



Sähkön soveltuvuuden arviointi trukin voimanlähteeksi yli 2tn taakoilla

Benka Olsson

Opinnäytetyö, ylempi AMK
Toukokuu 2023
Logistiikan tutkinto-ohjelma

Olsson, Benka

Sähkön soveltavuuden arviointi trukin voimanlähteeksi yli 2tn taakoilla.

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2023, 105 sivua.

Logistiikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö YAMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Tutkimuksen tilaaja on Suomen Transval Oy, logistiikan henkilöstö- ja ulkoistusratkaisuja tarjoava yritys. Tutkimuksen kautta haluttiin selvittää sähkön soveltavuutta trukin voimanlähteeksi suurempien, kuin 2tn taakkojen käsittelyssä. Tutkimuksessa selvitettiin sähkötrukin kyvykkyyttä korkeaintensiivisiin tehtäviin verraten polttomootoritruckiin (diesel), sekä nykyisen akkutekniikan tarjoamia mahdollisuuksia vuorotyöskentelyyn akkua vaihtamatta. Lisäksi selvitettiin kahden eri käyttövoiman (sähkö litiumakulla / polttomoottori, diesel) elinkaarikustannuksia trukkien osalta.

Tutkimustyö jaettiin neljään päävaiheeseen. Ensiksi tutustuttiin teoretietoon, ja sitä kautta erityisesti akkutekniikan kehitykseen ja nykytilaan, sekä sähkötrukkien valikoimaan ja kokonaiskustannuksiin. Toiseksi sähkötrukkeja testattiin käytännön työtehtävissä, verraten testiympäristön nykyisin käytössä olevaan käyttövoimaan, polttomoottoriin (diesel). Tutkimusmenetelminä käytettiin dokumenttianalyysiä, sekä havainnointia. Havainnoinnin yhteydessä kysymyksiä herättäneitä aiheita selvitettiin lisäksi haastattele-malla joitakin työntekijöitä, sekä erään trukkipäällikön maahantuojan edustajaa. Kolmanneksi tutustuttiin trukeilla tehtävään kolmivuorotyöympäristöön, jossa konekanta oli vaihdettu polttomoottorikäyttöisistä ja sähkökäyttöisistä, lyijykullisista trukeista sähköisiin, litiumakullisiin trukkeihin joitakin vuosia sitten. Täällä tutkimusmenetelminä olivat haastattelut, sekä kyselytutkimus. Neljänneksi kartoitettiin trukkien kustannuksia eri voimanlähteillä, sekä tehtiin vertailevia laskelmia diesel- ja sähkötrukkien välillä. Elinkaarilaskennan yhteydessä tutkimusmenetelminä olivat haastattelut, sekä dokumenttianalyysi. Tässä yhteydessä haastateltiin sekä tilaajayhtiön kalustopäällikköä, sekä jo aiemmin mainittua trukkipäällikön maahantuojan edustajaa.

Tutkimus osoitti, että sähkö on trukin voimanlähteenä kykenevä yli 2tn taakkojen käsittelyyn, ja nykyinen akkutekniikka tarjoaa mahdollisuuden korkeaintensiiviseen vuorotyöskentelyyn akkua vaihtamatta. Lisäksi selvisi, että vaikka kykenevän sähkötrukin hankintakustannukset ovat vastaavaa polttomoottorikäyttöistä trukkia huomattavasti suuremmat, elinkaarikustannukset ovat selkeästi alhaisemmat.

Tutkimuksen pohjalta Kotkan asiakkuudessa harkitaan nykyisen materiaalinkäsittelykaluston sähköistämistä yhdessä asiakkaan kanssa. Lisäksi toimeksiantajayritys tulee käyttämään tutkimusta kartoittaessaan muiden asiakkuuksien ympäristötavoitteidensa mukaisia kalustohankintoja ja -päivityksiä.

Avainsanat (asiasanat)

Litiumioniakut, Trukit, Ympäristövaikutukset

Olsson, Benka

Assessment of the suitability of electricity as a power source for a forklift with loads over 2t.

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2023, 105 pages

Master`s Degree Programme in Logistics. Master`s thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The customer of the research is Finnish logistics personnel and outsourcing company - Suomen Transval Oy. Through the research, the aim was to find out the suitability of electricity as a power source for the forklift, when handling loads larger than 2t. The study investigated the ability of an electric forklift for high-intensity tasks compared to a combustion engine forklift (diesel), as well as the possibilities offered by current battery technology for shift work without changing the battery. In addition, the life cycle costs of two different driving forces (electric with lithium battery / internal combustion engine, diesel) were analyzed for forklift trucks.

The research work was divided into four main phases. First, the theoretical knowledge was familiarized, and through that especially the development and current state of battery technology, as well as the present selection and total costs of electric forklifts.

Secondly, electric forklifts were tested in practical tasks, compared to the drive power currently used in the test environment, a combustion engine (diesel). Document analysis and observation were used as research methods. In addition, topics that raised questions during the observation were clarified by interviewing some employees, as well as a representative of the importer of a forklift manufacturer.

Thirdly, a three-shift working environment was explored, where the forklift-machinery had been changed from combustion engine-powered and electric, lead-acid forklifts to electric, lithium-battery forklifts a few years ago. Here, the research methods were interviews and a survey.

Fourth, the costs of forklifts with different power sources were mapped, and comparative calculations were made between diesel and electric forklifts. In connection with the life cycle calculation, the research methods were interviews and document analysis. In this context, both the equipment manager of the ordering company and the already mentioned representative of the forklift manufacturer's importer were interviewed.

The study showed that electricity as the forklift's power source is capable of handling loads of more than 2t, and the current battery technology also offers the possibility of high-intensity shift work without changing the battery. In addition, it was found that even though the acquisition costs of a capable electric forklift are significantly higher than a corresponding combustion engine powered forklift, the life cycle costs are clearly lower.

Based on the research, Kotka's customer base is considering the electrification of the existing material handling equipment together with the customer. The client company will also use the research when mapping other customers' equipment acquisitions and upgrades in accordance with its environmental goals.

Keywords/tags (subjects)

Lithium-batteries, Forklifts, Environmental effects

Kiitokset.

Aivan aluksi haluan kiittää lähipiiriäni, joka rohkaisi minua kouluttamaan itseäni edelleen, ja valoi uskoa minuun tämän projektin ajan. Lisäksi haluan kiittää työnantajaani, joka mahdollisti tämän opinnäytetyön tekemisen, siinä alusta loppuun saakka tukien. Aivan erityisesti haluan kiittää Tomi Alénia Wihurilta, joka on ollut tiiviisti mukana ja apuna tämän opinnäytetyön tekemisessä, tarjoten osaamistaan ja tietämystään koskien trukkeja - erityisesti sähkötrukkeja, niiden tekniikkaa, nykytilaa ja kehitystä. Kiitokset esimiehelleni sekä alaisilleni, sekä kaikille mukana olleille henkilöstön jäsenille Kotkassa, Liedossa ja Raumalla, jotka ottivat osaa tutkimukseen, jakaen kokemuksiaan ja mietteitään tämän opinnäytetyön aiheeseen liittyen.

Sisältö

1	Tavoitteena fossiilisten polttoaineiden käytön vähentäminen	4
2	Tavoitteet	6
3	Vihreä logistiikka	6
3.1	Vihreiden arvojen merkitys yritykselle	7
3.2	Vihreä logistiikka varastoinnissa	9
4	Trukkien kehitys	11
4.1	Trukkien sähköistyminen	11
4.2	Sähkötrukkien yleistymisen näkymät	13
4.3	Lyijy vai Litium?	14
4.3.1	Lyijyakun edut ja haitat	15
4.3.2	Litiumakun edut ja haitat	17
4.3.3	Lyijyakkujen kehittyneemmät variaatiot	19
4.3.4	Vertailua Lyijy- ja litiumakkujen välillä	19
5	Kuinka valita trukin voimanlähteiden ja akkutekniikoiden väliltä?	21
5.1	Diesel	21
5.2	Sähkö	23
5.3	Sähkö lyijyakkutekniikalla	25
5.4	Sähkö litiumakkutekniikalla	26
5.5	Trukin voimanlähteen valintakriteerit	27
6	Tutkimusasetelma	28
6.1	Yritysesittely	28
6.1.1	Ympäristötavoitteet	28
6.1.2	Yhteistyössä asiakkaan kanssa	28
6.2	Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset	29
6.3	Tutkimustyyppi	30
6.4	Menetelmien valinta	31
7	Tulokset	36
7.1	Sähkötrukkien testausta 3-4tn taakoilla (Kotka)	36
7.1.1	Kotkan asiakkuuden toiminnan kuvaus ja testiympäristö	37
7.1.2	Sähkötrukkitestit	38
7.1.3	Testaus, seuranta ja raportointi	40
7.2	Testien tulokset	42
7.2.1	Käytettävyys	43

7.2.2	Ominaisuudet	46
7.2.3	Akku	48
7.2.4	Työn tehokkuus.....	50
7.2.5	Havainnoinnin kautta esille nousseet aiheet.....	53
7.3	Kyselytutkimus – käyttökokemukset litiumakuista (Lieto)	55
7.3.1	Liedon asiakkuus, toiminnan kuvaus ja tausta	55
7.3.2	Kyselytutkimus työntekijöille	56
7.3.3	Latureiden ja akkujen kyvykkyys akkutyypin mukaan	57
7.3.4	Työn tehokkuus ja mielekkyys akkutyypin mukaan	62
7.3.5	Muut huomiot koskien kyselyjen vastauksia.....	65
7.4	Diesel- ja sähkötrukin suoritusarvovertailua	66
7.4.1	Tekniset tiedot, kulutus- ja suoritusarvot.....	66
7.5	Diesel- ja litiumsähkötrukkien soveltuvuus- ja kustannusvertailua.....	68
7.5.1	Eri voimanlähteiden ja akkutyypin soveltuvuus	68
7.5.2	Hankintahinta	69
7.5.3	Trukkien käyttökustannukset	71
7.5.4	Litiumtrukkien laturien vaatimat sähköverkon muutokset.....	72
7.6	Kriittinen piste, diesel- ja sähkötrukin kustannukset.....	73
7.6.1	Huolto- ja korjauskustannukset diesel- ja sähkö (litium)-trukkien eroavaisuuksien suhteen.....	76
8	Johtopäätökset.....	78
8.1	Mahdollistaako sähkökäyttöinen trukki tehokkaan työskentelyn 3-4tn taakoilla?.....	78
8.2	Mahdollistaako nykyinen akkutekniikka intensiivisen työskentelyn vuorotyössä akkua vaihtamatta?	80
8.3	Kuinka diesel- ja sähkötrukin hankinta- ja käyttökustannukset suhteutuvat keskenään?.....	82
9	Pohdinta.....	84
9.1	Teoriakatsaus ja sen haasteet.....	84
9.2	Trukkitestit ja tutkimusmenetelmät	84
9.3	Kyselytutkimus Liedossa & haastattelut Raumalla	85
9.4	Lämpötilan vaikutus sähkötrukin käytettävyyteen	86
9.5	Tuloksista.....	86
9.6	Luotettavuus ja eettisyys	87
	Lähteet	89
	Liitteet	93
	Liite 1. Saatekirje Liedon postiterminaalien työntekijöille	93
	Liite 2. Kyselylomake Liedon postiterminaalien työntekijöille	94

Liite 3. Haastattelurunko 28.10.2022.....	99
Liite 4. Haastattelurunko 10.2.2023.....	100
Liite 5. Haastattelurunko 20.3.2023.....	101

Kuviot

Kuvio 1. Sähkötrukkien osuudet vuosina 2019 – 2021.....	12
Kuvio 2. Akkujen ominaisuudet.	20
Kuvio 3. Testiajojen osuus valmistajien mukaan.	40
Kuvio 4. Transval – sähkötrukkiseuranta.	41
Kuvio 5. Seurantatyökalun dataa.	42
Kuvio 6. Arvosanjakauma, "tekeminen".	46
Kuvio 7. Arvosanjakauma, "ominaisuudet".	48
Kuvio 8. Arvosanjakauma, "akku".	50
Kuvio 9. Työsuoriteseuranta.	52
Kuvio 10. Vastausjakauma, lyijyakun vaihto-/vesitystehtävien tiheys.....	63
Kuvio 11.. Vastausjakauma, lyijyakun vaihto-/vesitystehtävien kesto.....	64
Kuvio 12. Eri voimanlähteiden ja akkutyyppin soveltuvuus, Kotkan asiakkuus.....	69
Kuvio 13 .Diesel vs. sähkö, kriittinen piste 1.....	73
Kuvio 14. Diesel vs. sähkö, kriittinen piste 2.....	74
Kuvio 15. Diesel vs. sähkö, kriittinen piste 3.....	75
Kuvio 16. Diesel vs. sähkö, kriittinen piste 4.....	76
Kuvio 17. Diesel vs. sähkö, kriittinen piste 5.....	77

Taulukot

Taulukko 1. Akkujen ominaisuuksia.	21
Taulukko 2. Trukkien eri voimanlähteiden ominaisuudet, soveltuvuudet ja vaatimukset.	27

1 Tavoitteena fossiilisten polttoaineiden käytön vähentäminen

Työn toimeksiantajayrityksen tavoitteena on minimoida hiilijalanjälki kaikessa toiminnassaan. Sekä toimeksiantajayrityksen, myös asiakasyritystensä yhteinen, kasvava huoli ympäristökysymyksistä vaatii jatkuvaa kehittämistä, ja vaihtoehtoisten toimintamallien kartoittamista ja käyttöönottoa. Logistiikkatoiminnan ympäristövaikutusten suuruus on yleisesti tiedossa. Yleisesti ottaen tuottajayritysten hiilijalanjäljestä suurimman osan aiheuttaa toimitusketju logistiikkatoimintoihin.

Logistiikka-alan toimijalle on luontevaa tiedostaa edellä mainitut seikat. Lisäksi alan toimija käsittää hyvin, kuinka moniosainen toimitusketju kokonaisuudessaan on, ja kuinka paljon se tarjoaa kohteita, joissa kestävää kehitystä voidaan toteuttaa ja parantaa.

Kestävä kehitys itsessään on kasvava trendi alasta riippumatta ja kuluttajien kasvava tietoisuus ohjaa kaikkea yritystoimintaa ”vihreämpään” suuntaan. Kestävän kehityksen alle mahtuu paitsi suoranaiset ympäristökysymykset itsessään, myös niin oma, sekä asiakkaan yrityskuva – näin erityisesti alihankkijan asemassa. Brändi-, ja yrityskuvakysymysten lisäksi kestävä kehitys eteenpäin vieminen tuo mukanaan myös kilpailuetua. Kuluttajien kasvava tietoisuus heijastuu asiakkaiden paineiksi kartoittaa toimia, joilla olla edelläkävijä myös ympäristökysymyksissä. Asiakkaan tarpeiden kuuleminen, ja asiakkaan puolesta kehityksen ylläpitäminen luo kilpailuetua alihankintayritykselle myös kestävä kehityksen sektorilla.

Asiakasyritykset, joilla vihreiden arvojen ylläpitäminen ja edistäminen ovat vahvana vaikuttimena toiminnassaan, arvostavat – ja vaativat – vastaavanlaisia pyrkimyksiä myös alihankkijaltaan. Tämä ilmiö näkyy kasvavasti läpi toimitusketjujen, joten onkin selvää, miksi palvelujaan tarjoavan alihankintayrityksen tulee olla aiheen suhteen itse aktiivinen. Mainitun kaltainen asiakasyritys ei voi ottaa riskiä siitä, että toimitusketjussa ilmenee kestävättömiä käytäntöjä, jonka vuoksi brändiarvo vahingoittuu. Tämän vuoksi alihankintayrityksen tulee sisällyttää ympäristökysymykset myös olennaiseksi osaksi omaa strategiaansa.

Logistiikan saralla ilmastonmuutoksen jarruttamiseksi ovat pääosan huomiosta saaneet kuljetusketjut sekä varastointitilat, vähemmälle huomiolle ovat jääneet materiaalinkäsittelytoimet. Tieliikenteessä, kuin myös rautatie-, meri-, ja ilmaliikenteessäkin päästöt, ja niiden vähentäminen ovat

saaneet runsaasti palstatilaa, ja varastoinnin osalta varastojen layout-suunnittelu, sekä kiinteistötekniikka ovat olleet aiheita, joiden kautta Vihreää Logistiikkaa pyritään edistämään. Käsittelytoimet kuljetusmuotojen välillä, tai varastoinnin yhteydessä jäävät helposti sivuosaan. Viime aikoina tämänkin osuuden vaikutukseen on kiinnitetty kuitenkin entistä enemmän huomiota, ja esimerkiksi sähköistyminen näkyy vahvana myös työkoneiden voimanlähteissä. Sähkön yleistyminen työkoneiden voimanlähteenä tuntuu kuitenkin olevan jollain tapaa vastatuulella, vaikka tarpeet muutokselle ymmärretäänkin.

