikeasti arvioitavia muuttujia, mutta keskeisimpinä investointilaskelmien komponentteina voidaan yleisesti ottaen pitää seuraavia:

- perusinvestointi tai hankintameno
- Nettotuotot
- investoinnin pitoaika
- investoinnin jäännösarvo
- laskentakorkokanta (Ikäheimo, Malmi & Walden 2019, 180–181).

Investointilaskelmien komponenteissa ei ole huomioitu poistoja tai tuloslaskelmien eriä, koska ne eivät ole suoranaisesti kassavirtoja ja investointien kannattavuuden arvioinnissa vain kassavirroilla on merkitystä. Kassavirtoihin liittyvä epävarmuus on myös oleellinen osa investointilaskelmia, joten laskelmia tehdessä se täytyy myös huomioida. (Ikäheimo ym. 2019, 180–181.)

## **Perusinvestointi**

Perusinvestoinnilla tarkoitetaan suurta kertamenoa, joka suoritetaan yleensä ensimmäisenä investointeja tehdessä. Perusinvestointi on edellytys tulevaisuuden kassavirran aikaansaamiselle. Perusinvestoinnin määrä on pääsääntöisesti melko tarkkaan selvitettävissä verrattuna esimerkiksi investoinnin tuottojen ja käyttökustannuksien selvittämiseen. Perusinvestointi sisältää kaikki investointiin liittyvät kustannukset, kuten laitteistojen hankinta ja asennus sekä henkilökunnan koulutus. Perusinvestointiin sitoutunut pääoma vaikuttaa yrityksen talouteen pitkän aikaa. Investointeja tehdessä on huomioitava arvon aleneminen ja ajan vaikutus investoinnin tuotantokykyyn. Nämä huomioidaan yleensä yrityksen tilinpäätöksessä poistoina. (Ikäheimo ym. 2019, 180–181.)

## **Nettotuotto**

Investoinnin tuottoja ja kustannuksia seurataan yleensä vuositasolla yhdessä. Vuotuinen nettokassavirta kuvaa yrityksen investoinnin tuottamaa rahavirtaa vuodessa ottaen huomioon sekä tulot, että menot vuoden aikana. Investoinnin nettotuotto voidaan yksinkertaisimmillaan laskea siten, että vähennetään investoinnista aiheutuneet kustannukset investoinnin tuotoista. Investoinnin tuotot ovat tosi usein hyvin vaikeita arvioida, koska niihin vaikuttavia tekijöitä on todella paljon, kun taas investoinnin menot ovat yleensä laskettavissa hyvinkin tarkasti. Investointien avulla voidaan saavuttaa myös kustannussäästöjä, joita kutsutaan myös nettotuotoiksi. (Ikäheimo ym. 2019, 181–182.)

## **Investoinnin pitoaika**

Investoinnin pitoaika kuvaa ajanjaksoa, jolloin investointi on tuottavassa toiminnassa ja nettotuottoja tai hyötyjä odotetaan syntyvän. Investoinnin pitoajan pituus riippuu monista erilaisista yrityksen sisäisistä sekä ulkoisista tekijöistä. Investoinnin pitoaika esimerkiksi jonkin laitteen hankinnan kohdalla kuvaa sitä aikaa, jolloin investointi on aktiivisessa käytössä ennen kuin se poistetaan käytöstä, vaihdetaan uuteen tai sen käyttäminen ei ole enää taloudellisesti kannattavaa. Laitte investointien kohdalla on hyvin tyypillistä, että investoinnin taloudellinen ikä tulee täyteen ennen fyysisistä käyttöikä. Tämä johtuu siitä että, jatkuvasti kehitetään tuottavampia ratkaisuja tai

investoinnin käyttötarve voi myös kokonaan loppua. Investointien pitoajan ymmärtäminen on tärkeä osa investointi suunnittelua ja arviointia, koska sillä on näkyvä vaikutus kannattavuuteen ja takaisinmaksuaikaan. Pitoajan huolellinen arviointi auttaa investoinneissa kokonaiskustannuksien laskemisessa ja vaikutuksen arvioinnissa yrityksen liiketoimintaa pidemmällä aikavälillä. (Ikäheimo ym. 2019, 182.)

### **Investoinnin jäännösarvo**

Investoinnin jäännösarvolla viitataan taloudelliseen arvoon, mikä investoinnilla on sen pitoajan päätyttyä. Jäännösarvo vaihtelee suuresti erilaisten investointien välillä ja siihen on monia vaikuttavia tekijöitä. Jäännösarvon arvioiminen on usein hyvin vaikeaa, joten usein investoinnin ajatellaan olevan arvoton pitoajan päättyessä, mutta esimerkiksi erilaisissa ajoneuvo- ja laitehankinnoissa jäännösarvoa voidaan kutsua alenevaksi, koska niiden arvo yleensä laskee niiden ikääntymisen ja kulumisen myötä. Jäännösarvo voi olla sekä positiivinen, että negatiivinen. Jäännösarvo on positiivinen, jos investoinnin myymisestä saadaan tuloja pitoajan loputtua ja negatiivinen silloin, kun pitoajan loputtua investointi on esimerkiksi ongelmajätettä, jonka kierrätyksestä aiheutuu kustannuksia. (Ikäheimo ym. 2019, 182–183.)

### **Laskentakorkokanta**

Laskentakorko määrittää investoinnilta vaadittavan minimituottovaatimuksen, koska investointeihin käytettävä pääoma ei ole ilmaista. Mikäli investointiin käytetään vierasta pääomaa, on siitä maksettava velkojalle korkoa ja omaa pääomaa sijoittavat vaativat puolestaan korvausta sijoittamalleen pääomalle. Laskentakorkokanta täytyy määritellä niin että sillä saadaan katettua käytettävän pääoman kustannukset sekä täytettyä yrityksen asettamat tuottovaatimukset. (Ikäheimo ym. 2019, 182–183.)

Investoinnista syntyviä kassavirtoja siirretään laskentakorkokannan avulla ajankohdasta toiseen, koska rahan arvo muuttuu ja se on erilainen viiden vuoden päästä, kuin nyt. Investointi vaikuttaa yleensä pitkälle aikavälille, joten eri vuosina syntyy erilaisia tulo- ja menovirtoja. Investoinnissa tapahtuvat tulo- ja menovirrat saadaan muutettua keskenään vertailukelpoisiksi laskentakorkokannan avulla. Siirryttäessä ajassa taaksepäin lasketaan rahamäärän arvo nykyhetkellä, jota kutsutaan

diskonttaukseksi ja silloin kun siirrytään ajassa eteenpäin, lasketaan rahan tulevaa arvoa. (Ikäheimo ym. 2019, 182–183.)

## 5.2 Investointilaskentamenetelmät

Investointilaskentamenetelmät ovat työkaluja, joiden avulla tarkastellaan ja arvioidaan investoinnin kannattavuutta sekä vertaillaan erilaisia investointivaihtoehtoja. Laskentamenetelmät voidaan jakaa karkeasti kahteen eri kategoriaan, kehittyneisiin ja yksinkertaisiin laskentamenetelmiin. Kehittyneemmissä laskentamenetelmissä huomioidaan riskejä, tulevia kassavirtoja sekä rahan aika-arvo, kun taas yksinkertaisemmissä menetelmissä näitä kaikkia ei oteta systemaattisesti huomioon. Kehittyneempiä menetelmiä ovat esimerkiksi nykyarvomenetelmä sekä sisäisen korkokannan menetelmä. Yksinkertaisempia menetelmiä ovat puolestaan esimerkiksi takaisinmaksuajan menetelmä sekä investoinnin laskennallinen tuottoastemenetelmä. (Ikäheimo ym. 2019, 183–184.)

### Takaisinmaksuaika menetelmä (PP)

Takaisinmaksuajan menetelmää voidaan pitää yhtenä yksinkertaisimmista tavoista arvioida investoinnin kannattavuutta ja sen tuottamaa taloudellista hyötyä. Menetelmän avulla selvitetään ajanjakso, jonka kuluessa investoinnista syntyy nettotuottoa alkuperäisen investoinnin verran. Investoinnin tuottojen pysyessä vakiona vuosittain takaisinmaksuaika voidaan laskea siten, että jaetaan alkuinvestointiin käytetty rahamäärä vuotuisilla nettotuotoilla. Mikäli vuotuiset nettotuotot eivät ole vakiot, niin takaisinmaksuaika lasketaan siten, että vähennetään alkuinvestointiin käytetystä rahamäärästä eri vuosien nettotuotot, niin kauan kunnes investointikustannus saavuttaa nollakohdan. (Ikäheimo ym. 2019, 183–184; Pellinen 2019, 176.)

### Nykyarvomenetelmä (NPV)

Nettonykyarvomenetelmässä investoinnin tuottamat tulot ja investoinnista aiheutuneet kustannukset diskontataan eli siirretään koron avulla samaan ajankohtaan, yleensä investointilaskentahetkeen. Menetelmässä käytettävä korkokanta valitaan pääsääntöisesti joko yritykselle koostuvien pääoma kustannuksien perusteella, tai yrityksen asettaman pääoman tuotto tavoitteen mukaan. Nettonykyarvomenetelmä perustuu ajatukseen, että rahan arvo on tulevaisuudessa pienempi kuin

rahan arvo on nyt, joten silloin kun vuosittaisten tulojen ja menojen erotuksen diskontattu nykyarvo on suurempi kuin alkuinvestointi, voidaan investointia pitää kannattavana. (Ikäheimo ym. 2019, 185–186; Pellinen 2019, 176.)

### **Sisäisen korkokannan menetelmä (IRR)**

Laskentamenetelmä ilmaisee ne rahoituskustannukset, joilla investointi on vielä kannattava toteuttaa. Pellinen (2019, 176) kertoo, että sisäisen korkokannan menetelmän avulla etsitään sitä laskentakorkokantaa, jolla investoinnin tulojen nykyarvo on juuri hankintamenon suuruinen. Pääsääntöisesti yrityksissä investointeja rahoitetaan käyttäen omaa pääomaa sekä vierasta pääomaa. Näiden pääomien yhteenlaskettujen kustannuksien perusteella investoinnille voidaan laskea tuottovaatimus. Silloin, kun sisäinen korkokanta on suurempi tai yhtä suuri, kuin investoinnille asetettu tuottovaade on investointiin sijoittaminen järkevää. (Ikäheimo ym. 2019, 185; Pellinen 2019, 176.)

### **Pääoman tuottoastemenetelmä (ROI)**

Pääoman tuottoastemenetelmää voidaan pitää yksinkertaistettuna versiona sisäisen korkokannan menetelmästä. Menetelmä kuvaa investoinnin tuottoa suhteessa investointiin käytettyyn sijoitukseen ja antaa nopeasti käsityksen siitä, miten kannattava investointi on ollut. Pääoman tuottoastemenetelmässä perusideana on laskea tuottoprosentti vertaamalla keskimääräisiä vuotuisia nettotuottoja ja investoinnin keskimäärin sitomaan pääomaan keskenään. Toisena vaihtoehtona on laskea yksinkertaisesti tuottoprosentti perusinvestoinnille. Tuottoprosentin ollessa positiivinen on investointiin sijoitetut rahat tuottaneet voittoa, kun taas tuottoprosentin ollessa negatiivinen on investointi ollut tappiollinen. Yksinkertaisesti voidaan sanoa, että mitä korkeampi tuottoprosentti investoinnilla on, niin sitä kannattavampi se on. (Pellinen 2019, 176.)

## **6 Case: Kuljetusliike Koivulahti Oy**

### **6.1 Nykytila**

Yrityksen nykytilan kartoittaminen on yksi tutkimustyön lähtökohdista. Tutkimustyön käynnistäminen edellyttää, että toimeksiantaja yrityksen ajoneuvojen nykytila on kuvattu sekä kehittämiskohteet ja vahvuudet tunnistettu. Nykytila-analyysi on tehty haastattelemalla yrityksen henkilöstöä ja



käsittelmällä toimeksiantaja yrityksen käytössä olevaa dataa sekä osallistumalla operatiiviseen toimintaan, kuten kuljetussuunnitteluun ja irtorehu kuljetuksiin. Tässä luvussa käsitellään ja analysoidaan nykytila-analyyseissä saatuja tuloksia.