Logistisissa käsittelytehtävissä sähkö on toiminut trukkien yleisenä käyttövoimana lähinnä kevyempien taakkojen sisätiloissa tapahtuvassa käsittelyssä. Raskaampien taakkojen, tai ulkotiloissa suoritettavien käsittelyiden osalta sähkö on ollut käyttövoimana marginaalissa. Sähköistyminen etenee vauhdilla mm. tieliikenteessä, ja onkin kummallista, kuinka tämä kehitys ei ole vauhdittunut enempää ympäristössä, jossa sähkö jo ennestään tuttu, vähintäänkin osin toimivaksi todettu käyttövoima.

Tämän työn tavoitteena on kartoittaa niitä syitä, joista tämä ilmiö johtuu, sekä sitä, kuinka todellisia nämä syyt ovat. Täyssähköisten trukkien osuus kevyempien (alle 2tn) taakkojen käsittelyssä esimerkiksi varastoterminaaleissa on ollut hyvällä tasolla jo vuosikymmeniä, mutta raskaampien taakkojen käsittelyn osalta ne eivät ole yleistyneet. Valmistajilla on kattavasti täyssähköistä tarjontaa myös suuremmissa kantavuusluokissa, mutta käytännössä diesel on näissä käyttövoimana liki poikkeuksetta edelleen. Teknologia sähkön osalta on kehittynyt viime vuosina huimasti, parantaen paitsi suorituskykyä, mutta myös toiminta-aikaa. Lisäksi ympäristökysymykset ovat yhä enemmän pinnalla kasvaneiden polttonesteiden hintojen ohella. Tästä huolimatta, trukkipöytä sähköistyminen tuntuu takkuavan.

Tutkimus tehdään omalle työnantajalleni, Suomen Transval Oy:lle. Transval on suomalainen, logistiikan alihankintaa, tehostamis- ja ulkoistusratkaisuja tarjoava yritys. Aihe on ajankohtainen kaikille ja kaikkialla, ja on sitä luonnollisesti myös työnantajalleni, joka pyrkii jatkossakin säilyttämään paikkansa alan markkinajohtajana, tarjoten asiakkailleen kestävästä kehitystä tukevia ratkaisuja yhä laajemmin. Aiheen taustalla on paitsi oma, ja työnantajani kiinnostus aihetta kohtaan, myös asiakkaidemme pyrkimykset kartoittaa mahdollisuuksia irtautua fossiilisten polttoaineiden käytöstä logistiikkaketjun käsittelytehtävissä.

2 Tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia ja kartoittaa mahdollisuutta korvata diesel sähköllä trukin käyttövoimana, logistiikan raskaammissa käsittelytehtävissä. Kyseessä on toimintatutkimus, jossa sähkö-, sekä dieseltrukkeja verrataan käytännön työtehtävissä. Lisäksi selvitetään, millä tavoin hankinta-, ja käyttökustannukset suhteutuvat diesel- ja sähkötrukkien välillä.

Opinnäytetyössä on tavoitteena löytää vastaukset seuraaviin kysymyksiin;

1. Mahdollistaako sähkökäyttöinen trucki tehokkaan työskentelyn 3-4tn taakoilla?
2. Mahdollistaako nykyinen akkutekniikka intensiivisen työskentelyn vuorotyössä akkua vaihtamatta?
3. Kuinka diesel-, ja sähkötrukin hankinta-, ja käyttökustannukset suhteutuvat keskenään?

Sähkön yleistymisen kangertelun syinä ovat perinteisesti olleet koneen korkeampi kokonaishankintahinta, sekä taukoamattoman toiminnan varmistaminen – perinteiset lyijyakut eivät ole tarjonneet tähän mutkatonta, työskentelyn kannalta tehokasta mahdollisuutta. Sähkön heikkouksia ovat dieseliin verraten olleet voimattomuus, akun kestävyys, latauksen, sekä akun ylläpidon vaatima aika, sekä käsittelynopeus. Kuitenkin huimaa vauhtia kehittynyt litiumakkuteknologia on antanut viitteitä siitä, että sähkö voisi olla uudelleen vakavasti otettava vaihtoehto käyttövoimaksi myös logistiikan raskaammissa käsittelytehtävissä polttomoottorin sijaan.

Edellä mainitun kehityksen myötä myös akku-, ja sähkötrukkitekniikan hintataso on tullut lähemmäksi polttomoottorikäyttöisten trukkien hintatasoa. Lisäksi sähkötrukkien käyttökustannukset ovat tulleet näkyvämmiksi, ja tämän vuoksi paremmin vertailukelpoisiksi dieseltrukin vastaaviin kustannuksiin. Myös valmistajien tarjonta on laajentunut ja monipuolistunut sähkötrukkien saralla.

3 Vihreä logistiikka

”Vihreällä logistiikalla tarkoitetaan logistiikkaa, joka on suunniteltu ja toteutettu mahdollisimman pienillä ympäristöhaitoilla, mutta kuitenkin niin, että tehokkuudellisesti ja taloudellisesti hyöty olisi mahdollisimman suuri” (Mäkelä, Mäntynen, Vanhatalo. 2005, 135).

Ilmastonmuutos ilmiöineen, kuten ilmaston lämpeneminen, on seurausta kasvihuonekaasupäästöjen (erityisesti hiilidioksidi) lisääntymisestä. Päästöjen, ja sitä kautta ilmastonmuutoksen etenemisen estämiseksi on ryhdytty yhä laajeneviin, ja kiristyviin kansallisiin, sekä kansainvälisiin toimiin. (Miodrag, Kaffka, Clausen, Munsel, Drost, 2016, 2755.) Tällaisista toimista toimii esimerkkinä mm. Pariisin ilmastopöytäkirja vuodelta 2015 (Pariisin ilmastopöytäkirja. 2015).

”Vihreys” on muodostunut tietyllä tapaa tunnussanaksi koskien kaikkia niitä ympäristön suojelua, kestävästä kehitystä ja hiilijalanjäljen pienentämiseen tähtäviä toimia, joihin on herätty ilmastonmuutoksen jarruttamiseksi. Logistiikan saralla kasvavan tietoisuuden ja kestävästä kehityksen ympärille on muodostunut termi ”vihreä logistiikka”, joka viittaa kaikkiin niihin toimiin, joilla pyritään keskittymään käytäntöihin, joilla turvataan aiempaa vähemmän ympäristöä kuormittavat toimitusketjut ja logistiset toimet. (Palmberg, 2022, 6; Gunjal, Nalwade, Dhondge, Patil, 2015, 122.)

Logistiikka on lähtökohtaisesti ympäristöä kuormittavaa, ja vaikka ”vihreys” on ollut tunnussanana myös logistiikasta puhuttaessa jo 1980/-90-taitteesta lähtien, ei ala ole kovinkaan ”vihreä” vielä tänäkään päivänä. Logistiikkatoiminnot ovat omiaan aiheuttamaan saasteita, ruuhkia ja luonnonvarojen kulutusta, joten vielä 2000-luvullakaan ei voida puhua kovinkaan ”vihreästä” teollisuuden alasta. (Gunjal ym.2015, 124.) Maailmanlaajuisesti tavarakuljetusten osuus hiilidioksidipäästöistä arvioidaan olevan n.8 %, ja varastoinnin ollessa mukana, yhteenlaskettu osuus on arvioiden mukaan jopa 11 % (McKinnon, Cullinane, Browne, Whiteing, 2010, 4).

Vihreä logistiikka käsitettiin alkuun lähinnä käänteisenä logistiikkana, jossa raaka-aineiden, ja niistä valmistetun-, ja myytävän tuotteen toimitusketjun lisäksi tuli huomioida myös pakkauksen, ja käytöstä poistuvan tuotteen asianmukainen kerääminen, kuljettaminen ja hävittäminen. Sittemmin termi on alkanut käsittää laajemmin kaikki ne toimet, jolla pyritään vähentämään ympäristön kuormitusta kaikissa logistiikan tehtävissä. (Gunjal ym. 2015, 125.)

3.1 Vihreiden arvojen merkitys yritykselle.

Kasvava huoli ympäristön tilasta: luonnonvarojen riittävyydestä, ilmastonmuutoksesta ja päästöistä, lisäävät yritysten painetta sisällyttää vastuullisuus ja kestävä kehitys entistä tiiviimmin strategiaansa. Myös kuluttajien tietoisuus ja tätä kautta kasvavat vaatimukset, sekä Internetin ja sosiaalisen median mahdollistama tauoton viestintä ja näkyvyys, aiheuttavat oman osansa yrityskuvan

haavoittuvuuteen ja kasvattavat brändistä huolehtimisen vaadetta. Näihin viime aikoina kasvaneisiin mahdollisuuksiin ja vaateisiin linkittyä tiiviisti myös vihreiden arvojen, vastuullisuuden ja kestävä kehityksen omaksuminen ja sisällyttäminen yrityksen kaikkeen toimintaan. (Dey, LaGuardia, Srinivasan, 2011, 1238.)

Vastuullisuus ja vihreät arvot tulevat näkymään kasvavasti myös logistiikkatoiminnassa. Vihreistä arvoista on kehkeytynyt trendi, joka tulee näyttelemään yhä suurempaa osuutta logistiikkatoimijoiden toiminnassa, kuin myös asiakaskunnan asenteissa logistiikkapalveluiden tarjoajia kohtaan. (Palmberg, 2022, 7–8.) Logistiikkatoimien kestävä kehityksen mukaisesta johtamisesta on tullutkin erottamaton osa logistiikkatoimijoiden kilpailuetua ja strategiaa. Kasvava paine kestävä kehityksen toteuttamisesta ja hiilijalanjäljen pienentämisestä aiheuttaa paineita liiketoiminnoille. (Facchini, Mummolo, Mossa, Digiesi, Boenzi, Verriello. 2016, 1036.)

Vaikkakin vihreä logistiikka käsitettiin alkuvaiheessa ”vain” käänteisenä logistiikkana – joka onkin avainasemassa vihreän logistiikan alueella – tulee ”vihreys” määrittelemään toimitusketjujen toimintamalleja kauttaaltaan tulevien vuosikymmenten aikana (McKinnon ym. 2010, 16–17). Kyse ei enää ole kysymyksestä ”jos”, vaan pikemminkin ”milloin”, sillä kansainväliset sopimukset, sekä kansainvälisten yhteisöjen ja kansallisten hallitusten toimet ajavat mm. päästönormeja ja muita ympäristötoimia yhä tiukkenevaan suuntaan (Dey ym. 2011, 1242). Aiemmin vapaaehtoiset suositukset muuttuvat ajan myötä pakollisiksi standardeiksi, ja vastuulliset yritykset toimivatkin proaktiivisesti jo ennalta, saaden näin brändi- ja kilpailuetua (McKinnon ym. 2010, 39; Björklund & Hugel-Brodin 2017, 15–16).

Vihreiden arvojen toteuttaminen ei kuitenkaan ole aina helppoa. Näin esimerkiksi silloin, jos asiakas asettaa hinnan, toimitusajan tai toiminnallisuuden vihreiden arvojen ja ympäristökysymysten edelle. Toisaalta toimitusketjun yhden osan muuntaminen vihreiden arvojen mukaiseksi, saattaa se aiheuttaa päinvastaisen muutoksen jossakin muussa toimitusketjun osassa. (Björklund & Hugel-Brodin 2017, 85.) Tietyt nykypäivän kehityssuunnat ovat myös ”luonnostaan” vastoin vihreitä arvoja. Näitä ovat mm. väkiluvun kasvu, globalisaatio, nettikauppa, keskitetyt varastot ja JIT-toimitukset – nämä ovat pikemminkin haitaksi ympäristökysymysten kulmasta. (McKinnon ym. 2010, 15.)

Lisäksi pienien ja keskisuurten yritysten voi olla vaikeaa tai mahdotonta suorittaa tuntuvia uudistuksia vihreiden arvojen varmistamiseksi. Syitä voivat olla esimerkiksi tiedon, taidon, ajan tai rahan puute, tai epävarmuus uudistusten/muutosten mukanaan tuomista hyödyistä. Lisäksi mitä tuntuvaampi muutos, sitä suuremman riskin se pitää sisällään. Hyväksi ja toimivaksi aiottu, ja ennalta laskettu investointi saattaa sisältää suuren riskin jo äkisti muuttuvan toimintaympäristön vuoksi – poliittiset päätökset tai energian hinnanmuutokset saattavat muodostua kuoliniskuksi pienelle yritykselle. (Björklund & Hüge-Brodin 2017, 38–83.)

Joka tapauksessa ympäristöä säästävät, vihreitä arvoja ylläpitävät ja edistävät investoinnit, nähdään aina pitkän tähtäimen panostuksia, joiden koetaan joka tapauksessa kannattavan, ja joiden odotetaan maksavan itsensä takaisin joskus tulevaisuudessa (Björklund & Hüge-Brodin 2017, 25). Pitkällä tähtäimellä tehdään myös kansainvälisten yhteisöjen ja kansallisten hallitusten ympäristötavoitteet, esimerkiksi päästövähennyksien tähtäimet on asetettu asteittain useiden kymmenien vuosien päähän (McKinnon ym. 2010, 49).

3.2 Vihreä logistiikka varastoinnissa

Toimitusketjuissa on lukuisia osa-alueita, joissa kestävä kehitys ja vihreiden arvojen mukaisia toimia voidaan edistää. Logistiikan ns. ”tukitoimet” ovat jääneet vähäiselle huomiolle, ja näitä ovat mm. varastointi ja käsittely (Dey ym. 2011, 1243–1245). Toimitusketjujen hiilijalanjälkikartoituksissa pääasiallinen huomio on ollut kuljetuksissa, mutta varastointi on jäänyt vähäiselle huomiolle. On kuitenkin yleisesti tunnustettu tosiasia, että varastointitoimissa on paljon potentiaalia päästövähennyksiin. (McKinnon ym. 2010, 167–173.)

Materiaalinkäsittelyn ja varastoinnin aiheuttamat ympäristövaikutukset ovat merkittävä, tutkimaton osa-alue logistiikan saralla (Facchini ym. 2016, 1036). Puhuttaessa vihreästä logistiikasta ja logistiikan hiilijalanjäljestä, suurin huomio keskittyy kuljetuksiin ja kuljetusmuotoihin. Vähemmälle huomiolle ovat jääneet varastot käsittelytoimineen. Ympäristökysymysten valossa varastoinnin yhteydessä huomio kiinnittyykin usein itse varastoon, sen energiankulutukseen lämmitysmuotoineen, valaistuksineen yms., mutta varastossa suoritettavat työtehtävät ovat usein jääneet vaille suurempaa huomiota. (McKinnon ym. 2010, 165.) On arvioitu, että varastoilla on suurin osuus logistiikkatoimintojen kasvihuonekaasupäästöihin, ja näin ollen materiaalinkäsittelyprosesseilla on

suuri vaikutus näiden päästöjen vähentämiseen. Työvoimavaltaiset varastot, joissa materiaalinkäsittely tapahtuu trukeilla, muodostavat suurimman osan logistiikkarakennuksista. Käsittelylaitteiden (mm. trukit) osuus materiaalinkäsittelyyn käytetystä energiasta on noin kolmannes, joten käyttövoiman valinnalla voidaan vaikuttaa oleellisesti energiankulutuksen ja päästöjen minimoimiseksi. (Modica, Perotti, Melacini, 2021; Facchini ym. 2016, 1036.)

Vaikka erilaisia materiaalinkäsittelyyn tarkoitettuja koneita ja laitteita on lukematon määrä, niiden voimanlähteiden suhteen valikoima on yksinkertainen – polttomoottori tai sähkömoottori (McKinnon ym. 2010, 179). Polttomoottorit käyttävät fossiilisia polttoaineita, ja näin ollen sähkötrukki on ympäristövaikutuksiltaan pienempi silloinkin, kun otetaan huomioon molempien voimanlähteiden tuotannon alkupään prosessit huomioon. Ero sähkön eduksi korostuu entisestään, mikäli sähkö on tuotettu puhtaasti (esim. uusiutuvista lähteistä tai ydinenergialla). (Fuc, Kurczewski, Lewandowska, Nowak, Selech, 2016, 1438–1439.)

Vastuu ympäristöstä koetaan yhteiseksi asiaksi, näin myös yritysmaailmassa. Tätä nykyä erityisesti suuret asiakkaat ovat jo sisällyttäneet hiilijalanjälkiaiheet kilpailukykymittaristoonsa, ja näin ollen nämä aiheet selvitetään myös yhteistyökumppaneiden osalta. Materiaalinkäsittelyoperaatioiden osalta tämä tarkoittaa asiakkaiden suunnalta kasvavaa painetta osoittaa suunnitelmia ja toimia fossiilisten polttoaineiden vähentämisen suhteen. (Choosing an electric forklift with lithium-ion battery, 2020,3.)

Puhtaaseen teknologiaan on kiinnitetty kasvavasti huomiota. Pääfokus suuntautuu erityisesti kahden menetelmään: tehokkuuden lisäämiseen itse toiminnassa, sekä vaihtoehtoisten polttoaineiden, tai voimanlähteiden käyttöön. Biopolttoaineiden, sekä sähkökäyttöisten työkoneiden osuus kokonaisuudesta on ollut alhainen, mutta tekniikan kehityksen odotetaan nostavan näiden osuutta tulevaisuudessa tuntuvasti. (Dey ym. 2011, 1246.) Kun paine ympäristöystävällisyyteen kasvaa, myös sähkön käyttö voimanlähteenä tulee kasvamaan (McKinnon ym. 2010, 316).