Toimeksiantaja yrityksellä on käytössä kolme ajoneuvoyhdistelmää, jotka ovat suunniteltu irtorehun kuljettamiseen. Ajoneuvoista kaksi on päivittäisessä käytössä ympärivuoden ja yhtä pidetään vara-autona. Vara-autolla irtorehua kuljetetaan vain tarpeen vaatiessa esimerkiksi huoltojen tai toimituskiireiden aikaan. Tässä tutkimuksessa esimerkkeinä käytetään kahta päivittäin rehukuljetuksissa käytössä olevaa ajoneuvoa, koska niiden käyttötehtävät ovat täysin samanlaiset. Taulukkoon 1 on kerätty dataa päivittäin käytössä olevien ajoneuvojen nykytilasta viimeisen neljän vuoden ajalta. Ajoneuvoista kerätyille arvoille on laskettu jokaiselle keskiarvo viimeiseltä neljältä vuodelta ja näitä arvoja tullaan tutkimuksessa käyttämään.

Taulukko 1. Ajoneuvojen polttoaineenkulutukset

1	2	3	4	5	6	7	8
Ajoneuvo	Polttoaineen kokonaiskulutus (l/a)	Polttoaineenkulutuksen kokonaiskulut (€/a)	Voimanulosoton polttoaineenkulut (l/h)	Voimanulosoton käyntiaika (h/a)	Voimanulosoton polttoaineenkulut (l/a)	Voimanulosoton %-osuus kokonaiskulutuksesta	Voimanulosoton käytöstä koostuneet polttoainekulut (€/a)
<b>Rehuauto 1</b>							
2020	64301	83 424,12 €	13,8	928	12806,4	19,9 %	16 615,02 €
2021	72781	114 084,22 €	15,3	951	14550,3	20,0 %	22 807,60 €
2022	50417	111 194,69 €	15,4	979	15076,6	29,9 %	33 251,44 €
2023	70755	139 833,11 €	14,9	1099	16375,1	23,1 %	32 362,11 €
4. Vuoden ka.	64564	112 134,03 €	14,9	989	14702,1	22,8 %	26 259,04 €
<b>Rehuauto 2</b>							
2020	71322	92 533,16 €	12,5	1435	17937,5	25,2 %	23 272,11 €
2021	69613	109 118,38 €	12,7	1425	18097,5	26,0 %	28 367,83 €
2022	65465	144 383,06 €	13,4	1371	18371,4	28,1 %	40 518,12 €
2023	64817	128 097,84 €	13,5	1155	15592,5	24,1 %	30 815,46 €
4. Vuoden ka.	67804	118 533,11 €	13,0	1347	17499,7	25,8 %	30 743,38 €

Taulukkoa 1 tarkasteltaessa voidaan todeta, että ajoneuvojen käyttöasteet ovat jokseenkin samankaltaiset, joten ajoneuvot soveltuvat hyvin tutkimuksessa vertailukohteiksi. Molempien ajoneuvojen keskimääräiseksi polttoaineen kokonaiskulutukseksi on saatu yli 60 000 litraa vuodessa, kun on tarkasteltu neljää viimeisintä vuotta. Voimanulosoton prosenttiosuus polttoaineen kokonaiskulutuksesta nähdään yllä olevasta taulukosta 1, kun tarkastellaan saraketta seitsemän. Toisen ajoneuvon kohdalla voimanulosoton keskimääräinen osuus polttoaineenkulutuksesta viimeisen neljän vuoden aikana on ollut noin 23 % ja toisen ajoneuvon kohdalla sama luku on vastaavasti noin 26 %. Voimanulosoton osuutta polttoaineen kokonaiskulutuksesta voidaan pitää huomattavan korkeana, mutta toimeksiantajan kuljetustehtävät ovat hyvin tiheäsyklistä, joka selittää ilmiötä.

Toimeksiantajan kuljetustehtävät koostuvat broilerin irtorehukuljetuksista ja broilerin kasvatus-tilat sijaitsevat pääsääntöisesti hyvin lyhyellä säteellä rehutehtaasta, jolloin kuljetusetäisyydet pysyvät hyvin alhaisina. Toimeksiantaja kuljettaa noin 1000 rehukuormaa kummallakin ajoneuvolla vuodessa, joka tarkoittaa, että kuormia ajetaan keskimäärin kolme vuoden jokaisena päivänä. Jokaisessa rehukuorman purkutapahtumassa kuorma-auton moottoria käytetään mekaanisen voimanulosoton voimanlähteenä. Tämä on juurisyy sille, miksi voimanulosoton käytöstä koostuva polttoaineen kokonaiskulutus on vuositasolla huomattavan korkea. Taulukosta 1 nähdään myös, kuinka kauan voimanulosotto on ollut ajallisesti käytössä viimeisimpien neljän vuoden aikana ajoneuvoissa sekä sarakkeesta kahdeksan nähdään siitä muodostuneet laskennalliset polttoainekustannukset. Polttoainekustannuksien laskentaan on käytetty autoalan tiedotuskeskuksen julkaisemia polttoaineen hintakehityksiä. Polttoaineen hinta on määritetty kunkin vuoden kohdalla autoalan tiedotuskeskuksen taulukkoja tarkastelemalla ja laskemalla kyseisen vuoden dieselin litrahinnan keskiarvo. (Bensiinin ja dieselin hintakehitys 2023.) Tämän tutkimuksen yksi tavoite oli tutkia, miten sähköisen voimanulosoton käyttäminen voimanlähteenä vaikuttaisi näihin lukuihin.

## 6.2 Sähköinen voimanulosotto toimeksiantajalla

Tässä kappaleessa käydään läpi sähköisen voimanulosoton vaatimuksia ja tarkastellaan, onko sähköinen voimanulosotto järkevä tai mahdollinen toteuttaa toimeksiantajan kuljetustehtäviin. Kappaleessa tuodaan esiin myös mahdollisen hybridi voimanulosottosovelluksen soveltuvuutta toimeksiantajalle. Tätä kappaletta varten tutkimuksessa haastateltiin Banke ApS:n silloista aluemyyntipäällikköä Sebastian Hansenia. Haastattelun myötä saatuja tuloksia on käytetty apuna, kun etsittiin vaihtoehtoisia käyttövoimia voimanulosotolle toimeksiantajan tarpeisiin. Banke ApS on tanskalainen elektroniikkavalmistaja, joka toimittaa sähköisiä voimanulosottokonsepteja ympäri maailmaa.

Sähköinen voimanulosotto ei vaadi kuorma-autolta teknisiä muutoksia vaan se voidaan jälkiasentaa kuorma-autoon mallista ja merkistä riippumatta. Sähköinen voimanulosotto koostuu usean komponentin kokoonpanosta, joten se vaatii kuitenkin melko paljon tilaa asennukselle. Bulk-säiliöajoneuvokuljetuksissa on tyypillistä, että kuorma-autoihin asennetaan usein paljon erilaisia lisävarusteita, jotka syövät paljon tilaa kuorma-auton rungosta. Tämän takia sähköiselle voimanulosottokonseptille jäävä tila on hyvin rajallista, joten mahdollinen investointipäätös sähköiseen voimanulosottokonseptiin täytyisi huomioida jo uuden kuorma-auton suunnitteluvaiheessa. Suurin

yksittäinen komponentti sähköisessä voimanulosottokonseptissa on akusto. Akusto on tyypillisesti sijoitettu joko kuorma-auton runkoon (ks. kuvio 4) tai akusto on rakennettu täysin erilliseen irralliseen kaappiin, joka sijoitetaan esimerkiksi kuorma-auton hytin ja kuormatilan väliin (ks. kuvio 6). Sähköisen voimanulosoton myötä ajoneuvon omamassa kasvaa, joten sillä voi olla vaikutuksia kuorma-auton polttoaineen kokonaiskulutukseen sekä ajoneuvon suorituskykyyn.

Toimeksiantajalla sähköinen voimanulosotto olisi täysin suunniteltu tarjoamaan voimaa kompressorille, jonka avulla ajoneuvosäiliöihin luodaan paine, jotta broilerinrehut saadaan purettua asiakkaille. Toimeksiantajan suoritealalla ajoneuvoilla ajetaan vuoden jokaisena päivänä, joten ajoneuvot altistuvat vaihteleville sää- ja käyttöolosuhteille. Tästä syystä voimanulosoton täytyy olla suunniteltu kestäämään kovaa käyttöä. Esimerkiksi Banke ApS:n tarjoama sähköinen voimanulosottokonsepti on suunniteltu toimimaan -20 ja +45 asteen käyttölämpötiloissa, joten se voisi aiheuttaa ongelmia Suomen vaihtelevien sääolosuhteiden takia. (Hansen 2023.)



Kuvio 6. Banke ApS:n erillinen akustokaappi (E-PTO systems n.d.)

### **Polttoaineenkulutuksen ja kulujen eroavaisuudet**

Alla olevaan taulukkoon 2 on kerätty dataa toimeksiantajan tietojärjestelmästä. Toimeksiantaja yrityksen käytössä olevaa dataa on tutkittu neljän viimeisen vuoden ajalta, josta on laskettu polttoaineenkulutuksen ja polttoainekustannuksien keskiarvot, joita laskelmissa on hyödynnetty. Taulukkoon 2 on tuotu näkyviin mekaanisen voimanulosoton käytöstä koostuva polttoaineen kokonaiskulutus sekä siitä syntyvät polttoainekustannukset. Mekaaninen voimanulosotto vaatii toimiakseen aina ajoneuvon moottorin käymisen ja toimeksiantajan suoritealalla voimanulosottoa käytetään paljon, joka on selittävä tekijä korkealle polttoaineenkulutukselle ja siitä muodostuvalle kustannukselle.

Verrokkina taulukkoon on lisätty laskennallinen ennuste, minkälainen etu olisi mahdollisesti saavutettavissa sähköisen voimanulosoton avulla, mikäli tällä hetkellä käytössä olevista ajoneuvoista sellainen löytyisi. Kolmantena taulukkoon on lisätty myös edellä mainittujen voimanulosottojen yhdistelmän eli hybridi voimanulosoton käytöstä laskennallisesti ennustettuja polttoaineenkulutuksia sekä kuluja. Hybridi voimanulosoton polttoaineenkulutusta ja kuluja laskettaessa on ajateltu, että päivässä ajettavista kuormista kaksi purettaisiin sähköistä voimanulosottoa käyttäen ja kolmas kuorma mekaanista voimanulosottoa käyttäen. Tällöin mekaanisen voimanulosoton käyttötunnit vähenisivät vuodessa laskennallisesti 67 prosenttia. Voimanulosottojen eriteltyt käyttötunnit löytyvät liitteestä kaksi.