Sähköistyminen on muodostunut viime vuosina trendiksi kuljetusalalla, ja erityisesti trukkien voimanlähteiden osalta ilmiö on ollut vieläkin merkittävämpi (Jiao, Pan, Huang, Yuan, 2021). Sähkötrukit ovat jo laajalti käytössä ja niiden yleistyminen ja kehittäminen on logistiikan ympäristökyksymysten keskiössä (Da Silva, Dias, Araujo, Pellini, Lagana 2021, 1). Esimerkiksi Kiinassa,

sähkötrukkien tuotanto on kasvanut 2.6-kertaiseksi viimeisen viiden vuoden aikana (Jiao ym. 2021). Akkutekniikka oli suurin haaste sähkötrukkien laajempaan, perustavanlaatuisen läpimurtoon vielä 2010-luvun alussa, mutta tänä päivänä litiumakut ja niiden edelleen kehittyvä tekniikka sekä yleistyminen, ja sitä kautta hintojen kehitys, tulevat kasvattamaan sähkötrukkien osuutta entisestään. (McKinnon ym. 2010, 181–182; Jiao ym. 2021.)

Materiaalikäsitteilylaitteiden laitevalinnalla on perustavanlaatuinen vaikutus varastotoimintojen päästöihin ja niiden vähentämiseen (Facchini ym. 2016, 1036).

4 Trukkien kehitys

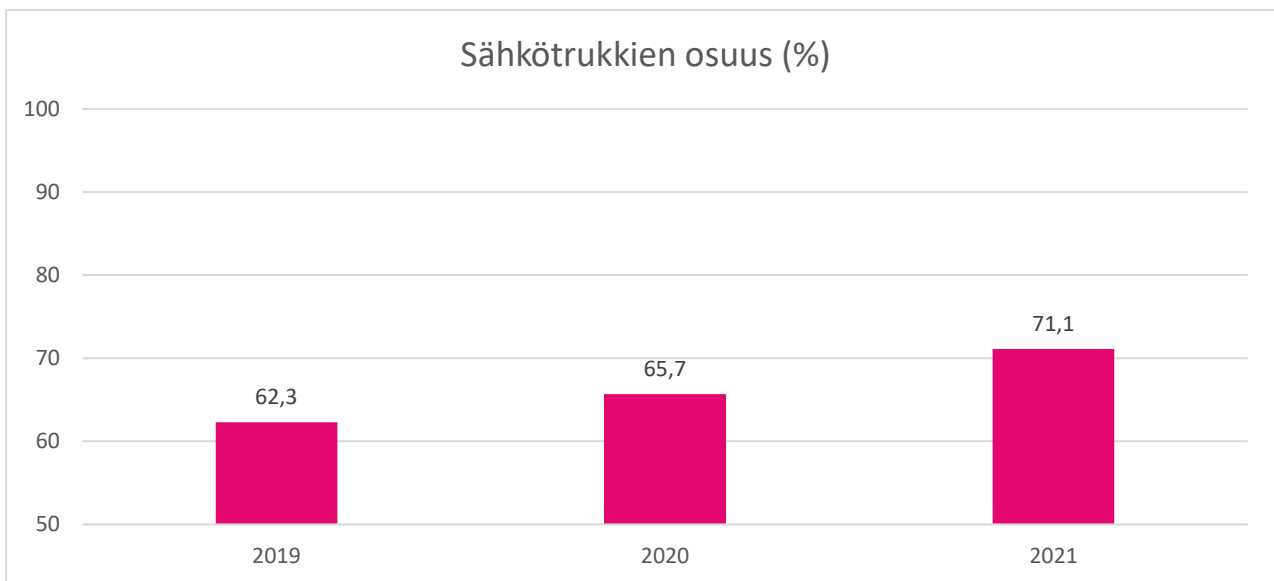
Trukkien kehitys lähti tarpeesta saada siirretyksi raskaita taakkoja aiempaa helpommin. Hieman myöhemmin tähän liittyi tarve saada pinotuksi taakkoja päällekkäin, käyttäen näin tilaa tehokkaammin. Nykymalleihin verrattavan perustekniikan katsotaan kehitetyn hyvinkin tarkkaan sata vuotta sitten. Kaksi, vielä nykyisinkin trukkeja valmistavaa yritystä kehittivät ensimmäiset nykyisen kaltaiset, mastolliset haarukkatrukit hyvinkin samanaikaisesti 1920-luvun alkupuolella – toinen sai voimansa sähköstä, toinen polttomoottorista. (Forklift History: The Complete Story. 2022.)

4.1 Trukkien sähköistyminen

Yhteiskunnan alati kasvava energian tarve on tietyllä tapaa ristiriidassa vihreiden arvojen kanssa. Tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet, että sähkö on paras tapa tyydyttää nuo kasvavat tarpeet, ja että sähköntuotannossa on kasvavasti tehokkaita, ympäristöystävällisiä keinoja. Lisäksi merkityksellistä on, että sähköenergiaa on mahdollista käyttää aiempaa tehokkaammin. (Gellings 2011, 2, 19.)

Hiljattain on herätty myös siihen, että paitsi maantiekuljetusten, sekä itse varastojen energiakysymysten lisäksi myös itse materiaalinkäsitteilylaitteiston käyttövoimalla on suuri merkitys päästöihin. Mitä tulee käsitteilylaitteiston hiilijalanjäljen pienentämiseen, optimaalisen käyttövoiman valinnalla on suuri merkitys. Materiaalinkäsitteilylaitteet jakaantuvat käyttövoimaltaan perinteisesti kahteen pääluokkaan: fossiilisia polttoaineita käyttäviin-, sekä sähköä käyttäviin trukkeihin. (Facchini ym. 2016.) Sähköä pidetään tyypillisesti puhtaimpana käyttövoimana myös trukkien suhteen (Gellings 2011, 5, 84).

Sähkötrukin voimanlähteenä on yhtä vanha keksintö kuin itse trukkin, vaikka se usein mielle-
täänkin myöhäisemmän vaiheen innovaatioksi. Joskin akkuteknologian viimeaikainen kehitys on
saanut sähkötrukeita kasvattamaan entisestään osuuttaan trukkimarkkinoilla. N. 30 vuotta sitten,
vain puolet trukeista saivat käyttövoimansa sähköstä. (Wollenhaupt 2021.) Vuonna 2010 n. 60 %
myydyistä trukeista saivat käyttövoimansa sähköstä, kun osuus oli viime vuonna (2022) jo n.67 %,
ja ennustetaan kasvavan edelleen kiihtyvästi (Forklift History: The Complete Story, 2022; Forklift
Market Size, Share & Trends Analysis Report, 2030).



Kuvio 1. Sähkötrukkien osuudet vuosina 2019 – 2021. Sähkökäyttöisten osuus myydyistä
vastapainotrukeista Suomessa. Muokattu, Ala-Hiiri, J. Teknisen kaupan liiton tilasto 6.3.2023.

Trukkien osalta aiempaa tehokkaammasta ja ympäristöystävällisemmästä tekniikasta käytännön
esimerkkinä voidaan pitää litiumakkujen kasvava osuus, korvaten kiihtyvästi perinteisemmän ja
yleisemmin käytetyn akkutyyppin, lyijyakun. Lyijyakku on ollut pitkään hallitseva akkutekniikka
paitsi luotettavuudestaan ja hintatasostaan, mutta erityisesti vaihtoehtojen puutteesta johtuen.
(Khabur 2019.) Litiumakku kuormittaa lyijyakkuu vähemmän ympäristöä, omaa paremman hyöty-
suhteen ja pidemmän käyttöiän (Da Silva ym. 2021, 1). Uskotaan, että litiumin yleistymisen myötä
tyypillisimmät sähkön heikkoudet trukin voimanlähteenä polttomoottoriin verraten – trukin suori-
tuskyky, akun kesto ja operoinnin nopeus – ovat yhä vähemmän sähkötrukkia leimaavia ominai-
suuksia (Gellings, 2011, 5, 85). Eräitä sähkötrukkeihin perinteisesti liitettyjä heikkouksia ovat olleet
akun kestävyys, ja lataukseen vaadittu aika. Litiumakku onkin tuonut muutosta kilpailuasetelmaan,

mahdollistaen huomattavasti pidemmän akunkeston, ja lyhyemmät/tehokkaammat lataukset. Litiumakku on myös lyijyakkuu tehokkaampi, mahdollistaen aiempaa nopeamman ajon ja raskaampien taakkojen käsittelyn. (Modica, Perotti, Melacini 2021.)

Yksi litiumtekniikan yleistymistä jarruttava seikka on aiemmin ollut hankintahinta. Litiumakullisen sähkötrukin hankintahinta tehokkaine latureineen ei ole ollut kilpailukykyinen polttomootoritrukin rinnalla. Kasvavasti kuitenkin paitsi ympäristökysymykset, myös polttonesteiden hinta, ylläpito-kustannukset, sekä aiempaa monimuotoisempi akku-/laturivalikoima ovat tehneet sähkötrukista aiempaa houkuttelevamman vaihtoehdon tuoden kokonaiskustannuksia vertailukelpoiselle tasolle polttomootoritrukin kanssa. (Modica ym. 2021.) Trukin valmistajasta riippuen tarjolla on nykyisin kahdesta-neljään, jopa viiteen eri litiumakun laatu-/teholuokkaa, jonka kautta saadaan hankintahintaa kohtuullistettua. Lisäksi litiumakun huoltovapaus, elinkaari, sekä sähkökoneen selkeästi alhaisemmat huolto- ja korjauskulut, tuovat sähkötrukin harkinnan arvoiseksi vaihtoehdoksi polttomootoritrukille, sähkön ja polttoaineiden hintaerotuksen lisäksi. (Modica ym. 2021; Alén 2023.)

4.2 Sähkötrukkien yleistymisen näkymät

Trukit ovat kriittisessä asemassa paitsi logististen ketjujen toimitusvarmuuden osalta, myös merkittävässä roolissa logistiikkatoimintojen päästöjen vähentämisessä. Sähkötrukkien osalta lyijyakuteknologia on ollut pitkään dominoivassa roolissa, mutta ympäristökuormituksensa, sekä verraten tehottoman teknologiansa vuoksi litiumtekniikka on syrjäyttämässä sen, luoden uusia mahdollisuuksia sähkötrukkien lisääntyvään, ja entistä laajempaan käyttöön. (Jiao ym. 2021; Da Silva ym. 2021.)

Tuntuvimpina haasteina sähkön yleistymisessä trukkien voimanlähteenä vaikuttaa olleen paitsi käyttäjien tietämättömyys sähkötrukkien kehityksestä ja nykyominaisuuksista (Gellings 2011, 5, 86; Modica ym. 2021), mutta myös lyhyen aikavälin kustannukset koskien Litiumtrukkeja verraten muihin voimanlähteisiin (lyijyakku-/polttomoottori). (Jiao ym. 2021; Modica ym. 2021.) Sekä Jiao ym., kuin myös Modica ym. mainitsevat, että Litiumtrukit ovat olleet aliedustettuina viimeaikaissa tutkimuksissa ja keskustelussa, vaikkakin kyseinen akkuteknikka antaa vahvoja viitteitä siitä, että totutut lainalaisuudet sähkötrukkien osalta eivät enää Litiumakkujen ollessa kyseessä, päde. Voidaankin siis todeta, että lyijyakullisten trukkien heikkoudet ovat tulleet viime vuosina tuntu-

vammin esiin, ja samanaikaisesti litiumin hyödyt ovat tulleet näkyväksi, haastaen paitsi lyijyakulliset sähkötrukit, myös polttomoottoriset trukit. Ympäristökysymysten näkökulmasta sähkötrukit päihittävät muut voimanlähteet jo itsessään ja lisäksi litiumin energiatehokkuus, pitkä käyttöikä, nopea lataus, sekä verraten laaja-alainen käyttölämpötila, ovat ominaisuuksia, jotka tuovat sähkötrukin yhä enemmän varteenotettavaksi vaihtoehdoksi yhä laajemmin. (Modica ym. 2021.)

Yhtenä käytännön esimerkkinä lyijyakullisten trukkien haasteista käytettävyydessä, mainitsevat niin Jiao ja muut, sekä Modica ja muut, vuorotyön haasteet. Lyijyakkutrukin liki tauoton käyttö useammassa kuin yhdessä työvuorossa, vaatii aina vähintään yhden vaihtoakun, usein jopa kaksi. Tämä siitä syystä, että akku ei kestä raskaassa käytössä vuoroakaan, eikä akku myöskään lataudu vuoron aikana. (Gellings, 2011, 5, 85–86.) Gellingsin mukaan tämä on yksi syistä, jonka vuoksi vuorotyössä olevat trukit ovat pääsääntöisesti olleet polttomoottorikäyttöisiä. Toisaalta Jiaon ym. (2021), sekä Modican ym. (2021) mukaan nykypäivän litiumakkuteknologia kuitenkin mahdollistaa paitsi tehokkaamman käytön ylipäättään, myös useita lyhyitä latauksia (esimerkiksi henkilöstön taukojen aikana) ja tätä kautta trukin osalta liki keskeytymättömän työn useammassakin vuorossa. (Jiao ym. 2021; Modica ym. 2021.) Vaikkakin sähkötrukki lyijyakulla on selkeästi edullisempi ratkaisu hankittaessa, lyijyakun elinkaari, huolto-, ja ylläpitokustannukset, pitkien latausten vaatima sähkö, sekä mahdolliset välttämättömät vaihtoakut toiminnan niin vaatiessa, kapenee kustannusten ero litiumtrukkiin verraten tuntuvasti. Litiumtrukin hankintakustannukset ovat tuntuvammat kuin lyijyaku-, tai polttomoottoritrukin. On kuitenkin tutkittu, että elinkaarikustannukset pitkällä tähtäimellä ovat em. verrokkeja pienemmät, ja jatkavat tekniikan yleistymisen, sekä akku-, että laturisortimentin laajentuessa yhä laskemistaan. (Jiao ym. 2021.)

Voidaankin siis olettaa, että litiumtekniikan kaikilta osin paremman ympäristöystävällisyyden lisäksi, myös kustannusten lähentymisen muihin verrokkeihin nähden, tulevat litiumsähkötrukit yleistymään lähivuosina tuntuvasti, kuten ne ovat jo yleistyneet esimerkiksi Kiinassa viimeisten viiden vuoden aikana (Jiao ym. 2021).

4.3 Lyijy vai Litium?

Sähkötrukeissa avaintekijänä on akku. Akku vaikuttaa työtehoon suoraan, sekä välillisesti. Varsinaisissa työtehtävissä trukilta tarvitaan tehoa ja kestoja, ja vastaavasti mahdolliset seisonta-ajat tulisi pitää minimissä. Tehokas akku mahdollistaa molemmat edellä mainitut. (Alshaebi, Dauod, Weiss,

Yoon, 2017, 1637; Da Silva ym. 2021, 1.) Lyijyakku on vanha, mutta ei vanhentunut keksintö. Kyseinen akkutekniikka on yleinen tänäkin päivänä ja erityisesti kohteissa, joissa paino (keveys) ei ole ratkaiseva valintakriteeri, lyijyakku pitää pintansa. Tällaisista kohteista esimerkkinä voidaan mainita esimerkiksi sähkötrukki, jossa paino on pelkästään eduksi, sillä akun paino toimii itsessään osana vastapainoa. Lyijyakun etuja ovat kierrätettävyys, yksinkertainen rakenne, paloturvallisuus ja halpa hinta. (Linja-Aho, 2022, 18.) Lyijyakulla on etunaan lisäksi pitkä historia, ja sitä onkin käytetty menestyksekkäästi jo yli 150 vuotta aina tähän päivään saakka. Näistä syistä onkin vaikeaa tehdä valinta perinteisen lyijyakun ja uuden litiumakun välillä. (Linja-Aho 2022, 18; Khabur 2019.) Rakenne ja materiaalit ovat kehittyneet, eikä lyijyakun kehitys ole päättynyt vielääkään, vaan litiumin nopeasta yleistymisestä huolimatta, myös lyijyakujen kehitys etenee ja tietyt ominaisuudet kurovat eroja litiumakkujen ominaisuuksiin (Passerini, Bresser, Moretti, Varzi, 2020, 90). Litiumakkujärjestelmä on suhteellisen uusi akkutekniikka, jolla on useita lyijyakkua parempia ominaisuuksia (Alshaebi ym.2017, 1639). Litiumakkutekniikka on kehitetty vuonna 1991 ja ottaa tänä päivänä suuria harppauksia kehityksen, sekä yleistymisen osalta, kuin myös sähköistyminen ylipäättään (Jiao ym. 2021; Linja-Aho 2022, 18, 137).

4.3.1 Lyijyakun edut ja haitat

Lyijyakku on kehitetty alun perin vuonna 1859, ja säilynyt perustekniikaltaan muuttumattomana tähän päivään saakka (Linja-Aho 2022, 17–18). Sähkötrukkien voimanlähteenä lyijyakku on yleisin (Da Silva ym. 2021, 1) johtuen ennen kaikkea luotettavuudesta, alhaisista kustannuksista, ja aiemmin myös vaihtoehtojen puutteesta. (Khabur 2019.) Trukin voimanlähteenä myös yksi ominaisuus, jota voidaan pitää muussa yhteydessä haittana, on lyijyakun suhteen etu – paino. Lyijyakku toimii trukissa paitsi virtalähteenä, myös välttämättömänä painona (Linja-Aho 2022, 18).