Taulukko 2. Polttoaineenkulutusten ja kulujen vertailutaulukko

Rehuauto 1					
1	2	3	4	5	
Mekaaninen voimanulosotto	Ajoneuvon polttoaineen kokonaiskulutus (l/a)	Voimanulosoton polttoaineenkulutus (l/a)	Voimanulosoton käytöstä koostuneet polttoainekulut (€/a)	Polttoaineenkulutuksen kokonaiskulut (€/a)	
4. Vuoden ka.	64564	14702	26 259,04 €	112 134,03 €	
Sähköinen voimanulosotto (ePTO)	Ajoneuvon polttoaineen kokonaiskulutus (l/a)	Sähköisen voimanulosoton polttoaineenkulutus	Sähköisen voimanulosoton polttoainekulut (€/a)	Polttoaineenkulutuksen kokonaiskulut (€/a)	Säästö polttoainekustannuksissa (%/a)
Vuotuinen arvio	49861	0	0,00 €	85 874,99 €	23 %
Hybridi voimanulosotto	Ajoneuvon polttoaineen kokonaiskulutus (l/a)	Hybridi voimanulosoton polttoaineenkulutus (l/a)	Hybridi voimanulosoton polttoainekulut (€/a)	Polttoaineenkulutuksen kokonaiskulut (€/a)	Säästö polttoainekustannuksissa (%/a)
Vuotuinen arvio	59716	4848	8 540,28 €	103 593,75 €	8 %
Rehuauto 2					
1	2	3	4	5	
Mekaaninen voimanulosotto	Ajoneuvon polttoaineen kokonaiskulutus (l/a)	Voimanulosoton polttoaineenkulutus (l/a)	Voimanulosoton käytöstä koostuneet polttoainekulut (€/a)	Polttoaineenkulutuksen kokonaiskulut (€/a)	
4. Vuoden ka.	67804	17500	30 743,38 €	118 533,11 €	
Sähköinen voimanulosotto (ePTO)	Ajoneuvon polttoaineen kokonaiskulutus (l/a)	Sähköisen voimanulosoton polttoaineenkulutus	Sähköisen voimanulosoton polttoainekulut (€/a)	Polttoaineenkulutuksen kokonaiskulut (€/a)	Säästö polttoainekustannuksissa (%/a)
Vuotuinen arvio	50305	0	0,00 €	87 789,73 €	26 %
Hybridi voimanulosotto	Ajoneuvon polttoaineen kokonaiskulutus (l/a)	Hybridi voimanulosoton polttoaineenkulutus (l/a)	Hybridi voimanulosoton polttoainekulut (€/a)	Polttoaineenkulutuksen kokonaiskulut (€/a)	Säästö polttoainekustannuksissa (%/a)
Vuotuinen arvio	62017	5788	10 195,86 €	108 337,25 €	9 %

Taulukkoa 2 analysoidessa huomataan, että mekaanisen voimanulosoton käytöstä koostunut polttoaineenkulutus on toisessa tarkasteltavassa ajoneuvossa ollut viimeisen neljän vuoden aikana keskimäärin noin 15000 litraa vuodessa ja toisen ajoneuvon kohdalla vastaavasti kulutettu polttoainemäärä on ollut noin 18000 litraa. Sähköisen voimanulosoton avulla nämä arvot saavuttaisivat luvun 0, kun ajoneuvoihin asennettujen voimaa tarvitsevien lisälaitteiden käyttäminen tapahtuisi

ainoastaan sähkövirtaa hyödyntäen. Sähkövirta olisi varastoituna ajoneuvoon asennettuun akustoon, joka on osa sähköisen voimanulosoton kokonaisuutta. Näin ollen ajoneuvojen moottoria ei tarvitsisi enää käyttää voimanulosoton voimanlähteenä. Sähköisen voimanulosoton avulla olisi myös luonnollisesti vaikutusta ajoneuvon vuotaiseen polttoaineen kokonaiskulutukseen, koska mekaanisen voimanulosoton kuluttama polttoaine saataisiin täysin poistettua. Jäljelle jäisi tällöin ajokulutus sekä muu polttoaineenkulutus, joka pitää sisällään esimerkiksi tyhjäkäynnistä koostuvan polttoaineenkulutuksen. Taulukon 2 saraketta neljä katsottaessa nähdään, minkälaiset polttoainekustannukset ovat syntyneet keskimäärin viimeisen neljän vuoden aikana pelkästään mekaanisen voimanulosoton käytöstä molemmissa ajoneuvoissa. Laskennallisesti molempien ajoneuvojen kohdalla mekaanisen voimanulosoton käytöstä koostuvat polttoainekustannukset ovat yli 20 % polttoaineen kokonaiskustannuksista vuodessa.

Taulukosta 1 sarakkeesta kahdeksan voidaan tarkastella tarkemmin, miten voimanulosoton käytöstä syntyneet polttoainekustannukset ovat vaihdelleet eri vuosien välillä. Kustannusmuutoksista voidaan helposti tulkita, miten paljon polttoaineen litrahinta on vaihdellut vuosien välillä ja miten litrahinnan muutokset ovat yhteydessä maailman muuttuviin tilanteisiin ja olosuhteisiin. Kokonaiskustannuksien tarkkoja arvoja on lähes mahdotonta laskea, koska polttoaineen litrahinta vaihtelee jatkuvasti. Polttoainekustannuksien keskiarvon perusteella saadaan kuitenkin käsitys, minkälaisia kokonaiskustannussäästöjä voitaisiin mahdollisesti saavuttaa vuositasolla.

Oletuksena voidaan kuitenkin pitää sitä, että polttoaineen litrahinta pysyy samassa tasossa kuin nyt, tai mahdollisesti jopa nousee. Olettaman perusteena pidetään sitä, että tämän hetken trendi on, että fossiilisista polttoaineista päästäisiin eroon tai käyttöä pyrittäisiin ainakin huomattavasti vähentämään. Fossiilisista polttoaineista luopuminen on yksi merkittävimpiä tapoja vaikuttaa päästöihin ja sitä kautta edesauttaa ilmastonmuutoksen torjumista. (Sallinen 2023.)

Sähköisen voimanulosoton myötä ajoneuvossa olevien voimaa tarvitsevien lisälaitteiden käytöstä koostuvat polttoainekustannukset vuodessa olisivat puhtaasti 0 euroa, koska voimanlähteenä voimanulosotolle käytettäisiin akustoihin varastoitua sähkövirtaa, ajoneuvon moottorin käyttämisen sijaan. Sähköinen voimanulosotto vaatii toimiakseen akuston ja akustossa täytyy näin myös olla virtaa. Virta akustoon saadaan verkkovirrasta akkulaturin avustuksella. Akuston latauksesta syntyy

myös kustannuksia, koska lataussähkö joudutaan ostamaan, mutta se on huomattavasti halvempaa kuin polttoaine. Latauksesta koostuvia kustannuksia on arvioitu ja analysoitu luvussa 6.2.

Hybridi voimanulosottosovelluksen vaikutuksia, kun tarkastellaan taulukosta 2, niin huomataan positiivisten vaikutusten olevan huomattavasti alhaisempi, kuin täysin sähköisessä voimanulosotokonseptissa. Hybridi voimanulosotolla voitaisiin laskennan mukaan säästää polttoaineen kokonaiskustannuksissa noin 7–10 % per vuosi, kun taas vastaavasti polttoaineen kokonaiskustannussäästö sähköisellä voimanulosotolla olisi mahdollisesti noin 22–27 % vuodessa. Mikäli toimeksiantaja asettaisi ajoneuvoilleen pitoajaksi esimerkiksi kuusi vuotta, niin olisi kokonaiskustannussäästö polttoaineen osalta hybridi voimanulosotolla tuona aikana noin 50 000–62 000 € riippuen ajoneuvosta ja vastaavasti kokonaiskustannussäästö olisi sähköisellä voimanulosotolla mahdollisesti jopa 155 000–185 000 € riippuen ajoneuvosta. Laskennan myötä saatuja arvoja ei voida kuitenkaan pitää täysin luotettavina, koska polttoaineen litrahinnan tulisi pysytellä samassa tasossa, kun se tutkimusta tehdessä on ollut.

## **CO<sub>2</sub>-päästöt**

Taulukosta 1 sarakkeesta viisi nähdään, että kuorma-autojen moottorit käyvät keskimäärin 950–1400 tuntia vuodessa, koska moottoria käytetään voimanlähteenä mekaaniselle voimanulosotolle. Helposti ajatellaan, että moottoreitahan käytetään toimeksiantajan tapauksessa täysin turhaan. Moottorin joutokäynti itsessään onkin turhaa, mutta silloin, kun kuorma-auton moottoria käytetään voimanlähteenä voimanulosotolle, jotta rehukuormat saadaan purettua asiakkaille sen käyttäminen ei olekaan turhaa. Kuorma-autojen moottorit ovat kuitenkin alun perin tarkoitettu takaamaan kuorma-auton liikkuvuutta, joten näin ollen sitä voidaan pitää liian suurena voimanlähteenä voimanulosotolle. Kuorma-auton moottorin joutokäyttäminen vaikuttaa negatiivisesti yrityksen talouteen, CO<sub>2</sub>-päästöihin sekä moottorin käyttöikään.

Alla olevaan taulukkoon 3 on kerätty dataa toimeksiantajan tietojärjestelmistä viimeisen neljän vuoden ajalta siitä, miten paljon yrityksen rehukuljetuksiin suunnitelluista ajoneuvoista on syntynyt CO<sub>2</sub>-päästöjä. Toimeksiantajan molemmat ajoneuvot täyttävät tämän hetken vaativimmat euro 6 luokan päästöstandardit, joten ne ovat hyvin energiatehokkaita sekä vähäpäästöisiä. Toimeksiantajan ajoneuvojen seurantajärjestelmään on CO<sub>2</sub>-päästöille asetettu arvo, että niitä syntyy

noin 2,64 kg/kulutettu polttoainelitra. Asetettua arvoa ei voida pitää täysin luotettavana, koska CO<sub>2</sub>-päästö määrät vaihtelevat ajoneuvon mukaan ja todellisten CO<sub>2</sub>-päästöarvojen laskemiseksi tarvittaisiin teknologiaa, jota tutkimuksessa ei ollut käytettävissä. Näin ollen laskelmissa on käytetty ennalta määritettyä CO<sub>2</sub>-päästöarvoa 2,64 kg/l.

Taulukkoa 3 tarkasteltaessa voidaan todeta, että ajoneuvoista syntyneet CO<sub>2</sub>-päästöt ovat melko korkeat, koska ajoneuvojen käyttöaste ja polttoaineen kokonaiskulutus on vuosi tasolla suuri. Kuten tutkimuksessa on aikaisemmin todettu, niin sähköisen voimanulosoton myötä ajoneuvojen vuosittainen polttoaineen kokonaiskulutus saataisiin huomattavasti laskemaan, jolloin se vaikuttaisi luonnollisesti myös ajoneuvon CO<sub>2</sub>-päästöihin. Taulukkoon 3 on tuotu mukaan laskennallinen arvio, paljonko CO<sub>2</sub>-päästöjä mahdollisesti syntyisi, mikäli toimeksiantajalla olisi käytössä täysin sähköinen tai hybridi voimanulosotto tämän hetken ajoneuvoissa. Taulukosta 3 voidaan havaita, että siirtyminen sähköiseen voimanulosottoon johtaisi merkittävään CO<sub>2</sub>-päästöjen vähenemiseen verrattuna mekaanisen voimanulosoton käyttöön.