Lyijyakun selkein etu verraten litiumakkuun on sen hinta. Litiumakun hankintahinta on jopa 100–300 % kalliimpi vastaavaan lyijyakuun verraten (Jiao ym. 2021). Tuntuva hintaero selittyy paitsi lyijyakun yksinkertaisemmalla tekniikalla ja sen halvemmilla materiaaleilla, myös laturilla, joka tukeutuu litiumlaturista poiketen hyvin perinteiseen ja yksinkertaiseen tekniikkaan (Linja-Aho, 2022, 59). Tutkimuksissa on osoitettu, että kunnossa oleva, asianmukaisesti huollettu ja ylläpidetty lyijyakku voi kestää trukin voimanlähteenä jopa 7h 15min – siis juuri työvuoron verran (Da Silva ym. 2021, 2), joskin se vaatii latautuakseen myös n.8 h. ajan. (Khabur 2019; Wollenhaupt 2021.) Lyijyakku on myös litiumakkua herkempi lämpötilojen suhteen – korkea lämpötila lyhentää oleellisesti

akun käyttöikä, kun taas matala lämpötila heikentää sen kapasiteettia (Alshaebi ym. 2017, 1639). Käyttöympäristön lämpötilan nousu 8°C:lla, puolittaa lyijyakun käyttöiän. (Santhanagopalan, Smith, Neubauer, Kim, Pesaran, Keyser, 2014, 4).

Vaikkakin lyijyakku latauslaitteineen on verraten halpa hankkia, sen elinkaari on litiumakkua lyhyempi, ja tulee tästä syystä uusia laskennallisesti kerran, tai jopa kaksi vastaavan litiumakun elinkaaren aikana (Khabur 2019). Lisäksi lyijyakku ei ole huoltovapaa, vaan se tulee vesittää jokaisen täyteen latauksen jälkeen, jotta kapasiteetti ei alene, tai elinkaari lyhene entisestään (Choosing an electric forklift with lithium-ion battery. 2020, 8). Lyijyakkua ei voida käyttää ”tyhjäksi”, vaan se tulee ladata jo saavuttaessaan alhaisen (n.20 %) kapasiteetin. Osin tästä syystä lyijyakun nimellistehoon verraten todellinen ”ulosanti” on vain n. 50 %, kun se litiumakussa on 70 %. (Alshaebi ym. 2017, 1642.) Lyijyakun latausaika on verraten pitkä, ja se luovuttaa latautuessaan myrkyllisiä kaasuja ympäristöön. Tästä syystä lyijyakun lataaminen vaatii aina erillisen tilan, jossa ilmanvaihdosta on huolehdittu (Khabur 2019).

Lyijyakku ei siedä lyhyitä, osittaisia latauksia, eikä sen kapasiteetti riitä trukikäytössä kuin maksimissaan yhteen työvuoroon. Tästä syystä trukki vaatisi vuorotyössä aina vaihtoakun. Tämä lisää kuluja niin hankittaessa (vaihtoakku), kuin myös käytettäessä (akun vaihdot, lataukset, vesitykset). Näin ollen vuorotyökäyttöä ajatellen lyijyakullisen trukin hintaetu ei enää ole niin tuntuva verraten litiumakkuun. (Choosing an electric forklift with lithium-ion battery. 2020, 5.)

Käyttölämpötila vaikuttaa tuntuvasti lyijyakun toimintaan niin lyhyellä, kuin pitkälläkin aikavälillä. Lyhyen aikavälin vaikutuksilla tarkoitetaan kykyä luovuttaa ja vastaanottaa virtaa, pitkän aikavälin vaikutuksilla akun käyttöikä kokonaisuudessaan. Kylmät olosuhteet vaikuttavat oleellisesti lyijyakun kapasiteettiin alentavasti. (teoriaa ja faktaa akuista.) Korkeat lämpötilat taas parantavat lyijyakun kapasiteettia hetkellisesti, mutta leikkaavat käyttöikää tuntuvasti. (Qian, Zhou, Yuan, Allan, 2010). Nyrkkisääntönä voidaankin pitää, että jokaista 8°C nousua kohden, lyijyakun käyttöikä puolittuu (Santhanagopalan ym. 2014, 4). Lyijyakun sykli-ikä on alhainen, parhaimmillaankin vain noin 800 sykliä. (Townsend & Gouws 2022).

Matala lämpötila vaikuttaa paitsi käyttöön, myös lataamiseen, sekä latauksen yhteydessä muodostuvien kaasujen määrään. Lähtökohtaisesti kylmää akkua voidaan ladata, mutta sen lataamiseen

tarvitaan korkeampaa jännitettä kuin lämpimällä ja tuolloin myrkyllisten, latauksessa vapautuvien kaasujen määrä kasvaa. Heikon varauksen omaava akku jäätyy helposti, ja jäätyminen aiheuttaa akulle pysyvän vaurion. (BU-410: Charching at High and Low Temperatures. 2022.) ”*Lyijyakkujen suositeltava käyttölämpötila on 10–30 astetta*” (Teoriaa ja faktaa akuista).

Ympäristönäkökulmasta lyijyakun valmistus, ja erityisesti kierrätys on kestävämmällä tasolla litiumiin verraten: lyijyakkujen kierrätystehokkuus on yli 80 %, kun vastaavasti litiumakkujen litiumin kierrätystä ei ole katsottu taloudellisesti kannattavaksi, ja muiltakin osin kierrätyskäytännöt ovat vasta hakemassa muotoaan. Varsinaisen valmistuksen suhteen litiumakun valmistaminen vaatii litiumin ja koboltin lisäksi suuria määriä energiaa, ja ympäristönäkökohtien kannalta kyse onkin pitkälti siitä, millä tavoin tuo energia on tuotettu. (Linja-Aho 2022. 129–131.)

Lyijyakun materiaalit eivät heikkene kierrätysprosessissa. Näin ollen oikealla tavalla kierrätettynä lyijyakkuja voidaan käyttää liki loputtomasti. Nykyisin jopa yli 97 % lyijyakuista kierrätetään, ja se omaakin kärkipaikan kierrätettävien kulutustuotteiden listalla. (Worrel, Reuter 2014, 96–98.)

Etenkin litiumin yleistyessä erääksi puheenaiheeksi on noussut paloturvallisuus. Perinteisessä lyijyakussa palavaa materiaalia ovat ainoastaan muovista valmistetut osat, ja niiden sisällä laimea rikkihappoliuos. Näistä syistä lyijyaku on hyvinkin turvallinen valinta paloturvallisuuden näkökulmasta katsoen. (Linja-Aho 2022. 77.)

Vaikka lyijyakulla on ”perinteisen ja vanhentuneen” tekniikan maine, kehitys niiden osalta jatkuu edelleen. Huoltovapaita, suljettuja ja energiatehokkaampia lyijyakkuja on olemassa, ja edelleen kehitteillä. (Mckinnon ym. 2011.) Näiden uudempien lyijyakkujen (kuten TPPL) jotkin ominaisuudet pyrkivät lähemmäs litiumakkujen ominaisuuksia, kuten mm. suljettu rakenne, huoltovapaus, suurempi teho ja vapaampi tapa latauksen suhteen, säilyttäen kuitenkin osin hintaetunsa litiumiin nähden (Passerini ym. 2020, 90).

4.3.2 Litiumakun edut ja haitat

Lyijyakuista poiketen litiumakku on huoltovapaa. Se ei siis tarvitse vesitystä latauksen jälkeen, vaan on heti valmis käytettäväksi. Trukkikäytössä tämä tarkoittaa huoltotoimista säästettyä aikaa,

käytännössä siis lisääntynyttä työaikaa. Litiumakku on myös keskimäärin 30 % lyijyakkua energia-tehokkaampi. (Khabur 2019.)

Litiumakkua on mahdollista ladata lyhyin, yksittäisin jaksoin, eikä latausta tarvitse viedä loppuun saakka niin, että latauksen jälkeen akku olisi täysi. Tehokkaalla laturilla akku latautuu lyhyessäkin ajassa tehokkaasti, tyhjästä täydeksi jopa kahdessa tunnissa. (Modica ym. 2021; Khabur 2019.) Litiumtekniikka tarjoaa siis mahdollisuuden helppoon ja nopeaan lataukseen, esimerkiksi trukinkuljettajan tauon aikana (Modica ym. 2021; Alshaebi ym.2017, 1640). Käytännössä litiumakun, ja tehokkaan laturin tulisi mahdollistaa myös työskentely vuoroissa akkua vaihtamatta, sillä tyypilliset taukoajat vuoron aikana (yhteensä 50-90min/työvuoro) mahdollistavat lataukset niin, ettei akun varaus pääse tuntuvasti laskemaan missään vaiheessa (Modica ym.2021). Lisäksi litiumakku säilyttää kapasiteettinsa verrattain hyvin myös ikääntyessään, eikä siis menetä juuri tehokkuuttaan kalenteri-iän, tai sykli-iän karttuessa (Matilainen, 2019). Litiumakun sykli-ikä on korkea, noin 3000 sykliä (Townsend & Gouws 2022).

Litiumakku tarjoaa lyijyakuun verraten enemmän tehoa, joka tarkoittaa trukikäytössä nopeampaa kiihtyvyyttä ja nopeampaa työskentelyä. On tutkittu, että litiumakullinen sähkötrukki kykenee jopa 10 % korkeampaan suoritteeseen vastaavissa tehtävissä ja olosuhteissa lyijyakulliseen trukkiin verraten. Lisäksi litiumakku on tasalaatuisempi laajalla lämpötila-alueella. (Alshaebi ym. 2017, 1639–1642.)

Kuten aiemmin mainittu, lyijyakun kierrätysaste on korkea, Euroopan ja Pohjois-Amerikan alueella lähes 100 %, kun vastaavasti litiumakuista päätyi vuonna 2016 kierrätykseen arvioiden mukaan vain noin 5 % (LeBlanc, 2018; Valio, 2018). Tämä johtuu siitä, että litiumakkujen monimutkaisen rakenteen vuoksi kierrätys on työläs, monivaiheinen prosessi, eikä sen vuoksi ole taloudellisesti kannattavaa. Litiumakut sisältävät kuitenkin runsaasti myrkyllisiä raskasmetalleja (mm. litium ja koboltti), jotka olisivat ympäristöön pääsemisen sijaan tärkeää saada asianmukaisesti kierrättäen talteen myös niiden rajallisen saatavuuden vuoksi. Hyötysuhteen tulisi kuitenkin olla korkea (n.90 %), jotta kierrättäminen olisi kannattavaa, eikä mainittuun hyötysuhteeseen nykyisin menetelmin kustannustehokkaasti päästä. Ympäristönäkökohtien ja materiaalien rajallisuuden vuoksi kierrätystä on kuitenkin väistämättä lisättävä. (Matilainen, 2019.)

Yksi piirre erottaa litiumakun kierrätettävyyden lyijyakuista: viiden – kuuden vuoden jälkeen ”eläköityvä” litiumakku on vielä kelvollinen sellaisenaan kevyempiin tehtäviin, joita voivat olla mm. aurinko-/ tuulisähkökenttien varaajiksi, tai latausasemille varsinaisen verkon tueksi (Choosing an electric forklift with litium-ion battery, 2020, 9).

Litiumakuista puhuttaessa esiin nousee usein myös paloturvallisuus. Suuret litiumakut ovat rakennettu useista kennoista, ja jokaisen kennon suhteen sisäinen oikosulku on mahdollinen. Kennossa tapahtuva oikosulku tai muu lämpötilaa nostava syy aiheuttaa ketjureaktion, jossa lämpötilanousu on hallitsematonta, ja palotapahtuma ruokkii itse itseään mm. vapautuvalla hapella ja edelleen nousevalla lämpötilalla. Kyseessä on kennosta toiseen etenevä lämpöryntäys, joita kuvaillaan räjähdysmäisiksi. Litiumakkupalon sammutus on haasteellista, sillä akku sisältää palotapahtumaan tarvittavan hapen, eikä tämän vuoksi sammu esim. tukahduttamalla. (Linja-Aho 2022. 76.)

Litiumakut ovat huoltovapaita. Yksi syy litiumakun huoltovapauteen on sen oma akunhallintajärjestelmä. Monimutkaisemmasta tekniikastaan, ja sisäisten lämpötilojen hallinnan kriittisyydestä johtuen, litiumakku sisältää aina ns. ”älyä”. Samalla tavoin litiumakun laturi omaa paitsi huomattavan suuria tehoja, myös samankaltaista älyä kuin akkukin. Nämä ominaisuudet nostavat litiumakun (ja laturin) arvoa tuntuvasti. (Linja-Aho 2022. 59–62; Alén, 2022.)

4.3.3 Lyijyakkujen kehittyneemmät variaatiot

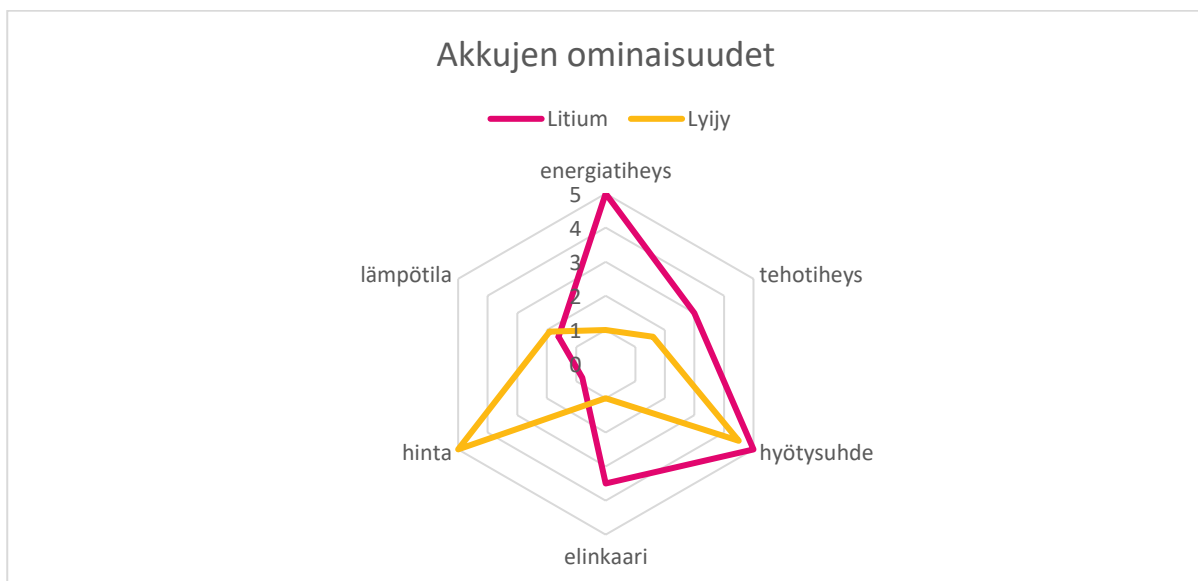
Huomattavasti uudempi, ja vähemmän tunnettu variaatio lyijyakusta on niin sanottu ”puhdas lyijy-akku” (TPPL – Thin Plate Pure Lead). Tämän akkutyypin tyypillisimmät erot ovat (osittainen) huoltovapaus, sekä verraten parempi sietokyky lyhyisiin, suuritehoisiin latauksiin. TPPL-akku on myös perinteisiä lyijyakkuja tehokkaampi ja pitkäikäisempi. Näin ollen se kaventaa eroja litiumakun hanttuihin ominaisuuksiin, ollen kuitenkin edullisempi hankinta litiumiin verraten. (Passerini ym. 2020, 90.)

4.3.4 Vertailua Lyijy- ja litiumakkujen välillä

Kuva 1 osoittaa akkujen kuusi tärkeää ominaisuutta ja kuinka lyijy- ja litiumakku suoriutuvat näiden ominaisuuksien valossa. Nämä kuusi tärkeää ominaisuutta ovat: energiatiheys, tehotiheys,

hyötysuhde, elinkaari, hinta ja lämpötila. Litiumtekniikalla on huomattavat edut lyijyakkuun nähden, ja onkin siitä syystä suosittu, ja kiivaasti kasvava akkutyyppi.

Litiumakun kiistattomiin etuihin kuuluvat erinomaiset energiatiheys sekä hyötysuhde, hyvä käyttökä ja matala hinta. Vaikka akut ovatkin hankittaessa arvokkaita, laskennallinen hinta energiaa kohden (EUR/kWh) on hyvällä tasolla. Lisäksi litiumakun tarjoama teho ja käyttökä huomioiden, hinnan voidaan katsoa olevan edullinen verraten kilpaileviin akkutekniikoihin. (Santhanagopalan ym. 2014, 2–3.)



Kuvio 2. Akkujen ominaisuudet. Muokattu, Desing and Analysis of Large Lithium-Ion battery systems.