Taulukko 3. Toimeksiantajan ajoneuvojen CO<sub>2</sub>-päästöt

1	2	3
<b>Ajoneuvojen CO<sub>2</sub>-päästöt</b>	<b>Rehuauto 1</b>	<b>Rehuauto 2</b>
<b>Vuosi</b>	<b>Kg/a</b>	<b>Kg/a</b>
2020	169755	188292
2021	192142	183780
2022	133101	172830
2023	186795	171119
<b>Ajoneuvon 4. vuoden CO<sub>2</sub>-päästöjen keskiarvo</b>	<b>170448</b>	<b>179005</b>
<b>Arvio ajoneuvon CO<sub>2</sub>-päästöistä sähköisellä voimanulosotolla</b>	<b>131634</b>	<b>132804</b>
<b>CO<sub>2</sub>-päästö vähennykset vuodessa (ePTO)</b>	<b>23 %</b>	<b>26 %</b>
<b>Arvio ajoneuvon CO<sub>2</sub>-päästöistä hybridi voimanulosotolla</b>	<b>157649</b>	<b>163724</b>
<b>CO<sub>2</sub>-päästö vähennykset vuodessa (hybridi)</b>	<b>8 %</b>	<b>9 %</b>



Taulukon 3 analysoinnista käy ilmi, että käyttämällä täysin sähköistä voimanulosottoa toimeksiantajan tapauksessa CO<sub>2</sub>-päästöjen vähennys voisi olla jopa 20–26 prosenttia vuodessa. Hybridi voimanulosotonkin myötä CO<sub>2</sub>-päästöt vähenisivät jo noin 7–10 prosenttia vuodessa, mikäli kolmesta päivässä ajettavasta rehukuormasta kaksi purettaisiin sähköä käyttäen voimanulosoton voimälähteenä. Mikäli toimeksiantaja määrittäisi ajoneuvoilleen pitoajaksi esimerkiksi kuusi vuotta, niin sähköisen voimanulosoton myötä CO<sub>2</sub>-päästövähennys voisi tuona aikana olla jopa yli 200 tonnia per ajoneuvo. On kuitenkin tärkeää huomioida, että vaikka siirtyminen sähköiseen tai hybridi voimanulosottoon toisi merkittäviä CO<sub>2</sub>-päästövähennyksiä, niin syntyisi CO<sub>2</sub>-päästöjä myös voimanulosottojen akuston lataamisesta. Akuston lataamiseen käytettävän energianlähde määrittää sen, miten ympäristöystävällistä akuston lataaminen on.

### Hyötykuorma

Toimeksiantajan rehukuljetuksiin suunnitellut kuorma-autot ovat molemmat 4 akselisia, jolloin kuorma-autojen tieliikenteessä suurimmaksi sallituksi kokonaismassaksi on määritetty 35000 kg. Kuorma-autojen alustojen päälle on asennettu ajoneuvosäiliöt ja kuorma-auton runkoon on kiinnitetty erilaisia lisälaitteita, kuten kompressori. Ajoneuvosäiliö ja bulk-säiliöajoneuvokuljetuksissa tarvittavat lisälaitteet kasvattavat kuorma-autojen omamassaa, joka vaikuttaa ajoneuvojen kantavuuteen. Kuorma-auton kantavuus saadaan laskettua yksinkertaisella kaavalla:

Kantavuus = kuorma-auton suurin sallittu kokonaismassa tieliikenteessä – ajoneuvon omamassa.

Toimeksiantajan kuorma-autojen kantavuudet nähdään alla olevasta taulukosta 4.

Sähköinen voimanulosottokonsepti koostuu usean komponentin kokoonpanosta, joten ajoneuvojen omamassa tulisi kasvamaan asennuksen jälkeen. Alla olevaan taulukkoon 4 on tuotu näkyviin sähköisen voimanulosoton komponenteista muodostuvat painot. Komponenttien painot ovat suuntaa antavia painoja paljonko esimerkiksi Banke ApS:n tarjoamasta sähköisestä voimanulosottokonseptista muodostuisi ajoneuvolle lisäpainoa. (Hansen 2023.) Sähköisen voimanulosoton painoon on monta vaikuttavaa tekijää. Esimerkiksi akuston koon kasvaessa paino nousee ja puolestaan akuston koon pienentyessä paino luonnollisesti vähenee. Taulukosta 4 nähdään myös, miten sähköinen voimanulosottokonsepti vaikuttaisi tällä hetkellä käytössä olevien ajoneuvojen kantavuuteen.

Taulukko 4. Ajoneuvojen kantavuudet sekä sähköisen voimanulosottokonseptin paino

130kWh akuston paino (kg)	1250				
Sähköisen voimanulosoton paino (kg) (sisältää sähkömoottorin, invertterin, jäädyttimen sekä ohjaimet ja sensorit)	440				
1	2	3	4	5	6
Ajoneuvo	Tieliikenteessä suurin sallittu kok.massa (kg)	Ajoneuvon omamassa (kg)	Ajoneuvon kantavuus (kg)	Ajoneuvon uusi kantavuus (kg) Sähköisen voimanulosoton kanssa	Kantavuuden muutos
Rehuauto 1	35000	13735	21265	19575	-7,95 %
Rehuauto 2	35000	13830	21170	19480	-7,98 %

Toimeksiantajan molemmat kuorma-autot ovat suunniteltu varsinaisen perävaunun vetoon. Toimeksiantajalla on käytössä kaksi täysin samanlaista varsinaista perävaunua. Varsinaisten perävaunujen suurin sallittu kokonaismassa tieliikenteessä on 42000 kg. Varsinaisten perävaunujen kantavuus saadaan laskettua samalla kaavalla, kuin kuorma-autojenkin. Laskennan jälkeen varsinaisten perävaunujen kantavuudeksi on saatu 33250 kg. Näin ollen ajoneuvoyhdistelmien kokonaiskantavuudeksi saadaan:

Rehuauto 1 kohdalla mekaanisen voimanulosoton kanssa 54 515 kg ja sähköisen voimanulosoton kanssa 52 825 kg. Rehuauto 2 kohdalla mekaanisen voimanulosoton kanssa 54 420 kg ja sähköisen voimanulosoton kanssa 52 730 kg. Ajoneuvoilla kuljetettävien kuormien keskimääräinen koko määrittää sen, olisiko kokonaiskantavuuden aleneminen taloudellisesti miten merkittävää. Mikäli kuljetettävien kuormien kokoa jouduttaisiin pienentämään kokonaiskantavuuden alenemisen takia, olisi sillä negatiivinen vaikutus liiketoimintaan, koska kuormien koko määrittää niistä saatavat korvaukset.

## Energiankulutus

Toimeksiantajan ajoneuvoissa on paineentuotto säiliöihin toteutettu ruuvikompressorilla, joka on malliltaan Typhon II-20R (ks. liite 1). Toimeksiantajan kuljetustehtävissä purkupaine on pääsääntöisesti aina noin yksi baari ja kompressorin kierrosluku on 2000 rpm. Käytössä oleva ruuvikompressori vaatii noin 45 kilowatin jatkuvan tehon, jotta kompressori pyörii 2000 kierrosta minuutissa, jolloin se pystyy tuottamaan purkamiseen tarvittavan ilmamäärän sekä ylläpitämään painetta vaadittavan yhden baarin verran. Ruuvikompressorin tehon tarve sekä ilmanpaine ja ilmantuotto voidaan tarkastaa liitteessä yksi olevista taulukoista.

Rehukuormien purkamiseen käytettävä aika ei ole koskaan vakio, sillä kuljetettavien kuormien koot vaihtelevat. Purkuaikaan on muitakin vaikuttavia tekijöitä, kuten purkuputkien ja letkujen pituus sekä erilaisten rehulaatujen ominaisuudet. Toimeksiantajan kuljetustehtävissä rehukuormien purkuun käytettävä aika on yleensä enintään 2.5 tuntia ja vähimmillään noin 30 minuuttia. Voimanulosottoa käytetään kompressorin pyörittämiseen yleensä jo niin sanotussa purkamisen valmisteluvaiheessa. Purkamisen valmisteluvaiheessa nostetaan esimerkiksi paineet vaadittavalle tasolle säiliöissä ja asetellaan tarvittavat purkuvälineet, jotta rehun purkaminen voidaan aloittaa asiakkaalle. (Kivimäki 2024.)

Akuston kapasiteetti sähköisessä voimanulosotossa täytyy määrittää tarvittavan energiamäärän mukaan. Teoreettinen energiankulutus voidaankin tässä tapauksessa laskea yksinkertaisella kaavalla:  $\text{Energiankulutus (kWh)} = \text{kompressorin vaatima teho (kW)} \times \text{purkuun käytetty aika (h)}$ . Teoreettisesti siis toimeksiantajan tapauksessa tarvitaan 112,5 kilowattituntia energiaa ( $45\text{kW} \times 2.5 \text{ h}$ ), jotta kompressoria voitaisiin pyörittää yhtäjaksoisesti vähintään 2.5 tuntia. Ottaen huomioon kuitenkin aikaisemmin mainitut purkamisen yhteydessä tapahtuvat valmistelutyöt sekä tehohäviöt, joita kompressorin sekä sähkömoottorin käyttämisessä syntyy, niin tulisi akuston kokoa hieman ylilimitoittaa. Toimeksiantajan tapauksessa akuston varmuusvara tulisi olla vähintään 15–20 % vaadittua enemmän, jotta kuormien purkuun tarvittavaa sähköenergiaa olisi varmasti riittävästi (Hansen 2023). Akuston varmuusvara suojaa akustoa myös vaurioitumiselta, koska akustoa ei käytettäisi täysin tyhjäksi. 15 % varmuusvaralla toimeksiantajan akuston kapasiteetiksi tulisi 130 kWh.

### **Akuston lataus**

Akkulaturi on kannattavaa valita akuston koon sekä lataustarpeen mukaan. Mikäli toimeksiantajalla olisi 130 kilowattitunnin akusto käytössä voidaan olettaa, että se purkautuisi lähes kokonaan, kun sähköistä voimanulosottoa käytettäisiin yhtäjaksoisesti yli 2 tuntia rehukuorman purkamisessa. Rehukuormia ajetaan keskimäärin kolme vuoden jokaisena päivänä ja kuormien lastaaminen tapahtuu aina A-rehun tuotantotiloissa Koskenkorvalla. Näin ollen toimeksiantajan kohdalla off-board laturi olisi järkevin ratkaisu ja se kannattaisi sijoittaa rehutehtaalle. Akustoa pystyttäisiin lataamaan aina lastauksien aikana rehutehtaalla ja pikalaturin vaatima virta voisi todennäköisesti olla saatavilla.

Rehukuormien lastaaminen ottaa aikaa keskimäärin 1–1.5 tuntia per kuorma. Teoreettisesti laskettuna akkulaturin latausteho täytyisi olla vähintään 86 kilowattia, jos käytössä olisi 130 kilowattitunnin akusto ja se haluttaisiin ladata 1.5 tunnin lastauksen aikana täyteen. Käytännössä akusto ei kuitenkaan aina ole välttämättä täysin tyhjä, koska akustoon on mitoitettu tietty varmuusvara. Näin ollen akuston varaustasolla on luonnollisesti vaikutusta latausnopeuteen. Huomioitavaa on myös, että akuston latauksessa syntyy erilaisia tehohäviöitä, kuten akkulaturin ja latauskaapelin lämpiämisestä aiheutuvaa tehohäviötä, joka vaikuttaa myös akuston lataamiseen. Tästä syystä akuston laturin olisi syytä olla huomattavasti minimivaatimusta tehokkaampi, jotta akusto saataisiin varmasti ladattua täyteen rehukuormien lastauksien aikana. Huomioitavaa on myös se, että akuston täytyy olla suunniteltu niin, että se voisi vastaanottaa huomattavan suurta lataustehoa.

Akkulaturin tehon ollessa 86 kilowattia tai mahdollisuuksien mukaan jopa vielä enemmän vaatii se luonnollisesti myös huomattavan paljon virtaa toimiakseen optimaalisesti. Akkulaturin vaatima virta voidaankin laskea yksinkertaisesti kaavalla:

$$\text{Virta (I)} = (P) / (U)$$

missä P on akkulaturin sähköteho ja U on latausjännite.

### **Akuston latauksesta koostuvat kustannukset**

Sähköisen voimanulosoton akuston kooksi toimeksiantajalle on tutkimuksessa määritelty 130 kWh, jonka perusteella latauksesta koostuvia kustannuksia on arvioitu. Latauskustannuksia laskettaessa on oletettu, että toimeksiantajan rehukuljetuksissa akustoon varastoitu sähköenergia kulutettaisiin loppuun kokonaisuudessaan kolmesti päivässä. Näin ollen akusto täytyisi myös ladata kolmesti, jolloin energian kokonaiskulutukseksi muodostuisi 390 kWh päivässä. Laskelmissa on oletettu akuston täysi purkautuminen sen takia, että akuston latauksesta koostuvat maksimaaliset kustannukset on saatu selville. Huomioitavaa kuitenkin on, että sähköistä voimanulosottoa täytyisi käyttää yhtäjaksoisesti vähintään 2.5 tuntia, ennen kuin voidaan olettaa, että 130 kWh:n akusto purkautuisi kokonaan, kun taas 30 minuutin purkutapahtumassa akustosta käytettäisiin vain noin 20 % siihen varastoidusta energiasta. Tästä syystä laskennan avulla saatuja lukuja ei voida pitää täysin luotettavina, koska purkamiseen käytetty aika vaikuttaa oleellisesti siihen paljonko akustoon jää energiaa varastoon ennen seuraavaa latausta.