Alla on esitetty yhteenveto perinteisen lyijyakun, sekä työkoneissa käytetyn litiumakkutekniikan pääominaisuuksista. Taulukko on suuntaa antava yleistyys ja tuleekin huomata, että poikkeuksia on niin lyijy-, kuin litiumakkujenkin kohdalla – osaa litiumakuista voi esimerkiksi ladata kylmissä olosuhteissa, ja toisaalta osaa lyijyakuista voidaan ladata huomattavasti totuttua lyhyemmässä ajassa. Alla oleva taulukko on siis karkea kuvaus kahden eri akkutekniikan ominaisuuksien eroavaisuuksista. (Linja-Aho, 2022, 22–23.)

Taulukko 1. Akkujen ominaisuuksia. Muokattu Linja-Aho, 2022, 12.

	Lyijyakut	Litiumioniakut (LFP)
Ominaisenergia (Wh/kg)	30–50	90–120
Sisäinen resistanssi	Erittäin pieni	erittäin pieni
Syklikesto	200–300	1000–2000
Latausaika (h)	8–16	1–2
Ylilatauksen sieto	hyvä	huono
Itsepurkautuminen (kuukaudessa)	5 %	<5 %
Nimellisjännite (V)	2	3,3
Latauksen katkaisujännite (V)	2,4	3,6
Purkamisen katkaisujännite (V)	1,75	2,5
Suurin purkuvirta	5C	>300C
Latauslämpötila (°C)	`-20...50	`0...45
Purkulämpötila (°C)	`-20...50	`-20...60
Huollon tarve	Säännöllinen nesteytys	Täysin huoltovapaa
Turvallisuus	Termisesti vakaa	Voi lämpörynnätä, vaatii suojajärjestelmän
Käytössä kaupallisesti	1800-luvun lopulta saakka	1999 alkaen
Coulombinen hyötysuhde	90 %	99 %
Hinta	matala	keskisuuri-korkea

5 Kuinka valita trukin voimanlähteiden ja akkutekniikoiden väliltä?

Peruskysymykset, joiden vastaukset määrittelevät trukin voimanlähteen valintaa.

1. Kokonaisoperointiaika. Kuinka intensiivistä on trukin työskentely ja monessako vuorossa?
2. Korjaukset ja huollot. Millaisiin toimenpiteisiin ja kuinka usein on syytä varautua?
3. Käyttölämpötila. Työskennelläänkö äärimmäisen kylmissä tai kuumissa olosuhteissa?
4. Käytettävissä olevat tilat. Missä tiloissa trukilla ajetaan, onko ahdasta vai väljää? Onko tilaa lataus-huoneelle, vara-akuille tai polttoainesäiliölle?
5. Käyttäjät. Ovatko käyttäjät hyvin koulutettuja ja tunnollisia? Hoituvatko ennakoivat huoltotoimet sääntillisesti?
6. Sähköverkko. Millainen on verkon tehokkuus alueella tai tiloissa, joissa trukilla ajetaan?
7. Päästöt. Ajetaanko trukilla ulko- vai sisätiloissa? Jos sisätiloissa, miten pakokaasut?

5.1 Diesel

Tiukentuvasta päästökurista ja sähkötrukkien, sekä akkuteknologian kehityksestä huolimatta, useat toimijat ajattelevat, että dieselillä on paikkansa trukkien voimanlähteenä. Tämä erityisesti

siksi, että dieselillä on pitkäaikainen, luotettava maine erityisesti raskaammissa operaatioissa. Onkin totta, että dieseltrukkien kantavuudet päihittävät sähkötrukit, vaikkakin sortimentti laajenee myös sähkötrukeissa kovaa vauhtia. (Turner, 2021.)

Dieseltrukkien tunnetuimpia ja kiistattomimpia etuja ovat kautta aikojen olleet kyvykkyys raskaampia taakkojen käsittelyssä, riippumattomuus alustasta ja olosuhteista, sekä polttoaineen saatavuus/riittävyys ja tämän kautta pitkä, keskeytymätön operointimahdollisuus ja mahdollisuus polttoaineen lisäykseen nopeasti kesken operoinnin (Understanding Different Forklift Types and Their Applications. 2023, Tips for Choosing The Right Forklift for the Job). Lisäksi dieselin eduiksi on luettu kiihtyvyys ja nopeus, kyvykkyys kaltevilla alustoilla (moottorin tarjoama vääntö), sekä sähkötrukkeihin verraten edullisempi hankintahinta ja valikoiman laajuus niin uusien, kuin erityisesti käytettyjen trukkien markkinoilla (The different kind of forklift engines.2023, How to choose between a diesel, propane, or electric forklift, Turner, 2021). Dieseltrukit voidaan myös parkkeerata/säilyttää vapaasti, sillä ne eivät tarvitse sähkötrukin lailla latausta, eivätkä näin myöskään lataukseen vaadittavia tiloja (Diesel Forklift & Electric Forklift Comparisons. 2022).

Toisaalta diesel on myös saatavilla olevista voimanlähteistä vähiten ympäristöystävällinen (How to choose between a diesel, propane, or electric forklift). Kuten tiedetään, fossiilisten polttoaineiden käytöstä aiheutuvat päästöt kiihdyttävät ilmastonmuutosta. Lisäksi päästöt vaikuttavat ilmanlaatuun työympäristössä, heikentäen näin työympäristön mielekkyyttä sekä terveellisyyttä, samoin kuin dieselmoottorin aiheuttama melu. (Turner, 2021.) Vaikka dieseltrukki onkin hankittaessa verrattain halvempi, sen käyttökustannukset ovat selkeästi korkeammat polttoainekustannusten vuoksi (Tips for Choosing The Right Forklift for the Job). Lisäksi polttomoottorikäyttöiset trukit vaativat teknisen monimutkaisuutensa vuoksi useammin toistuvaa ja laajempaa huoltoa, jotka kasvattavat käyttökustannuksia entisestään polttoainekulun lisäksi (Diesel Forklift & Electric Forklift Comparisons. 2022).

Tunnetuimpia ja kiistattomampia etuja dieseltrukkien suhteen ovat:

- Polttoaineiden joustava saatavuus ja kuljetusmahdollisuus
- Nopea tankkausprosessi
- Pitkä operointiaika tankillisella polttoainetta
- Riippumaton olosuhteista (lämpötila, alusta, sääolot)
- Vääntö. Kaltevat alustat ja raskaat nostot eivät aiheuta haastetta

- Riippumaton sähköverkoista ja sisätiloista
- Laajempi tarjonta suuremmilla kantavuuksilla
- Laajempi tarjonta käytettyjen koneiden markkinoilla
- Tasainen suorituskyky koko käytön aikana
- Sähköön verraten edullisempi hankintahinta

Tunnetuimpia ja kiistattomampia haittoja dieseltrukkien suhteen ovat:

- Päästöt
- Sähköön verraten korkeampi käyttökustannus
- Sähköön verraten korkeammat huolto- ja korjauskulut
- Rajoitettu käyttö sisätiloissa
- Melu

(Understanding Different Forklift Types and Their Applications. 2023; Tips for Choosing the Right Forklift for the Job; Diesel Forklift & Electric Forklift Comparisons. 2022; How to choose between a diesel, propane, or electric forklift; Turner, 2021).

5.2 Sähkö

Sähkötrukit ovat olleet edustettuina logistisissa tehtävissä jo pitkään, mutta niiden laajempi suosio on kasvanut vasta hiljattain. Tähän kehitykseen ovat vaikuttaneet paitsi kasvanut tietoisuus ympäristökysymyksistä, myös polttonesteiden hintojen nousu. Nykyisin karkeasti puolet valmistuneista trukeista saavat käyttövoimansa sähköstä. (Diesel Forklift & Electric Forklift Comparisons, 2022.) Tekniikka kehittyy entisestään, ja yhä kantavammat ja kykenevämmät sähkötrukit yleistyvät. Jo tänäkin hetkellä sähkötrukit kykenevät useisiin toimiin, johon aiemmin vaadittiin dieseliä. Lisäksi sähkötrukkien perinteinen rajoittuneisuus ”ainoastaan sisäkäyttöön” ei sekään pidä enää paikkaansa. (Turner, 2021.)

Sähkötrukin selkein, ja tänä päivänä vaikuttavin ominaisuus on kiistatta päästöttömyys. Sähkö on valittavissa olevista vaihtoehdoista ympäristöystävällisin, sillä sen päästöt ovat nolla (The different kind of forklift engines, 2023). On tutkittu, että siinäkin tapauksessa, että käytettävä sähkö olisi tuotettu fossiilisia polttoaineita hyödyntäen, sähkötrukin ympäristövaikutus on polttomoottoritrukkia pienempi (Fuc ym. 2016, 1438–1439). Logistiset toimijat kokevat kasvavaa painetta fossiilisten polttoaineiden käytön vähentämiseen, ja päästöttömiä vaihtoehtoja kehitetään kiihtyvästi – näin myös suurempien sähkötrukkien saralla (Choosing an electric forklift with lithium-ion battery.

2020, 3). Onkin ennustettu, että seuraavan vuosikymmenen aikana sähkö syrjäyttää dieselin trukkimarkkinoilla (Xiao, 2022).

Päästöttömyyden lisäksi sähkötrukeilla on muitakin etuja puolellaan: käyttöikä, sekä omistamisen kokonaiskustannukset. Sähkötrukin elinkaari on pidempi ja yksinkertaisemman tekniikkansa vuoksi huolto-/korjauskustannukset ovat alhaisemmat (Turner, 2021). Varsinainen ”polttoainekustannus” tekee suurimman eron kokonaiskustannuksiin: vuotuinen kustannus on sähköllä jopa vain 10 % vastaavasta dieselin vuosikustannuksesta (Tips for Choosing The Right Forklift for the Job). Huoltokustannusten osuus on polttomoottoria pienemmät yksinkertaisesta syystä – vaihdettavia nesteitä ja liikkuvia/kuluvia osia on sähkötrukissa huomattavasti polttomoottoritrukkia vähemmän (How to choose the right power source to your forklift, 2022).

Muita sähkötrukin etuja ovat mm. meluttomuus ja päästöttömyys työturvallisuuden näkökulmasta, sekä kompaktimpi rakenne ja soveltuvuus ahtaisiin ympäristöihin dieseltrukkeihin verraten (Diesel Forklift & Electric Forklift Comparisons, 2022).

Tunnetuimpia ja kiistattomampia etuja sähkötrukkien suhteen ovat:

- Käyttökustannuksiltaan dieseliä edullisempi
- Usein kompaktimpi koko
- Pitkäikäisempi tekniikka
- Ei polttoaineiden varastointitarvetta
- Dieseliin verraten matalammat huolto- ja korjauskustannukset
- Dieseliin verraten matalammat käyttökustannukset
- Dieseliin verraten meluttomampi
- Päästötön

Tunnetuimpia ja kiistattomampia haittoja sähkötrukkien suhteen ovat

- Korkeampi hankintahinta (jopa 20–50 % korkeampi, akku- ja laturitekniikan mukaan)
- Rajoitteet vuorotyön suhteen (akutekniikan mukaan tarvitsee useita akkuja)
- Rajoitteet sääolojen ja alustan suhteen
- Riippuvuus latauspaikasta ja sähkön saatavuudesta
- Tehon hiipuminen varauksen laskiessa
- Akun vaihtoon ja/tai lataamiseen tarvittava aika
- Tehottomuus tietyissä tilanteissa (vääntö, riippuen akun kapasiteetista)

- Valikoiman rajallisuus suuremmissa kantavuusluokissa
- Mahdolliset sähköverkon muutostarpeet
- Mahdolliset lataustilojen tarpeet
- Käyttölämpötilan asettamat rajoitteet/muutokset

(Understanding Different Forklift Types and Their Applications, 2023; Tips for Choosing The Right Forklift for the Job; Diesel Forklift & Electric Forklift Comparisons, 2022; How to choose between a diesel, propane, or electric forklift; Turner, 2021).

5.3 Sähkö lyijyakkutekniikalla

Kuten aiemminkin todettua, Sähkötrukkien voimanlähteenä lyijy Akku on yleisin (Da Silva ym. 2021, 1). Yksinkertainen, luotettava tekniikka ja edullinen hankintahinta ovat olleet lyijy Akkun suosion perustana (Khabur 2019). Lisäksi lyijy Akkun paino, joka saattaa olla muissa yhteyksissä haitta, on trukki käytössä eduksi (Linja-Aho 2022, 18).

Toisaalta lyijy Akkun selkeitä haittapuolia ovat ylläpitohuollon tarve, alhainen energiatilavuus, sekä matalampi kustannustehokkuus pitkien latausaikojensa vuoksi (Khabur 2019). Näiden seikkojen vuoksi lyijy Akkutekniikalla varustettu trukki soveltuu huonosti intensiiviseen-, tai vuorotyöhön, joissa energian tarve on suuri ja/tai pitkäaikainen. Lisäksi lyijy Akkullisen sähkötrukin tehokkuus vähenee varauksen vähentyessä. (Forklift History: The Complete Story, 2022.) Lyijy Akku on kuitenkin kelpo valinta tilanteessa, jossa trukilla työskennellään vain yhden vuoron ajan (Tips for Choosing The Right Forklift for the Job).

Työn turvallisuuden ja mielekkyyden kannalta lyijy Akku ei ole optimivalinta, vaikka onkin polttomoottoriin verraten päästötön. Lyijy Akku vaatii kurinalaista huoltoa mm. säännöllisen vesityksen muodossa. Intensiivisessä käytössä/vuorotyössä akku tulee vaihtaa toiseen työn edetessä. Raskaan akun vaihtotyö saattaa aiheuttaa itsessään vaaraa, samoin kuin myrkylliset kaasut, joita vapautuu akkua ladatessa. Kustannusnäkökulmasta em. aiheet vaativat myös aikaa (ei tuottavaa työtä), sekä vaadittavan ilmanvaihdon tilaan, jossa lataus tapahtuu. Työn intensiivisyydestä/vuorojärjestelystä riippuen, mahdollinen vaihtoakku/-akut lisäävät myös kustannuksia paitsi ylläpidon suhteen, myös erityisesti hankittaessa. (Wollenhaupt, 2021.)

5.4 Sähkö litiumakkutekniikalla

Sähkötrukit ovat nousseet haastamaan polttomoottorisia trukkeja aivan uudella tavalla. Trukin käyttöominaisuudet ovat muuttuneet tuntuvasti perinteisiin akkuteknologioihin verraten. Vanhat, totutut lainalaisuudet sähkötrukkien osalta eivät enää päde, ja useissa tehtävissä sähkö on uudelleen varteenotettava vaihtoehto esim. dieselille. Tämä muutos johtuu pitkälti litiumakkujen kehitymisestä. (Wollenhaupt 2021.)

Litiumakku on lyijyakkua tehokkaampi, huoltovapaa, sekä joustavasti ladattavissa. Litiumakun varaus voi kasvaa jopa 50 % puolen tunnin latauksella, ja käyttöikä on jopa kolme kertaa pidempi kuin lyijyakun, akun juuri menettämättä tehokkuuttaan. Litiumakun lataus on siinäkin suhteessa vapaampaa, ettei se tarvitse erillistä, tehokkaalla ilmanvaihdolla varustettua tilaa, sillä latauksen yhteydessä ei vapaudu myrkyllisiä kaasuja lyijyakun tavoin. (Choosing an electric forklift with lithium-ion battery. 2020, 8.) Näistä syistä litiumakkuteknologia käytettynä trukin voimanlähteenä kykenee haastamaan polttomoottorit useissa yhteyksissä, joissa se ei aiemmin ollut mahdollista.

Kriittisin ero perinteisiin akkutekniikoihin on, ettei litiumakkua ei tarvitse vaihtaa kesken operaatioiden. Sen kyky ottaa suuri määrä virtaa vastaan lyhyessä ajassa on avaintekijä, joka tekee siitä kilpailukykyisen polttomoottoreihin verraten – riittävä varaus saadaan esim. kuljettajan taukojen aikana ladattaessa. (Wollenhaupt 2021.) Lataus tyhjästä täydeksi parhaimmillaan 45–50 minuutissa, noin 3000 lataussyklin elinkaari, huoltovapaus ja liki tasainen virranpurkukäyrä tekevät merkittäviä eroja perinteiseen lyijyakkutekniikkaan (Choosing an electric forklift with lithium-ion battery. 2020, 7).

Litiumakullinen sähkötrukki on omiaan korkeaintensiiviseen työskentelyyn jatkuvan, lämpötilasta liki riippumattoman korkean suorituskyvyn, lyhyiden, osittaisten latausten sekä matalampien huolto- ja korjaustoimien/-kustannusten vuoksi (How to choose the right power source to your forklift, 2022). Oikein mitoitettu litiumakku suhteutettuna latausstrategiaan (suunnitellut, osin nopeat, osittaiset lataukset) mahdollistavat kustannustehokkaan akkuhankinnan säästämällä investointikustannuksissa (Modica ym. 2021).

5.5 Trukin voimanlähteen valintakriteerit

Taulukko 2. Trukkien eri voimanlähteiden ominaisuudet, soveltuvuudet ja vaatimukset.