Alla olevaan taulukkoon on muodostettu ennuste, paljonko akuston latauksesta voisi mahdollisesti koostua kustannuksia vuodessa, jos akusto ladattaisiin jokaisella latauskerralla tyhjästä täyteen. Ennusteessa on käytetty vuoden 2023 pörssisähkön keskihintaa kuluttajalle. (Jalli n.d.)

Taulukko 5. Akuston latauskustannukset

Sähkön keskihinta 2023	0,072	€/kWh
Akuston koko	130	kWh
Latauskerrat / pv	3	x
Sähkönkulutus / pv	390	kWh
Yhden latauksen hinta	9,36	€
Latauksien hinta / pv	28,08	€
Latauskustannukset / a	10249,20	€

Sähköisen voimanulosoton akuston lataamisesta koostuisi kustannuksia arviolta noin 10 000 € vuodessa, kun sähkön hinnaksi on määritelty vuoden 2023 pörssisähkön keskihinta. Taulukosta 1 voidaan puolestaan vertailun vuoksi tarkastella mekaanisen voimanulosoton käytöstä syntyneitä laskennallisia polttoainekustannuksia ajoneuvoa kohden vuonna 2023. Polttoainekustannukset ovat olleet vuonna 2023 noin 30 000 € ja 33 000 € välillä. Kustannuslaskentojen myötä saatuja lukuja, kun vertaillaan keskenään, on helposti havaittavissa, että polttoainehinta on ollut huomattavan korkea, joten kustannussäästö olisi tuona vuonna voinut olla arviolta jopa 20 000 € - 23 000 €.

Toinen vaikuttava tekijä miksi laskennan myötä saatuja lukuja ei voida pitää täysin luotettavina on se, että polttoaineen ja pörssisähkön hintatason tulisi pysytellä jatkuvasti vuoden 2023 tasolla, joka on hyvin epätodennäköistä. Polttoaineen ja sähkön hinnan arviointi on lähes mahdotonta, koska hintatason vaihtelu on runsasta ja siihen on huomattavan paljon vaikuttavia tekijöitä.

### **Akuston käyttöikä**

Akuston käyttöikään vaikuttavia tekijöitä (ks. luku 4.3) on listattu tutkimuksen tietoperustassa. Toimeksiantajan kohdalla suurin vaikuttava tekijä akuston käyttöikään on purkaus- ja lataussyklit, joita kertyisi vuositasona hyvin runsaasti.

Esimerkiksi Banke ApS antaa kahden vuoden takuun sähköisen voimanulosoton akustoilleen ja lupaa, että akuston kapasiteetti alkaa laskea vasta 2000 latauskerran jälkeen. 2000 latauskerran jälkeen akuston kapasiteetin odotetaan laskevan noin 80 prosenttiin. (Hansen 2023.)

Toimeksiantajan kuljetussyklillä akustoa ladattaisiin vuodessa lähes 1100 kertaa (3x365), mikäli akustoa ladattaisiin jokaisen lastauksen aikana riippumatta siitä, mikä on akuston varaustaso. Tällöin toimeksiantajan tapauksessa sähköisen voimanulosoton akuston kapasiteetin odotetaan laskevan jo alle kahdessa vuodessa, mikäli akusto olisi hankittu Banke ApS:ltä. Tiheän kuljetussyklin takia toimeksiantajan on ennen investointipäätöstä erityisen tärkeää arvioida mahdolliset riskit huolellisesti, joita akuston suuresta lataus- ja purkaussyklistä syntyy. Mikäli toimeksiantajan rehu-kuljetuksiin suunniteltujen ajoneuvojen pitoajaksi olisi määritelty esimerkiksi kuusi vuotta, niin voidaan olettaa, että akusto jouduttaisiin mahdollisesti uusimaan vähintään kerran ajoneuvon pitoajan aikana.

Mikäli akuston kapasiteetin oletetaan laskevan jo alle kahdessa vuodessa noin 80 prosenttiin on syytä tarkastella, olisiko hybridi voimanulosotto kuitenkin järkevämpi vaihtoehto. Hybridi voimanulosoton avulla uuteen akustoon investointi voitaisiin mahdollisesti välttää pitoajan aikana, jolloin huomattavilta lisäkustannuksilta vältyttäisiin. Hybridi voimanulosottosovelluksen etuna voidaan pitää myös sitä, että mikäli purkutilanteissa akuston virta loppuu, akusto vaurioituu tai tulee jokin muu häiriö, niin voitaisiin rehukuorman purkaminen hoitaa loppuun mekaanista voimanulosottoa käyttäen.

### **Sähköisen voimanulosoton hankintakustannukset**

Alla olevaan taulukkoon 5 on kartoitettu hankintakustannuksia, joita sähköisestä voimanulosotto-konseptista syntyy. Hankintakustannukset koostuvat akustosta, akkulaturista, akunhallintajärjestelmästä ja varsinaisesta voimanulosotto kokoonpanosta, joka sisältää esimerkiksi sähkömoottorin, invertterin, jäähdyttimen ja erilaisia ohjaimia sekä sensoreita. Taulukkoon 5 kartoitetut hankintakustannukset ovat Banke ApS:n tarjoamia hintoja sähköiselle voimanulosottokonseptille ja hinnat ovat suuntaa antavia. Huomioitavaa on, että hankintakustannukset voivat vaihdella huomattavan paljon eri laitetoimittajien välillä. Taulukko 5 ei huomioi mahdollisista käyttökoulutuksista tai huolloista koostuvia kustannuksia. (Hansen 2023.)

Taulukko 6. Sähköisen voimanulosoton hankintakustannukset

Akusto 130kWh (sisältää akkulaturin ja akunhallintajärjestelmän)	108 000 €
ePTO (sisältää sähkömoottorin, invertterin, jäähdyttimen sekä ohjaimet ja sensorit)	30 000 €
CAN-Ohjain	3 000 €
Asennus	2 000 €
<b>Summa yhteensä</b>	<b>143 000 €</b>

Hybridi voimanulosotto sovelluksessa hinta pysyisi edelleen samana, koska kokoonpanoon tarvitaan samat komponentit ja akuston kapasiteettia ei voida vähentää, mikäli osa rehukuormista huttaisiin purkaa asiakkaille täysin sähköä käyttäen voimanulosoton voimanlähteenä.

### Sähköisen voimanulosoton huolto/huollettavuus

Sähköisen voimanulosottokonseptin huoltaminen ja ylläpito poikkeaa huomattavasti mekaanisesta voimanulosotosta. Sähkökomponenttien kanssa työskentely vaatii usein erityisosaamista sekä erikoistyökaluja, koska sähköisessä voimanulosotossa käyttöjännitteet ovat suuria. Sähköisen voimanulosoton etuna voidaan kuitenkin pitää sitä, että liikkuvia osia on huomattavasti vähemmän, kuin mekaanisessa voimanulosotossa. Liikkuvien osien ja komponenttien määrän ollessa alhaisempi on myös huoltamisen tarve luonnollisesti vähäisempää. Toistaiseksi sähkökäyttöisten voimanulosottokonseptien tarjoajia on hyvin vähän markkinoilla, joten on hyvin tärkeää valita oikeat kumppanit, joilla on ymmärrystä aiheesta. Oikeiden kumppanien avulla voidaan välttää mahdollisia sudenkuoppia, joita esimerkiksi sähköisen voimanulosoton huoltamiseen voi liittyä.

### Kannattavuus

Yhteenvertotaulukko 7 on muodostettu tutkimuksen kuluessa saaduista tuloksista. Alla olevaan taulukkoon on tuotu ajoneuvojen keskimääräiset polttoainekustannukset viimeisen neljän vuoden ajalta, sähköisen voimanulosoton akuston latauksesta arvioidut latauskustannukset sekä arvio huoltokustannuksista, joita voimanulosottojen huoltamisesta voisi syntyä. Sähköisen voimanulosottokonseptin huoltokustannuksia on kuitenkin hyvin vaikea arvioida, koska käyttökokemuksia ei

toimeksiantajan suoritealalta tutkimusta tehdessä vielä löytynyt. Näiden tietojen pohjalta taulukoon on saatu laskettua voimanulosottojen vuotuiset kokonaiskustannukset.

Vuotuisia kokonaiskustannuksia kun verrataan keskenään voimanulosoton eri voimanlähteiden välillä, niin huomataan merkittäviä eroavaisuuksia. Mikäli toimeksiantajan tämänhetkisissä ajoneuvoissa olisi sähköinen voimanulosotto käytössä nähdään taulukosta 7, että rahallinen kustannussäästö voisi vuodessa olla noin 16000–22000 € välillä riippuen ajoneuvosta. Arvoja ei voida kuitenkaan pitää täysin luotettavina, koska sähköisen voimanulosoton vuotuiset kustannussäästöt riippuvat todella monesta tekijästä. Suurimmat vaikuttavat tekijät kustannussäästöihin ovat polttoaineen litrahinta ja lataussähkön hinta, joiden ennustaminen on lähes mahdotonta.

Taulukko 7. Kustannuksien yhteenvetotaulukko

Rehuauto 1	Mekaaninen voimanulosotto	Sähköinen voimanulosotto
Voimanulosoton käytöstä koostuvat keskimääräiset polttoainekustannukset vuodessa	26 259,04 €	- €
Arvio voimanulosoton akuston latauskustannuksista vuodessa	- €	10 249,20 €
Arvio voimanulosoton huoltokustannuksista vuodessa	2 000 €	1 300 €
Kustannukset yhteensä vuodessa	28 259,04 €	11 549,20 €
Vuotuinen arvio kustannussäästöistä		16 709,84 €
Rehuauto 2	Mekaaninen voimanulosotto	Sähköinen voimanulosotto
Voimanulosoton käytöstä koostuvat keskimääräiset polttoainekustannukset vuodessa	30 743,38 €	- €
Arvio voimanulosoton akuston latauskustannuksista vuodessa	- €	10 249,20 €
Arvio voimanulosoton huoltokustannuksista vuodessa	2 000 €	1 300 €
Kustannukset yhteensä vuodessa	32 743,38 €	11 549,20 €
Vuotuinen arvio kustannussäästöistä		21 194,18 €

## Investointi



Yllä olevasta taulukosta 7 nähdään, että sähköisen voimanulosoton käytöllä kustannussäästöjä saavutettaisiin varmasti. Kustannussäästöt eivät kuitenkaan suoraan tarkoita sitä, että sähköiseen voimanulosottoon olisi järkevää investoida vaan sen arviointiin käytetään apuna erilaisia investointilaskentamenetelmiä, joita käsiteltiin kattavasti luvussa 5.2. Tässä tutkimuksessa investoinnin kannattavuutta laskettiin hyvin yksinkertaisella tavalla laskien vain sähköisen voimanulosoton takaisinmaksuaika, mikäli sellainen jälkiasennettaisiin tällä hetkellä käytössä olevaan jompaankumpaan ajoneuvoon. Takaisinmaksuaika tarkoittaa sitä, kuinka nopeasti sähköisen voimanulosottokonseptin hankintakustannukset olisivat katettuna kokonaisuudessaan. Takaisinmaksuajalle on hyvä asettaa investoinneissa aina jokin vaatimus. Tässä tutkimuksessa takaisinmaksuaika vaatimukseksi asetettiin viisi vuotta, jolloin kustannussäästöt pitäisi vuodessa olla vähintään 28600 € (143000 €/5).

Alla olevaan taulukkoon 8 on muodostettu laskelma takaisinmaksuajoista ja taulukosta nähdään, että takaisinmaksuajat eivät täytä kummankaan ajoneuvon kohdalla tutkimuksessa asetettua viiden vuoden takaisinmaksuaika vaatimusta. Taulukkoon on lisätty litrahinta polttoaineelle, miten korkealle sen tulisi nousta, jotta tämän hetken mekaanisen voimanulosoton käyttötunneilla voimanulosoton polttoainekustannukset olisivat niin korkeat, että sähköisen voimanulosoton käyttämisellä päästäisiin vuodessa 28600 € kustannussäästöihin. Polttoaineen litrahinnan eroavaisuus ajoneuvojen välillä johtuu siitä, että arvioidut kustannussäästöt vuodessa ovat hyvin erilaiset. Huomioitavaa kuitenkin on, että lataussähkön hinta ei saisi nousta yhtään tutkimuksen laskelmissa käytetystä pörssisähkön vuoden 2023 keskihinnasta, koska tällöin arvioidut latauskustannukset kasvaisivat.

Taulukko 8. Investointilaskentataulukko

Sähköisen voimanulosotto konseptin hankintakustannukset		143 000 €
Ajoneuvo	Rehuauto 1	Rehuauto 2
Vuotuinen arvio kustannussäästöistä sähköisellä voimanulosotolla	16 709,84 €	21 194,18 €
Takaisinmaksuaika (a)	8,6	6,7
Paljonko polttoaineen litrahinta pitäisi vähintään olla, jotta takaisinmaksu aika olisi viisi vuotta	2,59 €	2,18 €
Paljonko lataussähkön hinta saisi enintään olla, jotta takaisinmaksuaika olisi viisi vuotta	-0,012 €	0,020 €

Taulukosta 8 löytyy myös hinta lataussähkölle, paljonko sen hinta saisi enintään olla, jotta saavutettaisiin viiden vuoden takaisinmaksuajan vaatima kustannussäästö vuodessa. Toisen ajoneuvon kohdalla lataussähkön hinta tulisi olla negatiivinen, jotta vaadittava kustannussäästö vuodessa saavutettaisiin. Sähkönhinta voi olla negatiivista silloin, kun sähköä tuotetaan enemmän, kuin sitä kulutetaan, mutta tämän kaltainen tilanne on hyvin harvainen. Huomioitavaa on myös se, että polttoainekustannukset pitäisivät pysyä vakiona, jotta pelkästään sähkön hinnan muutoksella olisi vaikutusta investoinnin kannattavuuteen. Investointilaskennassa vuotuisten kustannussäästöjen on oletettu olevan vakiot, joten tuloksiin ei voida täysin luottaa, koska sähkönhinnan ja polttoaineen hinnan vaihtelu on hyvin runsasta.

Taulukkoon 8 tuodut polttoaineen litrahinnat sekä lataussähkön hinnat, joilla vaadittavat kustannussäästöt saavutettaisiin vuodessa, haettiin Excelin ratkaisin-apuohjelmaa apuna käyttäen.

### Voimanulosottojen lopullinen vertailu

Voimanulosottojen lopulliseen vertailuun luotiin arviointitaulukko (ks. taulukko 9), johon on koottu erilaisia arviointikriteerejä ja listattu kunkin voimanulosotto vaihtoehdon kohdalla, miten hyvin kriteerit täyttyvät. Vertailussa mukana olivat tässä tutkimuksessa esille nousseet vaihtoehdot eli mekaaninen, sähköinen ja nämä kaksi yhdistävä hybridi voimanulosottosovellus. Arviointikriteerit ovat pisteytetty sen mukaan, mikä voimanulosotto vaihtoehto vastaa parhaiten kriteeriin.

Parhaiten vastaava vaihtoehto saa eniten pisteitä ja heikoin saa luonnollisesti vähiten. Mikäli vaihtoehdot on todettu yhtä hyväksi, molemmat saavat saman pistemäärän. Pisteet on jaettu yhdestä kolmeen.

Arviointikriteereille on asetettu myös kertoimet (x), jotka on asetettu sen mukaan, mitä kriteereistä pidetään tärkeimpänä ja mitä vähiten tärkeänä, kun vaihtoehtoja vertaillaan keskenään. Alla olevasta arviointitaulukosta nähdään, miten pisteet jakautuivat eri voimanulosottojen välillä sekä yhteenveto siitä, miten voimanulosotto vaihtoehto vastasi asetettuun arviointikriteeriin.

Taulukko 9. Voimanulosottojen arviointitaulukko

Arviointikriteerit	Vertailtavat voimanulosotto vaihtoehdot		
	Mekaaninen (PTO)	Sähköinen (ePTO)	Hybridi (ePTO+PTO)
<b>Toimintavarmuus (6x)</b>	Melko toimintavarma, kunhan kaikki mekaaniset kulutusosat ovat kunnossa. (2)	Ei käyttökokemuksia toimeksiantajan suoritealalta, joten toimintavarmuuden arviointi hyvin haasteellista. Huomioitavaa esimerkiksi epävarmuus toiminnasta vaihtuvissa sääolosuhteissa. (1)	Hyvin toimintavarma, koska voimanlähteitä käytössä kaksi. Toisen voimanulosoton vaurioituessa voidaan purkaminen hoitaa loppuun hyödyntäen toista voimanlähdeä. (3)
<b>Polttoainekustannukset (5x)</b>	Huomattavan korkeat polttoainekustannukset. Jopa yli 20% polttoaineen kokonaiskustannuksista vuodessa. (1)	Sähköinen voimanulosotto käyttää voimanlähteenä sähköä, joten sähköisen voimanulosoton käytöstä koostuvat polttoainekustannukset vuodessa 0€. (3)	Täysin riippuvainen siitä, kuinka monta tuntia mekaanista voimanulosottoa käytetään vuodessa. Mitä enemmän hyödynnettäisiin sähkövirtaa voimanlähteenä, sitä pienemmät olisivat polttoainekustannukset. (2)
<b>Latauskustannukset (1x)</b>	Ei latauskustannuksia. (3)	Vuoden 2023 sähkön keskihinnalla latauskustannukset olisivat olleet yli 30% vähemmän, kuin mekaanisen voimanulosoton käytöstä koostuneet polttoainekustannukset samana vuonna. (3)	Akuston koko vaikuttaa latauskustannuksiin. Mitä pienempi akusto sitä vähemmän latauskustannuksia, mutta silloin sähkövirran saatavuus rajallista. Sähkövirran rajallisuus nostaisi mekaanisen voimanulosoton käyttötarvetta, jolloin polttoainekustannuksien ja latauskustannuksien yhteenlaskettu summa kasvaa. (1)
<b>Hankintahinta (3x)</b>	Mekaaninen voimanulosotto valitaan ajoneuvoon yleensä jo tilausvaiheessa, jolloin hinta ei ole eritelty, vaan se sisällytetään ajoneuvon kokonaishintaan. PTO:N hinnaksi on tutkimuksessa arvioitu 12000€. (3)	Esimerkiksi Banke ApS:än tarjoaman sähköisen voimanulosotto konseptin hinta olisi noin 143000€. Hankintahintaa voidaan pitää todella korkeana verrattuna mekaanisen voimanulosoton hankintahintaan. (1)	Hybridi voimanulosotto sovelluksen hankintahinnaksi muodostuisi PTO:n ja ePTO:n hankintahintojen yhteenlaskettu summa, koska hybridi konseptissa molemmat voimanulosotot kuuluisi ajoneuvon varusteisiin. Hankintahinta olisi näin korkein ja se kasvattaisi myös takaisinmaksuaikaa. (1)
<b>Huollattaminen (2x)</b>	Ei vaadi erikoisosaamista. Voimanulosoton perus huoltojen tekeminen ja vianmääritys helppoa. (3)	Huoltaminen vaatii erikoisosaamista ja ymmärrystä sähkötekniikasta. (1)	Molempien voimanulosottojen huoltokustannukset samassa. (1)
<b>CO2 Päästöt (4x)</b>	Korkeat CO2 päästöt, jotka vaikuttavat negatiivisesti ympäristöön. (1)	Mahdollista saavuttaa jopa yli 20% päästövähennyksiä vuodessa. Positiivinen vaikutus ympäristöön. (3)	CO2 päästöt vuodessa riippuvat täysin käyttösuhteesta mekaanisen ja sähköisen voimanulosoton välillä. Mitä enemmän sähköä hyödynnettäisiin voimanlähteenä, sitä vähemmän CO2 päästöjä. (2)
<b>Kokonaispisteet</b>	<b>39</b>	<b>41</b>	<b>42</b>

## 7 Tutkimustulokset ja johtopäätökset

Tutkimuksen alussa määriteltyihin tutkimuskysymyksiin saatiin vastattua tutkimuksessa hyvällä tasolla ja tutkimustulokset ovat riittävän laajoja sekä kriittisiä. Ensimmäisenä tutkimuskysymyksenä selvitettiin, mikä on toimeksiantaja yrityksen nykytila mekaanisen voimanulosoton käytön suhteen. Nykytilan kartoittaminen onnistui hyvin ja tutkimuksesta käy selkeästi ilmi, minkälaisia kustannuksia ja päästöjä syntyy mekaanisen voimanulosoton käytöstä tällä hetkellä toimeksiantajan kuljetustehtävissä. Nykytilan analysointi oli tutkimuksessa todella hyödyllinen, koska nykytila-analyysin jälkeen oli helposti havaittavissa mekaanisen voimanulosoton käytöstä koostuvat negatiiviset vaikutukset ja sitä kautta esiin tulleet kehittämiskohteet.

Toisen tutkimuskysymyksen tarkoituksena oli kartoittaa, olisiko sähköinen voimanulosotto soveltuva vaihtoehto voimanlähteeksi toimeksiantajan kuljetustehtävissä, miten se vaikuttaisi yrityksen liiketoimintaan ja millaisia teknisiä vaatimuksia sähköinen voimanulosottokonsepti asettaa kuorma-autolle. Alaan liittyvien tietolähteiden, erilaisten haastattelujen ja vertailujen perusteella tutkimuksessa päädyttiin lopputulokseen, että sähköinen voimanulosotto ei aseta kuorma-autoille mitään erityisiä teknisiä vaatimuksia, ja näin ollen se olisi myös soveltuva vaihtoehto toimeksiantajan kuljetustehtäviin. Sähköisen voimanulosoton vaikutukset toimeksiantajan liiketoimintaan olisivat merkittävät. Sähköisen voimanulosoton myötä toimeksiantaja saavuttaisi vuositasolla kustannussäästöjä, ja ajoneuvoista syntyvät ympäristölle haitalliset CO<sub>2</sub>-päästöt alenisivat todella merkittävästi. Sähköisen voimanulosoton matalat käyttökulut eivät kuitenkaan riitä peittämään mekaanisen voimanulosoton runsaasti alhaisempaa hankintahintaa kuorma-auton elinkaaren aikana.

Tämän tutkimuksen tuloksista voidaan todeta, että sähköinen voimanulosottokonsepti soveltuisi toimeksiantajan kuljetustehtäviin, mutta kuljetussyklit ovat toistaiseksi niin suuria, että voimanulosoton sähköistäminen ei ole optimaalisin ratkaisu. Tällä hetkellä toimeksiantajan voimanulosoton käyttötarpeeseen optimaalisin ratkaisu on edelleen perinteinen mekaaninen voimanulosotto, koska sähköistämiseen liittyy vielä selkeitä epävarmuustekijöitä liittyen esimerkiksi toimintavarmuuteen ja käyttöikään. Nämä epävarmuustekijät voivat olla toistaiseksi ylitseppääsemättömiä esteitä toimeksiantajan kuljetustehtävissä, jotka kuitenkin hoidetaan ympäri vuoden jokaisena päivänä.