Tuoteturvallisuus/työturvallisuus	Diesel	Sähkö Li- tium	Sähkö Lyijy
Ei polttoaineesta koituvaa kontaminaatoriskiä (esim. elintarvikkeet, lääkkeet tms.)		X	X
Ei pakokaasuista aiheutuvaa työturvallisuusriskiä		X	X
Ei melusta aiheutuvaa työturvallisuusriskiä		X	X
Ei myrkyllisistä kaasuista ladattaessa	X	X	
Olosuhteet			
Työskentely kaltevilla/epätasaisilla alustoilla onnistuu	X		
Työskentely äärimmäisissä lämpötiloissa onnistuu	X	(X)	
Työskentely haastavissa sääoloissa onnistuu	X		
Varaus/tankkaus äärimmäisissä lämpötiloissa onnistuu	X		
Ei ole riippuvainen sähköverkon saatavuudesta	X		
Ei ole riippuvainen polttonesteiden saatavuudesta		X	X
Työskentelyn intensiivisyys			
Täysitehoinen aina seuraavaan tankkaukseen/varaukseen saakka	X	X	
Sopii erinomaisesti pitkäkestoiseen, intensiiviseen työskentelyyn	X		
Taukoamaton toiminta 2-vuorotyössä onnistuu	X	X	
Taukoamaton toiminta 3-vuorotyössä onnistuu	X	X	
Saatavuus ja kustannukset			
Laaja tarjonta kaikissa kantavuusluokissa	X		
Laaja tarjonta käytettyjen markkinoilla	X		(X)
Verrattaen pienempi hankintakustannus	X		(X)
Verrattaen pienempi käyttökustannus		X	X
Vaatimukset ylläpito- ja ympäristön suhteen			
Ei erillistä tilantarvetta koskien varausta/tankkausta		X	
Ei erityisen kyvykkään sähköverkon tarvetta	X		X
Ei vaihtoakun tai varakoneen tarvetta	X	X	
Ei ennakoidun/ylläpito- ja huollon tarvetta käyttäjältä	X	X	
Ei polttonesteiden säilytystarvetta		X	X

(X) tietyin varauksin

Yllä esitetty taulukko on koostettu yhdistäen kaikkia trukkeja käsitteleviä lähteitä. Osa lähteistä on tuotettu valmistajan/myyjän toimesta, joten niihin olisi syytä suhtautua tietyllä varauksella. Tässä tapauksessa kuitenkin taulukkoon koostettu, saman suuntainen tieto on mainittu useissa eri läh-

teissä ja käsittelee useimmiten kiistattomia lainalaisuuksia liittyen teknisiin ratkaisuihin ja kemian/fysiikan lainalaisuuksiin koskien esimerkiksi polttomoottorin rakennetta tai akkutekniikkaa, jotka pätevät valmistajasta riippumatta.

6 Tutkimusasetelma

6.1 Yritysesittely

Suomen Transval Oy (myöhemmin Transval) on suomalainen, logistiikan alihankintaa ja henkilöstöratkaisuja tarjoava yritys. Transval on pohjoismaiden suurin sisälogistiikkatalo ja markkinajohtaja logistiikan ulkoistusratkaisuissa n. 5500 työntekijän ja yli 600 asiakkaan turvin Suomessa ja Baltiassa. Palvelusortimenttiin kuuluu monipuolisten logistiikan ydinpalveluiden ohella nykyisin mm. pakkaussuunnittelu ja -valmistus, sekä vartiointi- ja konsultointipalvelut.

Transval on perustettu vuonna 1994 ja nykyisin 100 % Posti Groupin omistama vuodesta 2019.

6.1.1 Ympäristötavoitteet

Transval on osana Posti Groupia sitoutunut SBT-aloitteeseen (Science Based Targets initiative), joka on linjassa Pariisin ilmastopöytäkirjan mukaisen 1,5°C:n lämpenemisrajoitteen kanssa. (Rinne, 2022). Transval on sitoutunut alentamaan kokonaispäästöjään -50 % vuoden 2020 tasosta, vuoteen 2030 mennessä. Transvalin tavoitteena on omat hiilivapaat toiminnot, sekä arvokuljetusten osalta fossiilivapaat tiekuljetukset vuoteen 2030 mennessä. Kokonaispäästöt nettonollaan on asetettu tavoitteeksi vuoteen 2040 mennessä. Vuonna 2021 liikkuvan kaluston polttoaineet edustivat liki 50 % Transvalin CO₂ -päästöistä. (Rinne, 2022)

6.1.2 Yhteistyössä asiakkaan kanssa

Vaikka Transval on alihankintaa ja ulkoistusratkaisuja tarjoava yritys, toiminnalle on ollut alusta saakka ominaista palveluhenkisyys ja avoin yhteistyö asiakkaan kanssa. Transval pyrkii olemaan kaikessa toiminnassaan suoraselkäinen, avoin, ja proaktiivinen kumppani. Asiakkaan etu toimii veturina mm. kehittämistyössä, joka on koko ajan jatkuvaa ja tietyllä tapaa kasvavassa roolissa tietotekniikan ja järjestelmien kehittyessä. Niin Transvalin oma, kuin myös asiakkaiden kasvava huoli

ympäristökysymyksistä eivät tee tässä poikkeusta – Transvalin emoyhtiön kanssa yhteiset ympäristötavoitteet ovat kunnianhimoiset ja kirkkaana mielessä kaikessa toiminnassa – asiakkaiden omista ympäristötavoitteista puhumattakaan.

6.2 Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset

Tutkimuksessa haluttiin selvittää, soveltuisiko sähkö trukin voimanlähteeksi yli 2tn taakoilla suoritettavaan, intensiiviseen työhön kahdessa vuorossa. Lisäksi haluttiin selvittää, millainen olisi vaikutus työskentelyn tehokkuuteen ja kokonaiskustannuksiin, mikäli trukkikaluston voimanlähde vaihdettaisiin polttomoottoreista sähköön. Tutkimus voidaan jakaa toisiinsa kytkeytyviin osiin, jotka muodostavat myös tutkimuksen pääkysymykset:

- Mahdollistaako sähkökäyttöinen trucki tehokkaan työskentelyn 3-4tn taakoilla?
- Mahdollistaako nykyinen akkutekniikka intensiivisen työskentelyn vuorotyössä akkua vaihtamatta?
- Kuinka diesel-, ja sähkötrukin hankinta-, ja käyttökustannukset suhteutuvat keskenään?

Tutkimuksen kohdetoimipisteeksi valittiin metsäteollisuuden asiakkuus, jossa työskennellään intensiivisesti arkisin kahdessa vuorossa, ja käsiteltävät taakat ovat pääsääntöisesti kolmen ja neljän tonnin välillä. Asiakkuus kuuluu tutkimuksen tekijän vastuualueelle, joka mahdollisti tiiviin osallistumisen tutkimuksen tekemiseen ja seuraamiseen. Tämä asiakkuus valittiin em. seikkojen lisäksi siksi, että myös asiakkaan tahtotila oli selvittää mahdollisuuksia luopua fossiilisista polttoaineista käsittelytoimintojen osalta. Asiakkuus on toiminut pitkään, ja koko tuon ajan käsittelytehtävät on suoritettu dieseltrukeilla. Dieseltrukeilla tehtävistä töistä, ja niiden tehokkuudesta oli siis tarjolla kattavasti dataa. Sähkökäyttöisistä trukeista haluttiin kerätä vastaavaa dataa vastaavissa tehtävissä, jotta voitiin verrata kahden eri voimanlähteen eroavaisuuksia.

Tämän lisäksi valittiin yhtiön asiakkuuksista toinen, jossa taakat ovat kevyemmät, ja käsittely hieman toisen luontoista, mutta sähkötrukkien voimanlähde/akkutekniikka on hiljattain päivitetty kaasusta sähköön ja lyijyakuista litiumakkuihin. Tästä toimipisteestä haluttiin saada kokemukseräistä tietoa siitä, kuinka eri käyttövoimat/akkutekniikat ovat vaikuttaneet operaatioiden kulkuun, niiden tehokkuuteen ja trukkien huolto-/ylläpitokustannuksiin. Erityisesti lyijy-, ja litiumakkujen eroavaisuuksista haluttiin saada tätä kautta tietoa, sillä litiumakkua ei pyrkimyksistä huolimatta saatu metsäteollisuuden asiakkuuteen testiin.

Näiden kahden pisteen avulla haluttiin saada selvitettyksi, kykeneekö sähkö trukin voimanlähteenä korvaamaan polttomoottorit käsittelyoperaatioiden tehokkuuden kärsimättä. Lisäksi haluttiin verrata, kuinka trukikaluston vaihtaminen polttomoottorisista sähköisiin vaikuttaisi kokonaisuudessaan kalustokustannuksiin.

6.3 Tutkimustyyppi

Kyseessä on tapaustutkimus, jossa on yhdistettynä kvalitatiivisia ja kvantitatiivisia menetelmiä.

Tapaustutkimuksella tarkoitetaan tutkimusta, joka kohdistuu yksittäiseen tapaukseen tai pieneen joukkoon, ja jossa aineistoa kerätään useilla eri metodeilla, tehden testausta luonnollisessa ympäristössä, todellisissa tilanteissa. (Hirsjärvi, Remes, Sajavaara. 2010, 134–135) Tutkimuksen kohde on moninainen, hankalasti erillisiin osiin jaettava kokonaisuus. Tutkimuksen kohde on harkittu ja tarkkarajainen, josta halutaan hankkia lisää tietoa useiden eri menetelmien avulla ja tutkijan on mahdollista osallistua itse tutkimuksen kulkuun, hankkien suppeasta otannasta mahdollisimman paljon tietoa testaten aihetta käytännössä ja todellisessa ympäristössä (Ojasalo, Moilanen, Rita-lahti 2009, 52–55.)

Tutkimuksessa käytettävät menetelmät ovat jaoteltuna karkeasti tutkimukseen osallistuvien liiketoimintayksiköiden mukaan. Toisen, varsinaista testausta suorittavan yksikön osalta pääpaino oli enemmän kvantitatiivisissa (määrällisissä) menetelmissä ja toisen, jossa tutkimuksen kohteena olivat kokemukset koskien jo aiemmin tapahtunutta työympäristön muutosta, painopiste oli enemmän kvalitatiivisissa (laadullisissa) menetelmissä.

”Kvalitatiivisessa tutkimusmenetelmissä suositaan ihmistä tiedonkeruun instrumenttina”. Yleisinä menetelminä mm. osallistuva havainnointi ja teemahaastattelut, joissa ”valitaan kohdejoukko tarkoituksenmukaisesti, ei satunnaisotoksen menetelmää käyttäen”. (Hirsjärvi ym. 2010, 164) Lähtökohtana on, että kohdetta tutkitaan kokonaisvaltaisesti, tarkoituksena nostaa esiin ja ”mitata” seikkoja, joita ei voi perinteisillä tavoilla määrällisesti mitata. Yleisesti käytettyjä kuvaavia termejä kvalitatiivisen tutkimuksen menetelmien suhteen ovat mm. ”kokemuksellinen” ja ”kenttätutkimus”. Kvalitatiivinen tutkimus ei siis jahtaa numeerista dataa tai tarkkoja lukuja (Hirsjärvi ym. 2010, 160–163.)

Kvantitatiivinen lähestymistapa on hankala selkeästi erottaa kvalitatiivisesta. Nämä kaksi lähestymistapaa usein täydentävät toisiaan – eivätkä suinkaan poissulje tai erota toisiaan. Usein näitä kahta menetelmää käytetään rinnakkain tai ns. peräkkäin niin, että toinen vaihe edeltää toista. Kvantitatiivinen tutkimustyyppi keskittyy kuitenkin kvalitatiivista tyyppiä enemmän numeeriseen dataan ja mitattavien määreiden analysointiin (Hirsjärvi ym. 2010, 135–137.)

6.4 Menetelmien valinta

Kyselytutkimus

”Kyselytutkimusten etu on se, että niiden avulla voidaan kerätä laaja tutkimusaineisto, jossa suurelta määrältä ihmisiä voidaan kysyä monia asioita”. (Ojasalo ym. 2009, 108)

Kyselytutkimuksen etuna nähdään tehokkuus. Kyselytutkimuksella on mahdollista tavoittaa laaja joukko, ja kysyä kerralla useita eri asioita. Lisäksi kyselytutkimuksen tulosten analysointi on verrattain helppoa ja selkeää, erityisesti silloin, kun kyselylomake on suunniteltu huolellisesti ennalta. Kyselytutkimuksen heikkouksina koetaan se, ettei voi olla varmuutta siitä, kuinka perillä vastaajat ovat tiedusteltavista aiheista tai siitä, kuinka vakavasti he kyselyn ottavat ja siihen vastaavat. Lisäksi kyselytutkimuksen heikkona kohtana nähdään se, että huolellinen lomakkeen laadinta vie aikaa, ja vastausten osalta voi joissakin tapauksissa käydä kato (Hirsjärvi ym. 2010, 195.)

Tutkimukseen valittiin käytettäväksi kontrolloidun kyselyn muunnos, jossa tutkija itse ei jaa lomakkeita, eikä valvo tai tarkista niiden täyttöö, tai nouda henkilökohtaisesti täytettyjä lomakkeita. Tutkija on kuitenkin tavannut valtaosan kyselyyn osallistuvasta joukosta, kertonut tutkimuksen tarkoituksesta ja suorittaa kyselyn kyseisen toimipisteen esimiehen avustuksella ja valvonnalla. (Hirsjärvi ym. 2010, 196–197.) Kyselytutkimus oli yhdistelmä strukturoitua ja avointa kyselyä, jossa käytettiin kolmea eri tapaa: avoimia- ja monivalintakysymyksiä, sekä skaaloihin perustuvaa kysymystyyppiä riippuen siitä, mitä/millaista aihetta kysyttiin. (Hirsjärvi ym. 2010, 198–201) Esi-, eli pilottitutkimuksesta muodostettiin siitäkin muunnos – varsinaista kyselyä ei pilotoitu, mutta ennen kyselyn laatimista tutkija tapasi valtaosan kohdejoukosta, haastatellen ja keskustellen tutkimuksen ja myöhemmin järjestettävän kyselyn aiheista. Tällä vierailulla haluttiin varmistaa teemojen ja kysymysten oikeellisuutta, sekä hakea pohjaa tavoille ja tyyille, jotka kyseiseen kyselyyn – ja kohdejoukkoon - parhaiten sopisivat (Hirsjärvi ym. 2010, 204.)

Vertailukelpoista tietoa haluttiin siis saada laajalta joukolta ja saadun aineiston haluttiin olevan helposti analysoitavissa. Lisäksi toivottiin saatavan vapaamuotoisempaa kommentointia ja perusteluja strukturoidun osion lisäksi. Kyselytutkimusta käytettiin asiakkuuden osalta, joissa varsinaista testausta ei tutkimuksen yhteydessä suoritettu, vaan haluttiin saada kokempohjaisia tietoja todellisesta työympäristöstä trukkikaluston jo aiemmin tapahtuneen voimanlähteen vaihdoksen osalta. Kokemuksia ja arvioita haluttiin nimenomaisesti työntekijöiltä, joskin kyselyn pohjana käytettiin työnjohdolta saatuja ennakkotietoja ja kokemuksia.

Haastattelut

”Haastattelu kannattaa usein yhdistää kehittämistyössä myös toisiin menetelmiin, sillä useimmiten menetelmät tukevat hyvin toisiaan”. (Ojasalo ym. 2009, 95)

Haastattelun suurimpana etuna pidetään joustavuutta. Haastattelun yhteydessä voidaan pyytää perusteluja, tai kysyä lisäkysymyksiä, joita on saattanut herätä aiempien vastausten johdosta. Aineiston keruuta voidaan siis säädellä keruuhetkellä, tilanteen vaatimalla tavalla. Vastauksia voidaan tulkita, ja tarvittaessa syventää. Haastattelun etuna pidetään myös sitä, että haastateltavat voivat tarkentaa vastauksiaan, tai vastata lisäkysymyksiin myöhäisemmässäkin vaiheessa, mikäli aineistoa on tarpeen täydentää (Hirsjärvi ym. 2010, 204–206.)

Haastattelun haittapuolina pidetään vastausten tulkinnanvaraisuutta sekä sitä, että aineisto voi joissain tapauksissa olla tilanne-, tai kontekstisidonnaista. (Hirsjärvi ym. 2010, 207) Tämän tutkimuksen osalta näitä puolia ei voida kuitenkaan pitää relevantteina, sillä haastattelut olivat vapaamuotoisia, strukturoimattomia- ja puolistrukturoituja haastatteluja, liitettyinä muiden tutkimusmenetelmien käyttöön.

Tässä tutkimuksessa haastattelut olivat pääsääntöisesti ns. ”avustavassa roolissa” niin, että ennen varsinaisen, valitun tutkimusmenetelmän käyttöä haluttiin vapaamuotoisilla haastatteluilla varmistaa, että taustatiedot ovat oikein, suunnitellut ja valitut menetelmät ovat tarkoituksenmukaisia, sekä varmistaa tutkijan omaa ymmärrystä siitä, että dokumentit, laskelmat, sekä niissä esitetyt määreet ja yksiköt, ovat ymmärretty tutkimuksessa ja laskelmissa oikealla tavalla.