Sähkökäyttöisiä voimanulosottokonsepteja ei toimeksiantajan suoritealalta juurikaan löydy, joten käyttökokemukset niistä ovat toistaiseksi hyvin vähäisiä. Sähkökäyttöisten voimanulosottokonseptien vähäinen tarjonta, niissä havaitut kehityskohteet tietyillä osa-alueilla sekä huomattavan korkeat hankintakustannukset ovat selittäviä tekijöitä sähköisten voimanulosottokonseptien vähäiselle suosiolle. Toisaalta esimerkiksi toimeksiantajan tapauksessa, mikäli akkulaturi sijoitettaisiin mahdollisuuksien mukaan rehutehtaalle, voisi sähköinen voimanulosotto olla mekaanista voimanulosottoa kannattavampi vaihtoehto. Tällöin latausaseman hankinta ja sähköisen voimanulosoton akuston lataukseen tarvittavan sähköenergian voisi kustantaa ainakin osittain joku muu, kuin toimeksiantaja.

## 8 Pohdinta

Opinnäytetyössä asetettuihin tutkimuskysymyksiin saatiin riittävät vastaukset ja tutkimustuloksia voidaan pitää luotettavina. Opinnäytetyön, kuten minkä tahansa muunkin tutkimuksen, keskeisin tavoite on aina uuden tiedon tuottaminen, ja siinä onnistuttiin hyvällä tasolla. Tämän takia työtä voidaan pitää onnistuneena. Tutkimustuloksia, kun arvioidaan suhteessa tutkimukselle asetettuihin tavoitteisiin, oletuksiin ja viitekehukseen voidaan todeta, että saavutetut tulokset ovat riittävän laajoja ja luotettavia. Tutkimuksen alussa suunniteltiin, että sähköisiä voimanulosottokonsepteja tarjoavia toimittajia olisi haastateltu tutkimuksessa useampia, jotta olisi saatu vertailtavia vaihtoehtoja enemmän tarjolle. Halukkuutta osallistumiseen ei kuitenkaan löytynyt, joten vertailuun päätyi vain yksi järjestelmätoimittaja. Tästä syystä sähköisen voimanulosoton hankintakustannuksien eroavaisuuksia eri toimittajien välillä ei saatu näkyviin niin paljon, kuin oli alussa suunniteltu, mutta opinnäytetyö saatiin silti tehtyä riittävän hyvin ja laajasti.

Tiedonkeruu tutkimusta varten tuotti aluksi huomattavasti haasteita, koska aikaisempia tutkimuksia samankaltaisesta aiheesta ei juurikaan löytynyt. Tiedonkeruussa onnistuttiin lopulta kuitenkin kohtalaisen hyvin ja tutkimukseen soveltuvaa aineistoa löydettiin tarpeellinen määrä sekä sen analysoinnissa onnistuttiin hyvin tutkimukselle asetettujen tavoitteiden kannalta. Kaikki tutkimusta varten haastatellut osapuolet välittivät aidosta tutkimuksen toteutumisesta ja toimeksiantajalta saatu kattava tuki ja aika auttoivat toteuttamaan laadukkaan tutkimuksen. Toimeksiantaja pystyy käyttämään opinnäytetyössä saavutettuja tutkimustuloksia voimanulosottojen vertailussa ja valinnassa, ja tutkimustuloksia voidaan hyödyntää myös investointilaskelmia tehdessä. Investointeja ja erilaisia investointilaskentamenetelmiä käsiteltiin opinnäytetyön tietoperustassa kattavasti, mutta

varsinaiset investointilaskelmat jätettiin hyvin vähäisiksi, jotta opinnäytetyö ei muuttunut liikaa liiketaloustieteeksi.

Opinnäytetyön aihe oli todella ajankohtainen, koska sähkökäyttö- ja hybriditekniikka lisääntyy jatkuvasti ajoneuvo- ja työkone käytössä. Lähitulevaisuutta ajatellen voidaan olettaa, että mekaanisia voimanulosottoja tullaan korvaamaan sähköisillä voimanulosotoilla niiden kehittyessä edelleen. Varsinkin vastaavissa kuljetustehtävissä, kuin toimeksiantajalla, joissa kuljetussyklit ovat todella suuria ja CO<sub>2</sub>-päästövähennys voimanulosoton sähköistämisen myötä olisi hyvin merkittävä, niin pelkästään tämän positiivisen vaikutuksen vuoksi olisi perusteltua harkita sähköistämistä vakavasti. Opinnäytetyötä tehdessä oma tietämykseni aihepiiristä on kasvanut huomattavasti, ja pysytyn varmasti hyödyntämään tätä tietämystäni myös tulevaisuudessa. Kokonaisuudessaan olen hyvin tyytyväinen tutkimukseeni ja olen kiitollinen, että sain tehdä opinnäytetyön juuri Kuljetusliike Koivulahti Oy:lle.

Jatkotutkimuksena selvittäisin vielä useampia konkreettisia tarjouksia erilaisista sähköisistä voimanulosottokonsepteista eri toimittajilta sekä selvittäisin olisiko ajoneuvojen erilaisten tekniikoiden sähköistykseen mahdollista saada tukea esimerkiksi Suomen valtiolta. Selvittäisin myös, olisivatko toimeksiantajan yhteistyökumppanit valmiita osallistumaan sähköisen voimanulosoton hankintaan. Sähköisen voimanulosoton myötä koko tuotantoketjun olisi kuitenkin mahdollista säävuttaa ympäristömme kannalta tärkeitä päästövähennyksiä.

## Lähteet

ABB E-mobility ja MAN esittelevät ensimmäistä kertaa eTruckin latausta megawatin teholla. 2024. Uutinen ABB:n www-sivuilla 05.04.2024. Viitattu 09.04.2024. <https://new.abb.com/news/fi/detail/113917/abb-e-mobility-ja-man-esittelevat-ensimmaista-kertaa-etruckin-latausta-megawatin-teholla>

Abbadia, J. 2023. Mitä on triangulaatio tutkimuksessa: Triangulaatio: Tie luotettaviin tuloksiin. Mind the Graph Tieteellinen blogi. Julkaistu 08.10.2023. Viitattu 28.11.2023. <https://mindthegraph.com/blog/fi/archives/29816>

Akkupaketit ja akkujärjestelmät päästöttömään käyttöön. 2023. Hawe hydraulik. Verkkosivu. Viitattu 13.12.2023. <https://www.hawe.com/fi-fi/tuotteet/battery-system/technical-details-battery-pack/>

Atlas Copco. 2023. Verkkosivu. Viitattu 24.7.2023. <https://www.atlascopco.com/fi-fi>

Battery university. 2021. How do battery chargers work? Artikkelin Battery university:n www-sivuilla 25.10.2021. Viitattu 14.12.2023. <https://batteryuniversity.com/article/bu-401-how-do-battery-chargers-work>

Bensiinin ja dieselin hintakehitys. 2023. Polttonesteiden hintatilasto autoalan tiedotuskeskuksen www-sivuilla 14.11.2023. Viitattu 30.11.2023. [https://www.aut.fi/tilastot/verotus\\_hintakehitys\\_ja\\_liikennemenoit/bensiinin\\_ja\\_dieselin\\_hintakehitys](https://www.aut.fi/tilastot/verotus_hintakehitys_ja_liikennemenoit/bensiinin_ja_dieselin_hintakehitys)

Cordock, J. 2021. How is a bulk trailer tank cleaned? Artikkelin Bulk connectionin www-sivuilla 27.05.2021. Viitattu 20.5.2023. <https://www.bulkconnection.com/blog/how-is-a-bulk-trailer-tank-cleaned>

Direktiivi 2014/68/EU. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi painelaitteiden asettamista saataville markkinoilla koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti 15.5.2014. Viitattu 6.3.2024. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0068>

Douglass, D. 2018. What is a pto? Artikkelin Munciepowerin www-sivuilla 01.06.2018. Viitattu 20.5.2023. [https://www.munciepower.com/company/blog\\_detail/what\\_is\\_a\\_pto](https://www.munciepower.com/company/blog_detail/what_is_a_pto)

E-PTO systems. N.d. Banke. Verkkosivu. Viitattu 15.4.2024. <https://banke.pro/products/epto-systems/>

ePTO. N.d. Hydrauliska Industri AB. Verkkosivu. Viitattu 15.4.2024. <https://www.hiab.com/en/product-finder/loader-cranes/hiab/accessories/epto>

Geluidsarme & zero emissie logistiek. 2023. Wierdabybrid technologies. Verkkosivu. Viitattu 18.8.2023.

Hansen, S. 2023. Area Sales Manager. Banke APS. Teams-kokous 04.12.2023.

Hietalahti, L. 2011. Sähkökäyttö ja hybriditekniikka ajoneuvo- ja työkonenäyttöön. Ensimmäinen, painos. Vantaa: Hansaprint Oy

Hirsijärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2009. Tutki ja kirjoita. 15. p. Helsinki: Tammi.

Hong, M. 2019. Soluessee: Tutkimuskysymysten luominen ja niiden oikeaoppinen analysointi. Artikkelit proakatemia.esseepankissa 04.05.2019. Viitattu 19.8.2023. <https://esseepankki.proakatemia.fi/soluessee-tutkimuskysymysten-luominen-ja-niiden-oikeaoppinen-analysointi/>

Ikäheimo, S., Malmi, T. & Walden, R. 2019. Yrityksen laskentatoimi. 8., uudistettu painos. Helsinki: Alma Talent. Viitattu 29.11.2023. <https://janet.finna.fi/>, Verkkokirjalyly (Alma Talent).

Jalli, A. N.d. Mikä oli sähkön keskihinta vuonna 2023? Artikkelit. Viitattu 26.3.2024. <https://www.nodesk.fi/sahkon-keskihinta-2023/>

Jarmuz, M. 2014. Optimization of Hybrid Systems for Combined Driving/Stationary Duty Cycles. PowerPoint. Viitattu 28.2.2024. <https://www.odyne.com/wp-content/uploads/2019/02/odynehybridbatteryshowpresentation09182014.pdf>

Jones, L. 2022. Screw Compressors Serve as Key Equipment in Dry Bulk Transport. Artikkelit Dry bulkin www-sivuilla 01.06.2022. Viitattu 05.03.2024. <https://www.drybulkmagazine.com/special-reports/01062022/screw-compressors-serve-as-key-equipment-in-dry-bulk-transport/>

Kananen, J. 2015. Opinnäytetyön kirjoittajan opas: näin kirjoitan opinnäytetyön tai pro gradun alusta loppuun. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Viitattu 20.11.2023. <https://janet.finna.fi/>, Booky.

Kananen, J. 2017. Laadullinen tutkimus pro graduna ja opinnäytetyönä. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Viitattu 20.11.2023. <https://janet.finna.fi/>, Booky.

Kivimäki, M. 2024. Kuljetusliike Koivulahti Oy:n kuljetuspäällikkö. Ilmajoki. Haastattelu 20.7.2023.

Koivulahti, J. 2023. Kuljetusliike Koivulahti Oy:n toimitusjohtaja. Ilmajoki. Haastattelu 20.7.2023.