Haastatteluja käytettiin kahteen tarkoitukseen. Ensinnäkin kyselytutkimusten alustuksena niin, että haastattelussa saatujen tietojen kautta kyettiin laatimaan tarkoituksenmukaiset kysymykset ja vastausvaihtoehdot varsinaiseen, laajempaa joukkoa koskevaan kyselytutkimukseen. Toisekseen haastattelua käytettiin trukkitekniikan osalta teoretiedon kartuttamiseen, varmentamiseen sekä vertaamiseen jo saatujen testitulosten ja -havaintojen kanssa. Jälkimmäisellä oli myös suuri osuus kustannuslaskelmien ja -vertailun osalta.

Haastattelujen osalta käytettiin menetelmänä teemahaastatteluja. Teemahaastattelu-, eli puolistrukturoitu haastattelumalli valittiin siksi, että valmiiksi laadittujen kysymysten lisäksi haluttiin jättää tilaa myös haastattelussa mahdollisesti esille nousevien aiheiden kautta nouseville uusille kysymyksille. Joustavuus haluttiin säilyttää, sekä mahdollisuus tarkentaa aineistoa myöhemmin (Hirsjärvi ym. 2010, 204–208.) Haastattelujen runkorakenteet liitteistä 3, 4 ja 5.

Havainnointi.

”Havainnoinnin suurin etu on, että sen avulla voidaan saada välitöntä, suoraa tietoa yksilöiden, ryhmien tai organisaatioiden toiminnasta ja käyttäytymisestä”. (Hirsjärvi ym. 2010, 213)

Havainnointiin voidaan käyttää useita menetelmiä. Havainnointi voi olla yhtä lailla tarkan systemaattista, tai vastaavasti täysin vapaata. Havainnoitsijan rooli vaikuttaa myös käytettävään menetelmään ja havaintojen luotettavuuteen. Joissain tilanteissa havainnoitsija saattaa häiritä itse tilannetta – pahimmillaan jopa muuttaa sen kulkua. Tämä seikka nähdään havainnoinnin haittapuolena. Muina haittapuolina mainitaan objektiivisuus – kykeneekö havainnoitsija olla tulkitsematta havaintojaan tai olla sitoutumatta tilanteeseen? Lisäksi joissakin tilanteissa saattaa olla myös mahdotonta kirjata välittömästi havaintoja, vaan tämä joudutaan tekemään myöhemmin muistin varassa. Muita heikkouksia havainnoinnin suhteen voivat olla eettiset kysymykset havainnoitavien informoinnin suhteen, sekä havainnoinnin vaatima aika (Hirsjärvi ym. 2010, 213–214.)

Havainnointia kuvaillaan yleisesti ”todellisen elämän tutkimiseksi”. Tämän tutkimuksen puitteissa siis todellisten ilmiöiden havainnointia todellisessa työympäristössä. Havainnointi tuottaa par-

haimmillaan välitöntä ja monipuolista tietoa todellisessa ympäristössä, näin erityisesti osallistuvassa havainnoinnissa. Yleisesti ottaen osallistuva havainnointi luetaan erityisesti kvalitatiivisen tutkimuksen menetelmäksi (Hirsjärvi ym. 2010, 214–215.)

Osallistuvalla havainnoinnilla tarkoitetaan, että havainnoitsija toimii ryhmän sisällä, ryhmän jäsenenä. Havainnoitsija on siis paitsi ryhmän jäsen, myös havaintojen tekijä. Ryhmällä voi olla havainnoitsija (tutkija) tiedossa sekä se, millaista havainnointia tutkija suorittaa. Tutkija siis osallistuu tutkittavan ryhmän elämään/tehtäviin, mutta esittää ryhmälle myös kysymyksiä (Hirsjärvi ym. 2010, 216–217.)

Tämä menetelmä valittiin numeerisen ja sanallisen testidatan keräämisen ja analysoinnin tueksi, jolla voitiin vahvistaa muun kerätyn datan oikeellisuutta, todenperäisyyttä ja luonnetta. Tutkimuksen tekijä toteutti havainnointia itse, ennalta ilmoittamattomissa tilanteissa muiden toimiensa ohella – kyseessä oli siis osallistuva, vapaa havainnointi, jossa ajatuksia vaihdettiin vapaasti tutkimuksen aiheesta ja saaduista kokemuksista koko testausprosessin ajan. (Hirsjärvi ym. 2010, 216). Menetelmänä käytettiin siis joustavaa ja väljää strukturoimatonta havainnointia työn ohessa, esimerkiksi vapaata keskustelua taukojen yhteydessä testaaajien kesken.

”Strukturoimatonta havainnointia käytetään silloin, kun halutaan mahdollisimman paljon ja monipuolista tietoa asiasta”. (Ojasalo ym. 2009)

Havainnoinnin yhteydessä saatu tieto kirjattiin muistiin havainnointipäiväkirjaan.

Dokumenttianalyysi

”Dokumenttianalyysi on menetelmä, jossa päätelmiä pyritään tekemään kirjalliseen muotoon saatusta erityisesti verbaalisesta, symbolisesta tai kommunikatiivisesta aineistosta”. (Ojasalo ym. 2009, 121)

Dokumenttianalyysissa analysoitavana materiaalina toimivat työelämän dokumentit. Kaikki tutkitavasta ilmiöstä saatavilla oleva, kirjattu materiaali voidaan katsoa dokumentteihin, nekin, jotka eivät ole alun perin tarkoitettu tutkimuksen dokumenteiksi. Päiväkirjamerkinätkin voidaan katsoa

dokumenteiksi, vaikkakin tyypillisempiä ovat esimerkiksi tilastot, seurannat, sekä rekisterit ja raportit (Ojasalo ym. 2009, 43,121.)

Tämä menetelmä oli tutkimuksen pääasiallinen tiedonkeruumenetelmä. Kyseistä tutkimusta varten käytettiin jo olemassa olevia seurantoja, sekä rakennettiin PowerApps-pohjainen tablettityökalu, jolla kyettiin keräämään helpolla ja reaaliaikaisella tavalla tietoa ja kokemuksia testattavasta aiheesta suoraan testaajilta. Työkalu kantoi nimeä ”sähkötrukkiseuranta” (myöhemmin seuranta), johon testaaja kirjautui omilla, henkilökohtaisilla tunnuksillaan aina testin alkaessa. Seurannassa kirjattiin jokaisen testauksen yhteydessä seuraavat tiedot;

- Tekijä
- Testattava trukki
- Akun varaustila testin alkaessa
- Akun varaustila testin päättyessä
- Tehdyn työsuorituksen tyyppi
- Tehdyn työsuorituksen määrä

Näiden lisäksi kirjattiin myös tieto siitä, oliko trukki otettu latauksessa testin alkaessa, sekä 7-portaisella asteikolla arvio käytettävyydestä, ominaisuuksista sekä akusta. Viimeksi mainittuihin aiheisiin oli mahdollista myös perustella vastauksensa avoimella vastauksella.

Edellä kuvatun seurannan lisäksi käytössä oli lyhyen aikaa toinen, lyijyakun sähkövirran kulutusta mittaava seuranta. Kyseinen seuranta oli perinteinen paperilomake, johon kirjattiin trukin omasta tuntimittarista saadut ajotuntitiedot, sekä edellisen latauksen ampeerituntimäärä. Tämän seurannan tarkoituksena oli saada tarkat tiedot virrankulutuksesta tehdyissä, todellisissa töissä, ja saatujen tietojen pohjalta laskea, millä tavoin litiumakku olisi kestänyt vastaavissa tehtävissä.

Näiden lisäksi analysoitavina dokumentteina käytettiin yksikön omaa, laskutuksen perusteena käytettävää työsuoriteseurantaa, sekä työaikajärjestelmää. Molemmista löytyy kattavasti historiatietoa koskien työsuoritteita ja työaikoja. Näiden kahden tietoa yhdistelemällä saatiin tarkka kuva siitä, millainen on – ja on ollut – dieseltrukin kyky työn tehokkuuden näkökulmasta. Nämä tiedot toimivat siis vertailuarvoina testattuihin sähkötrukkeihin nähden.

Aineiston käsittely perustuu loogiseen päättelyyn ja tulkintaan, jossa aineisto aluksi hajotetaan osiin, käsitteellistetään ja kootaan uudestaan toisella tavalla loogiseksi kokonaisuudeksi (Ojasalo ym. 2009, 122)

7 Tulokset

Testatessa kävi hyvin nopeasti selväksi, että sähkötrukki kykenee täysin vastaaviin tehtäviin dieseltrukin kanssa, kyse on pikemminkin akkutekniikan tarjoamasta ajallisesta kyvykkyydestä, sekä jossain määrin työn tehokkuudesta.

Tämä oli yllättävä huomio. Vaikka voimanlähteellä ei tulisi olla merkitystä, mikäli trukki on kaikilta ominaisuuksiltaan (mm. kantavuus) kyseisiin tehtäviin soveltuva, oli tämä kuitenkin tutkimuksen perimmäinen antiteesi, joka tavallaan kuvaa hyvin sähkötrukkien pientä osuutta raskaampien taakkojen käsittelyn osalta.

Ajallisella kyvykkyydellä tarkoitetaan siis aikaa, jona trukin akussa on virtaa, ja työskentely onnistuu täysimääräisesti. Pyrkimyksistä huolimatta testattavaksi saatiin ainoastaan lyijyakkuja, joiden kesto oli aidossa työympäristössä valitettavan lyhyt, joskin odotettua pidempi. Käytännössä lyijykullisella trukilla ei raskaimmissa työtehtävissä kyetty työskentelemään vuoroakaan, ja kevyemmissä tehtävissä juuri vuoron loppuun saakka.

7.1 Sähkötrukkien testausta 3-4tn taakoilla (Kotka)

Kotkan terminaalivarasto on suuren metsäteollisuuden toimijan elintarvikekartongin välivarasto. Tuotteet saapuvat pääasiallisesti rautateitse, ja lähtevät liki poikkeuksetta merikonteissa. Työ on intensiivistä ja henkilöresurssi on suhteutettu tarkoin työmäärään niin, että tekeminen on poikkeuksetta tehokasta. Trukkien osalta resurssia on mahdollisten teknisten haasteiden ennakoinnin suhteen paremmin, mutta koneet, jotka ovat työssä, ovat sitä tiiviisti koko työajan.

7.1.1 Kotkan asiakkuuden toiminnan kuvaus ja testiympäristö

Kotkan pisteessä trukilla suoritettavat työtehtävät voidaan jakaa karkeasti kahteen, toisistaan hieman poikkeavaan pääluokkaan: kontitus-, sekä purku-/keruutehtäviin. Jako kahteen perustuu tässä yhteydessä selkeään eroavaisuuteen nostokorkeuksissa ja ajomatkoissa. Molemmista tehtävissä trukin kantavuus on sama – 5–5,5tn.

Kontituksessa ennalta kerätyt tuotteet noudetaan kontin välittömästä läheisyydestä keruualueelta ja lastataan konttiin. Ajomatkaa kertyy lastauksen aloitusvaiheessa n.50 metriä, ja se lyhenee lastauksen edetessä aina alle 10 metriin. Nostojen osalta keruut (tuotteet) ovat pääsääntöisesti laadittu ja järjestelty valmiiksi tavalla, jolla ne lastataan konttiin. Nostojen osalta siis kontitus on huomattavasti maltillisempaa verraten muihin työtehtäviin – tuotteet nostetaan irti lattiasta ainoastaan n. 10–20 cm korkeudelle, kunnes ne jälleen lasketaan kontissa lattiaa vasten. Myös taakat ovat kontitustehtävässä hieman purku-, ja keruutehtäviä kevyemmät, käytännössä useimmiten n. 2-3tn. Trukin osalta merkittävin ero muissa tehtävissä käytettäviin koneisiin on maston korkeus. Merikontin oviaukon korkeus rajoittaa myös trukin maston korkeuden 2,2 metriin.

Purku- ja keruutehtävät. Niin purku-, kuin keruutehtävissäkin ajomatkat ovat huomattavasti kontitusta pidemmät. Molemmista tapauksissa ajomatkaa kertyy pääsääntöisesti useita satoja metrejä per kierros. Kierroksella tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä, kun trukki noutaa taakan ja vie sen keru- tai purkualueelle. Saapuva tavara tulee pääsääntöisesti rautateitse, ja Kotkan pisteen raidehallin pituus on n.250 metriä. Vaikka tuolla matkalla on kolme erillistä väylää varastoon, myös varastossa on pitkät välimatkat ajettavana erityisesti silloin, kun varaston täyttöaste on korkea, eikä tämän vuoksi lähimmät varastopaikat ole useinkaan enää käytettävissä, vaan taakat tulee ajaa tämän vuoksi purkupaikalta katsoen etäämmälle.

Nostokorkeudet ovat em. tehtävissä korkeimmillaan n.5 metriä, ja taakat selkeästi kontitustehtäviä suuremmat, pääasiassa n.4tn. Purkutehtävissä taakka nostetaan ylös, ja keruutehtävissä vastaavasti ylhäältä alas, nostokorkeuden ollessa molemmissa tapauksissa keskenään vastaavat. Ennakoivaa, lastauspaikkojen mukaisesti ohjaavaa purkupaikoitusta ei ole, joten purkutyön yhteydessä keruujomatkojen optimointi tämän kautta on mahdotonta. Tästä syystä myös keruutehtävien ajomatkat ovat usein useita satoja metrejä.

Työtä tehdään arkisin kahdessa vuorossa klo. 06-22. Työt Kotkan pisteessä on suoritettu dieseltrukeilla alusta lähtien, vuodesta 2009 saakka.

7.1.2 Sähkötrukkitestit.

Kotkan asiakkuuteen saatiin sähkökäyttöisiä trukkeja neljältä eri valmistajalta. Testiin saatuja merkkejä olivat: Caterpillar, Mitsubishi, Yale ja Linde. Mainituista valmistajista kaksi viimeksi mainittua olivat henkilöstölle tuttuja jo aiemman/olemassa olevan diesel-konekaluston osalta.

Testiin saadut trukit olivat:

- Mitsubishi FB 55 NH
- Caterpillar EP 50 CN
- Yale ERP 55 VM
- Linde E 50 HL

Testiin saadut trukit olivat Caterpillaria lukuun ottamatta korkealla mastolla, eli mainittu trukki (Caterpillar) oli ainoa, jota voitiin testata kontitustehtävissä. Lisäksi akkutyypin oli kaikissa testiin saaduissa lyijyakku, sillä pyrkimyksistä huolimatta litiumakkuja ei demokoneisiin testattavaksi saatu.

Em. seikat aiheuttivat osaltaan haastetta testin suhteen, sillä kontitustyö on kaikista työtehtävistä tietyllä tapaa kriittisin, ja sen vuoksi testaaminen tiukasti resursoidussa ja aikataulutetussa tehtävässä oli haasteellista. Asenneilmapiirin kääntäminen tuttuihin dieselkoneisiin tottuneen henkilöstön suhteen oli osin haasteellista asiakkaan asettamien aikataulujen määrittellessä päivittäistä tekemistä. Myös trukkitoimittajien asettamat, osin tiukat aikaikkunat itse testaukseen liittyen aiheuttivat osaltaan sen, että testit jäivät kokonaisuudessaan aiottua niukemmiksi. Toisaalta kontitustyö oli tietyllä tapaa helpoin kohde ajatella sähkövoimanlähteen kyvykkyyden kelpoisuutta lyhyen ajomatkan ja pienehköjen nostokorkeuksien vuoksi.

Mitsubishi oli Caterpillaria korkeammalla mastolla. Maston korkeus oli kuitenkin sellainen, ettei se vastannut kuitenkaan täysin sellaista korkeutta, jota Kotkan pisteessä käsitellyt tuotteet ja totutut

menetelmät olisivat vaatineet. Kyseinen trukki ei siis mastonsa korkeuden vuoksi sopinut kontitus-tehtävään, mutta ei myöskään täysimääräisiin purku-, tai keruutehtäviin. Näiden syiden, ja jo aiemmin mainittujen toimittajan aikataulujen vuoksi Mitsubishin ajomäärä jäi joukon vähäisim-mäksi. sekä Caterpillar, että Mitsubishi tulivat samalta toimittajalta, ja olivat Kotkan pisteessä tes-tattavana kesäkuussa 2022.

Yale oli valmistajana Kotkan henkilöstölle entuudestaan tuttu ja osin myös pidetty merkki. Trukki oli korkealla mastolla, tarkoittaen tässä tapauksessa Kotkan pisteen työtehtävien suhteen ”täys-korkeaa”, eli kaikkiin tarvittaviin toimiin kykenevää. Pisteessä työtilanne oli kuitenkin testihetkellä sellainen, että asiakkaan aikataulut nostivat kynnyksestä uuden kokeilemiseen. Lisäksi henkilöstön asenneilmapiiri sähkötrukkia kohtaan, sekä lopulta ennen kaikkea toimittajan oma kiire saada trukki testattavaksi seuraavaan paikkaan aiheuttivat sen, että Yalen testimäärä jäi ennako-oletuk-sista poiketen koko joukon toiseksi alhaisemmalle tasolle.