Komponentit sähköistykseen. N.d. Hawe Hydraulik. Verkkosivu. Viitattu 16.12.2023. <https://www.hawe.com/products/electrification/components-for-electrification/>



Kuljetuskalusto. 2023. Nordic Tank. Verkkosivu. Viitattu 20.5.2023 <https://nordictank.com/tuotteet-ja-palvelut/kuljetuskalusto/>

Kvantitatiivisen tutkimuksen verkkokäsikirja. N.d. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Viitattu 24.4.2024. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/>

Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. N.d. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Viitattu 24.4.2024. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/>

Liikenteen kasvihuonekaasupäästöt ja energiankulutus. 2022. Artikkelitraficomin www-sivuilla 13.12.2022. Viitattu 28.5.2023. <https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/liikenteen-kasvihuonekaasupaastot-ja-energiankulutus>

Logan, A. N.d. Logan direct drive power take-off (PTO) clutches. Artikkelitraficomin www-sivuilla 15.12.2023. <https://loganclutch.com/logan-direct-drive-power-take-off-ptoclutches-for-simple-immediate-reduction-in-fuel-consumption-greenhouse-gas-emissions-and-maintenance-costs>

Lynn, A. 2020. Electric power take-off heralds a revolution in mobile machinery. Artikkelielectronicspecifierin www-sivuilla 02.10.2020. Viitattu 25.7.2023. <https://www.electronicsspecifier.com/industries/industrial/electric-power-take-off-heralds-a-revolution-in-mobile-machinery>

Makkonen, T. 2017. Kuorma-auton muunnoshybridijärjestelmän suunnittelun pääkohdat. Opinnäytetyö, AMK. Metropolia Ammattikorkeakoulu, auto- ja kuljetustekniikka. Viitattu 26.7.2023. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/134737/Makkonen\\_Tatu.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/134737/Makkonen_Tatu.pdf?sequence=1)

McKinnon, A., Browne, M. & Whiteing, A. 2012. Green logistics: improving the environmental sustainability of logistics. Toinen, painos. Intia: Replika Press Pvt Ltd. Viitattu 15.8.2023. <https://janet.finna.fi>, VLeBooks.

Mikä taajuusmuuttaja on. N.d. Danfoss. Verkkosivu. Viitattu 14.12.2023. <https://www.danfoss.com/fi-fi/about-danfoss/our-businesses/drives/what-is-an-ac-drive/>

Näpärä, L. 2017. Haastattelun lajityypit. Spoken. Verkkosivu. Viitattu 01.03.2024. <https://spoken.fi/haastattelun-lajityypit/>

Painelaitelaki 1144/2016. Laki painelaitteista. Annettu 27.8.1999. Viim. Muutos 16.12.2016. Viitattu 6.3.2024. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161144>

Pasini, R. 2023. IFPE wrap-up: Parker Hannifin features electric-hydraulic hybrid solutions. Artikkelitraficomin www-sivuilla 24.3.2023. Viitattu 7.3.2024. <https://www.fluidpowerworld.com/ifpe-wrap-up-parker-hannifin-features-electric-hydraulic-hybrid-solutions/>

Pellinen, J. 2019. Kustannuslaskenta ja kannattavuusajattelu. Kolmas, uudistettu painos. Helsinki: Alma Talent.

Sallinen, P. 2023. Miten eroon fossiilista? Energia uutiset 11.12.2023. Viitattu 23.02.2024. <https://www.energiauutiset.fi/kategoriat/markkinat/miten-eroon-fossiilisista.html>

SKAL, 2019. Kuljetustoiminta. Toinen, painos. Helsinki: Otavan kirjapaino.

Suoniemi, L., Hakaniemi, Y. 1990. Kuljetustekniikka. Ensimmäinen, painos. Juva: WSOY.

Tank cleaning equipment for food grade bulk transport. 2017. Artikkelin Sanimaticin www-sivuilla 03.08.2017. Viitattu 20.5.2023. <https://sanimatic.com/tank-cleaning-equipment-for-food-grade-bulk-transport/>

Tanko Pro Oy. 2014. Verkkosivu. Viitattu 20.5.2023. <http://www.tankpro.fi/>

Tavaraliikenneyritykset. 2020. 55, painos. Jyväskylä: Grano

The future of tank truck transportation. 2023. The professional trucking guide to success blogi. Julkaistu 25.05.2023. Viitattu 28.5.2023. <https://www.whitetankandtruck.com/the-future-of-tank-truck-transportation/>

Tutkimusstrategiat. 2014. Verkkosivu. Jyväskylän yliopisto. Viitattu 18.8.2023. <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/>

What is a pto on a truck? 2021. The professional trucking guide to success blogi. Julkaistu 22.11.2021. Viitattu 20.5.2023. <https://www.whitetankandtruck.com/what-is-pto-on-truck/>

Why switch to electric PTO? 2023. Artikkelin Banken www-sivuilla 20.04.2023. Viitattu 25.7.2023. <https://banke.pro/news/why-switch-to-electric-pto/>

## Liitteet

### Liite 1. Toimeksiantajalla käytössä oleva ruuvikompressor




**Spec Sheet 1401-004**  
 Section: 1401  
 Effective: August 2017  
 Replaces: September 2016



## TYPHON II Screw Compressor


The Multitalented Solution for Mounting Inside Truck Frame

**TYPHON II-20R:**  
1200 – 2000 rpm CW 


**TYPHON II-30R:**  
1800 – 3000 rpm CW 

**Dimensions:**  
L 664 x H 362 x W 280 mm

**Weight:**  
143 kg



**TYPHON II-13R/15L:**  
780 – 1300 rpm CW   
or 900 – 1500 rpm CCW 

**TYPHON II-19R/22L:**  
1170 – 1950 rpm CW   
or 1320 – 2250 rpm CCW 

**Dimensions:**  
L 799 x H 416 x W 295 mm

**Weight:**  
173 kg



N/Pressure or SP/Suction and Pressure  
Flow rates 600 to 1130 m<sup>3</sup>/h



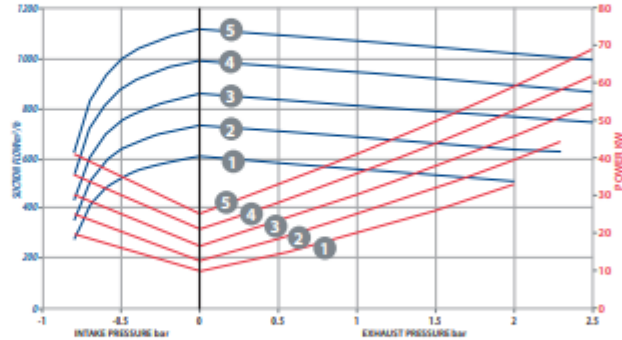
# TYPHON II Screw Compressor

## The Multitalented Solution for Mounting Inside Truck Frame

Compressor Speed (rpm)

Model	1	2	3	4	5
13R	780	910	1040	1170	1300
15L	900	1050	1200	1350	1500
19R	1170	1365	1560	1755	1950
20R	1200	1400	1600	1800	2000
22L	1320	1580	1800	2035	2250
30R	1800	2100	2400	2700	3000

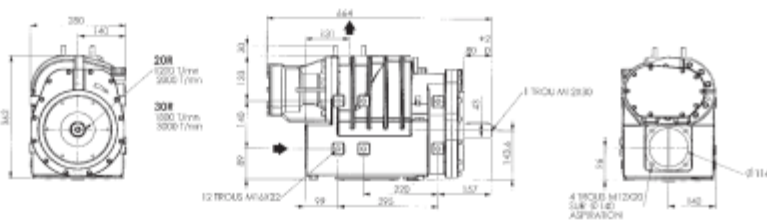
Flow (m<sup>3</sup>/hr) / Power (kW)



Torque / Pressure (Nm)

Model	Pressure (bar) At Full Speed		
	1.5	2.0	2.5
13R	370	430	510
15L	320	380	440
19R	250	300	350
20R	240	280	330
22L	220	260	300
30R	160	190	220

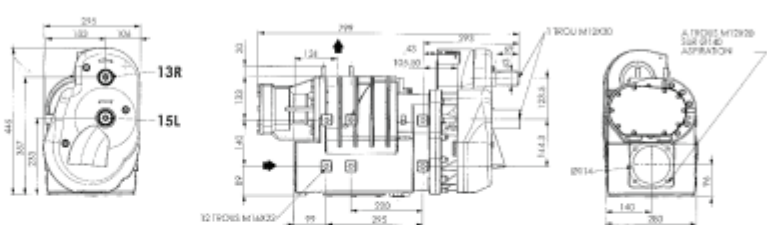
TYPHON II Screw Compressor 20R and 30R



Torque / Suction (Nm)

Model	Suction -800 (mbar)
13R	308
15L	267
19R	211
20R	200
22L	182
30R	133

TYPHON II Screw Compressor with Multiplier 13R/15L and 19R/22L



ZI la Plaine des Isles • 2 rue des Cailottes  
F-89000 AUXERRE - FRANCE  
Tel: + 33.3.86.49.86.30 • Fax: + 33.3.86.46.42.10  
contact@mouvex.com  
mouvex.com

Authorized PSG® Partner:

## Liite 2. Erilaisten voimanulosottojen polttoainekulutukset ja kulut sekä käyttäjät

Rehuauto 1							
1	2	3		4	5	6	7
Mekaaninen voimanulosotto (PTO)	Ajoneuvon polttoaineen kokonaiskulutus (l/a)	Voimanulosoton käyntiaika (h/a)		Voimanulosoton polttoainekulutus (l/h)	Voimanulosoton polttoainekulutus (l/a)	Voimanulosoton %-osuus kokonaiskulutuksesta	Voimanulosoton käytöstä koostuvat polttoainekulut (€/a)
4. Vuoden ka.	64564	989		14,9	14702,1	22,8 %	26 259,0 €
Sähköinen voimanulosotto (ePTO)	Ajoneuvon polttoaineen kokonaiskulutus (l/a)	ePTO käyntiaika (h/a)		ePTO polttoainekulutus (l/h)	ePTO polttoainekulutus (l/a)	ePTO %-osuus kokonaiskulutuksesta	ePTO:n käytöstä koostuvat polttoainekulut (€/a)
Vuotuinen arvio	49861	989		0	0	0	0,00 €
Hybridi voimanulosotto	Ajoneuvon polttoaineen kokonaiskulutus (l/a)	Hybridi voimanulosoton käyntiaika (h/a)		Hybridi voimanulosoton polttoainekulutus (l/h)	Hybridi voimanulosoton polttoainekulutus (l/a)	Hybridi voimanulosoton %-osuus kokonaiskulutuksesta	Hybridi voimanulosoton käytöstä koostuvat polttoainekulut (€/a)
Vuotuinen arvio	59716	Sähköä käyttäen voimanlähteenä	Ajoneuvon moottoria käyttäen voimanlähteenä	14,9	4847,8	7,5 %	8 540,3 €
		663	326				
Rehuauto 2							
1	2	3		4	5	6	7
Mekaaninen voimanulosotto (PTO)	Ajoneuvon polttoaineen kokonaiskulutus (l/a)	Voimanulosoton käyntiaika (h/a)		Voimanulosoton polttoainekulutus (l/h)	Voimanulosoton polttoainekulutus (l/a)	Voimanulosoton %-osuus kokonaiskulutuksesta	Voimanulosoton käytöstä koostuvat polttoainekulut (€/a)
4. Vuoden ka.	67804	1347		13,0	17499,7	25,8 %	30 743,4 €
Sähköinen voimanulosotto (ePTO)	Ajoneuvon polttoaineen kokonaiskulutus (l/a)	ePTO käyntiaika (h/a)		ePTO polttoainekulutus (l/h)	ePTO polttoainekulutus (l/a)	ePTO %-osuus kokonaiskulutuksesta	ePTO:n käytöstä koostuvat polttoainekulut (€/a)
Vuotuinen arvio	50305	1347		0	0	0	0,00 €
Hybridi voimanulosotto	Ajoneuvon polttoaineen kokonaiskulutus (l/a)	Hybridi voimanulosoton käyntiaika (h/a)		Hybridi voimanulosoton polttoainekulutus (l/h)	Hybridi voimanulosoton polttoainekulutus (l/a)	Hybridi voimanulosoton %-osuus kokonaiskulutuksesta	Hybridi voimanulosoton käytöstä koostuvat polttoainekulut (€/a)
Vuotuinen arvio	62017	Sähköä käyttäen voimanlähteenä	Ajoneuvon moottoria käyttäen voimanlähteenä	13,0	5787,6	8,5 %	10 195,9 €
		902	444				