Linde. Kotkan toimipisteessä oma dieselkalusto koostui testihetkellä täysin Linde-merkkisistä tru-keista. Merkki – eli trukki – ominaisuuksineen ja hallintalaitteineen oli henkilöstölle siis hyvinkin tuttu. Lisäksi kyseinen trukki tuli testiin metsäteollisuuden yksiköstä, jossa työtehtävät ja käsitellyt tuotteet olivat Kotkan pisteeseen verraten hyvinkin yhteneväiset. Tämän vuoksi trukki oli ominai-suuksiltaan ja varustukseltaan liki optimaalinen Kotkan pisteen työtehtäviin heti saapuessaan, li-säksi Yalen tavoin korkealla mastolla varustettu ja näin ollen kaikkiin työtehtäviin soveltuva.

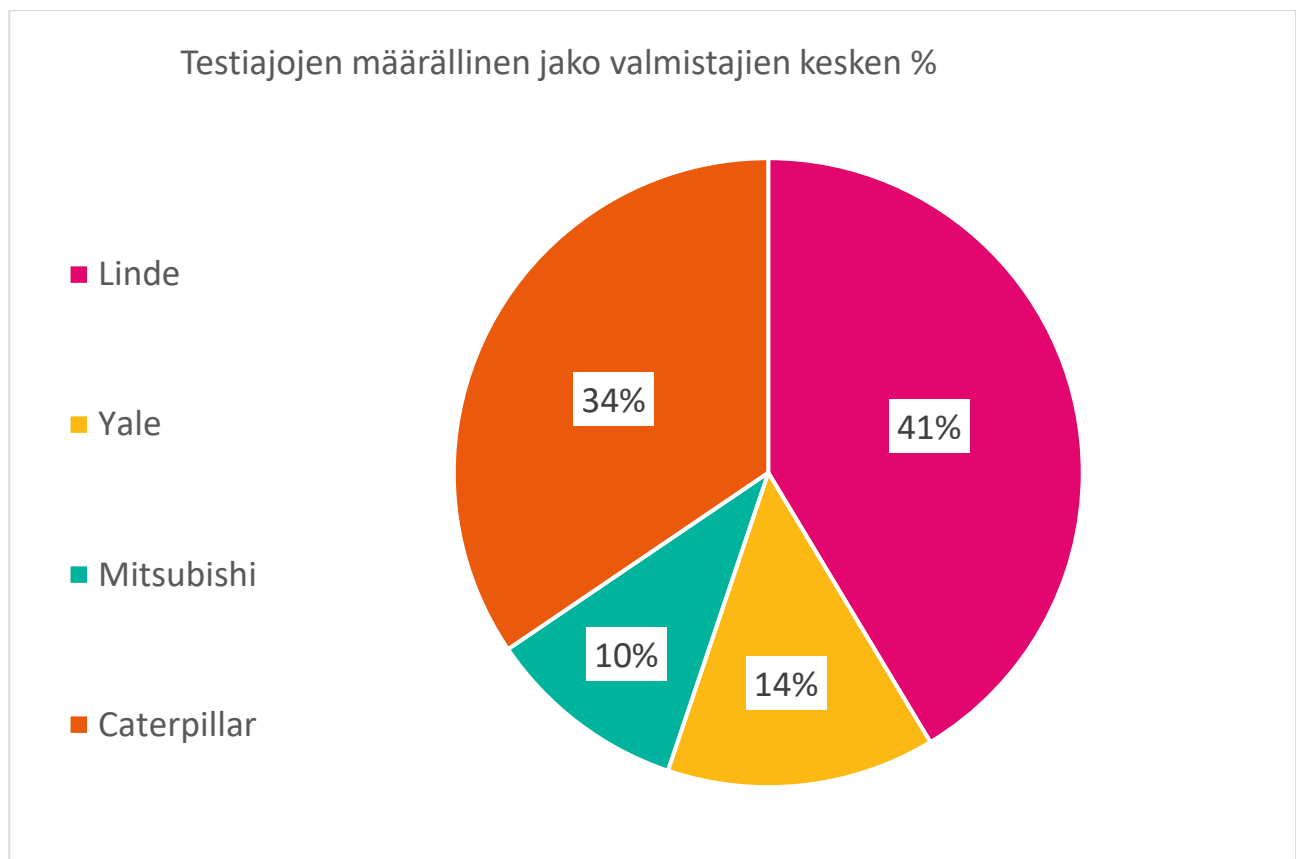
Linden toimittajan aikaikkuna testeille oli aiemmin mainittuihin toimittajiin verraten selkeästi laa-jempi. Lisäksi ajatus sähkötrukeista ja niiden testaamisesta oli käynyt henkilöstölle jo ajan mittaan mielekkäämmäksi, eikä tuttu merkki luonnollisesti vähentänyt aiheen mielekkyyttä. Kaikilta osin ”valmis” trukki oli lisäksi helpompi ottaa kokeiluun ja viimeisen valmistajan kohdalla myös yleinen työtilanne salli testiajot hieman aiempaa paremmin. Toimittajan väljän aikataulun vuoksi Linde vii-pyi Kotkan toimipisteessä joulukuusta 2022 aina pitkälle kevääseen 2023, ja aiemmin mainittujen syiden vuoksi sai osakseen testiajaja selkeästi muita valmistajia enemmän.

Ainoastaan ensimmäisenä testiin toimitettu Caterpillar tuotti viimeisenä saadun Linden lisäksi riit-tävän määrän luotettavasti mitattavaa dataa testikäytössä. Tutkimuksen edetessä ja materiaaleja

analysoidessa kävi ilmi, että Mitsubishin ja Yalen osuus tutkimusdatasta on hyvällä syyllä syytä jättää ainoastaan muuta materiaalia tukevaan rooliin vertailukelpoisen datan määrän, sekä tämän johdosta myös ennen kaikkea tuloksien luotettavuuden vuoksi.

Linden painoarvo on tutkimuksen suhteen senkin vuoksi suurin, että Kotkan pisteen dieselkaluston vuoksi jo Linden edustukseen oli jo olemassa oleva kontakti, joten tutkimukseen tarvittavien teknisten-, sekä kustannustietojen suhteen yhteistyö oli mutkatonta ja tietoa saatiin aina tarvittaessa.

Alla on esitetty eri valmistajien trukit testiajojen määrän osuuden suhteen.



Kuvio 3. Testiajojen osuus valmistajien mukaan.

7.1.3 Testaus, seuranta ja raportointi

Sähkötrukkien testausta, ja tulosten raportointia varten rakennettiin Microsoft Power Apps – pohjainen työkalu (myöhemmin trukkiseuranta), jonka avulla saatiin kerätyksi reaaliaikaista dataa trukkien kyvykkyydestä ja ominaisuuksista, sekä kuljettajan havainnoista ja arvioista.

Trukkiseurannan avulla seurattiin testiajon kestoja, akun varaustilaa ajo aloitettaessa ja lopetettaessa, sekä testiajon aikana suoritettuja tehtäviä ja niiden määrää. Lisäksi kuljettaja arvioi jokaisen ajon päätteeksi trukin käytettävyyttä, ominaisuuksia sekä akun kestävyttä. Kuljettaja arvioi mainittuja ominaisuuksia paitsi seitsemänportaisella tähtiluokituksella, myös vapaasti kommentoiden. Omat kommentit eivät olleet pakollisia seurannan suhteen, mutta tekijöitä rohkaistiin kertomaan huomioistaan.

The screenshot displays the Transval mobile application interface, which is divided into three main sections:

- LÄHTÖTIEDOT (Start Information):** This section contains input fields for the start time (09.03.2023 10:05), brand (Yale), model (-), battery type (Lyijy), and a battery level slider set at 59%.
- TILANNE LOPETTAESSA (Status at End of Trip):** This section includes a dropdown menu for 'TYÖ' (Job), a dropdown for 'YKSIKÖT' (Units) with a 'Määrä' (Quantity) field, and a battery level slider set at 0% with a battery icon below it.
- ARVIOINTI (Rating):** This section contains three rating areas: 'KÄYTTÖ' (Usage) with a comment field and a 5-star rating; 'OMINAISUUDET' (Features) with a comment field and a 5-star rating; and 'AKKU' (Battery) with a comment field and a 5-star rating.

At the bottom right, there are two buttons: a red 'PERUUTA' (Cancel) button and a grey 'TALLENNA' (Save) button.

Kuvio 4. Transval – sähkötrukkiseuranta. Kuvakaappaus PowerApps-tablettityökalun käyttäjänäkymästä

Testiajon alkaessa kuljettaja valitsee oman profiilinsa ja valitsee valikosta, ottiko trukin ajoon latauksesta vai ei, sekä mikä on akun varaustila testiajon alkaessa. Yllä olevasta kuvasta nähdään trukkiseurannan näyttö testiajon päättyessä. Kuljettaja valitsee toimenkuvan, sekä yksiköt (määrän) jotka on toimenkuvassaan kyseisellä aikavälillä käsitellyt. Lisäksi määritetään akun varaustila testiajon päättyttyä, sekä arvioidaan käytettävyyttä, ominaisuudet, sekä akku. Päivämäärä- ja aikakirjaukset jäävät automaattisesti muistiin.

Alla olevasta kuvasta nähdään otos trukkiseurannan keräämästä datasta. Trukkiseurannan datasta saatiin Excel-raportti, joka oli helposti muokattavissa soveltuvaan muotoon esimerkiksi suodatus-ten avulla. Tällä tavoin saatiin painotettua arvoja ja arvioiteja esimerkiksi testiajojen kokonaisu- määrän, keston tai vaikkapa tietyn valmistajan trukin mukaisesti. Kuvakaappauksesta on poistettu testikuljettajien henkilökohtaiset tiedot.

A	B	C	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Merkki	Malli	Akkutyyppi	Aloitusaika	Lopetus aika	Otettulatauksesta	Jatettulataukseen	VaraustilaAlku	VaraustilaLoppu	Tyo	Yksikot	YksikkoMaara	HuomiotTekeminen
2	Caterpillar 50	Lyijy	09.06.2022 10:14	09.06.2022 10:16	Kyllä	Kyllä	100	100	Kontitus	Kontti	0	0 Test
3	Mitsubishi 55	Lyijy	09.06.2022 10:17	09.06.2022 10:18	Kyllä	Kyllä	100	100	Purku	Vaunu	0	0 Testi
4	Mitsubishi 55	Lyijy	09.06.2022 13:35	09.06.2022 13:43	Kyllä	Kyllä	100	99	Purku	Vaunu	0	0
5	Caterpillar 50	Lyijy	09.06.2022 13:50	09.06.2022 13:56	Kyllä	Kyllä	81	80	Kontitus	Kontti	0	0 Vive nostaessa
6	Caterpillar 50	Lyijy	09.06.2022 14:06	09.06.2022 21:04	Kyllä	Kyllä	100	40	Kontitus	Kontti	30	30 Kone ei moottori jarruta kaasua päätettäessä. Kaasupol
7	Caterpillar 50	Lyijy	10.06.2022 14:03	10.06.2022 21:22	Kyllä	Kyllä	100	28	Kontitus	Kontti	23	23
8	Caterpillar 50	Lyijy	13.06.2022 14:14	13.06.2022 16:26	Kyllä	Ei	100	100	Kontitus	Kontti	0	0 Jotain kävi, ei toimi.
9	Caterpillar 50	Lyijy	14.06.2022 14:10	14.06.2022 16:32	Kyllä	Ei	100	60	Kontitus	Kontti	0	0 Hidas.häiriöitä 2,5h 14kpl
10	Caterpillar 50	Lyijy	14.06.2022 18:36	14.06.2022 18:55	Ei	Kyllä	65	53	Kontitus	Kontti	0	0 Liian painava
11	Mitsubishi 55	Lyijy	14.06.2022 22:10	14.06.2022 22:14	Ei	Kyllä	69	68	Keruu	Keräily	0	0 Hitaat toiminnot, vaikka säädetty.
12	Caterpillar 50	Lyijy	15.06.2022 06:17	15.06.2022 12:32	Kyllä	Ei	100	30	Kontitus	Kontti	28	28 Soveltuu helppoon kontitukseen esim. 9 rullainen tainoi
13	Caterpillar 50	Lyijy	20.06.2022 06:24	20.06.2022 13:12	Kyllä	Kyllä	100	30	Kontitus	Kontti	25	25 Epävarma. Kolisee, käy korville.
14	Caterpillar 50	Lyijy	21.06.2022 06:04	21.06.2022 07:02	Kyllä	Kyllä	100	100	Kontitus	Kontti	0	0 Tunnoton ajaa. Hitaat liikkeet. 30 vuotta ajanut Lorett
15	Linde	Lyijy	16.12.2022 08:28	16.12.2022 08:35	Ei	Ei	86	85	Purku	Vaunu	0	0
16	Linde	Lyijy	16.12.2022 12:46	16.12.2022 14:27	Ei	Kyllä	79	100	Purku	Vaunu	4	4 Hydraulikka tunnoton taakan jännityksen suhteen
17	Yale	Lyijy	19.12.2022 15:57	19.12.2022 16:20	Ei	Ei	80	80	Purku	Vaunu	1	1 Taakan pinoamisessa rullapitien lepääminen vapaasti i
18	Linde	Lyijy	19.12.2022 16:33	19.12.2022 17:54	Ei	Ei	100	100	Keruu	Auto	1	1 Hyvä ajettavuus, sähkökoneista paras. Vähän hitaan oic
19	Yale	Lyijy	22.12.2022 09:48	22.12.2022 11:05	Ei	Kyllä	80	62	Purku	Vaunu	2	2 Helppo, melko ripeäliikkeinen, vastaa jokseenkin diesel
20	Yale	Lyijy	14.12.2022 08:28	28.12.2022 11:26	Ei	Kyllä	78	100	Purku	Auto	26	26
21	Yale	Lyijy	28.12.2022 11:27	28.12.2022 11:30	Kyllä	Kyllä	100	4	Purku	Vaunu	12	12 Ihan ok, paitsi hätäiset nostot ja laskut
22	Linde	Lyijy	13.01.2023 08:28	13.01.2023 13:55	Kyllä	Ei	100	95	Keruu	Keräily	30	30
23	Linde	Lyijy	14.01.2023 06:23	14.01.2023 12:18	Ei	Kyllä	95	1	Purku	Vaunu	10	10
24	Linde	Lyijy	16.01.2023 06:13	16.01.2023 12:02	Kyllä	Kyllä	100	100	Purku	Vaunu	10	10
25	Linde	Lyijy	27.01.2023 06:18	27.01.2023 13:05	Kyllä	Kyllä	100	6	Purku	Vaunu	6	6 Perus linde..
26	Linde	Lyijy	30.01.2023 14:11	30.01.2023 20:41	Kyllä	Kyllä	100	20	Keruu	Keräily	0	0
27	Linde	Lyijy	31.01.2023 14:12	31.01.2023 20:12	Kyllä	Kyllä	100	16	Keruu	Keräily	24	24

Kuvio 5. Seurantatyökalun dataa. Kuvakaappaus sähkötrukkiseurannan muodostamasta Excel-raportista

7.2 Testien tulokset

Kuten aiemminkin mainittua, tutkimuksen testitulokset Kotkan pisteen osalta on syytä painottaa kahden merkin osuuteen tuloksien luotettavuuden kannalta. Nämä merkit ovat Caterpillar ja Linde. Jokaista ominaisuutta on pisteytetty asteikolla 0–7, ja yleisarvosananana on esitetty jokaisen testiajon arvosanojen muodostama keskiarvo. Erikseen on lisäksi mainittu pidempien, siis kokonaisten – tai liki kokonaisten testiajovorojen arvosanojen keskiarvo. Tämä siitä syystä, että testeistä saatua dataa analysoidessa pidempien testiajojaksoiden arviointien suhteen hajontaa oli selkeästi vähemmän, ja tämän vuoksi pidempien testiajojen tarjoaman datan luonne on

luotettavampaa, kuin kokonaisdata, jossa kaikki lyhyetkin testiajot ovat mukana. Tämän lisäksi mainittuna on myös yhdistetty arvosana kahden eniten testatun merkin osalta.

7.2.1 Käytettävyys

Caterpillar sai arvosanaksi 3,3. Kun otetaan huomioon ainoastaan pitkien testiajojen arvioinnit, arvosanaksi saadaan 4,5. Caterpillarin testijakson alkuvaiheessa oli huomattavia ongelmia trukin toimivuuden suhteen. Tämä turhautti kuljettajia, ja osaltaan vaikutti arviointeihin (arvosanoihin). Tästä syystä on syytä keskittyä nimenomaisesti pitkien testiajojen arvosanaan.

Lisäksi Caterpillar oli ensimmäinen testattava sähkötrukki, ja myös tämä seikka osaltaan painottaa korkeamman arvosanan huomioimista – dieselkalustoon tottuneen henkilöstön ennakoosenne sähkötrukkien testaamiseen oli testien alkuvaiheessa luonnollisesti korkeimmillaan, eikä havainnointien perusteella kehuja oltu valmiita sähkölle helposti antamaan.

Caterpillar sai moitteita hallintalaitteiden viiveistä, ja toisaalta myös äkkinäisistä liikkeistä. Samat aiheet nousivat esiin useamman kuljettajan antamista kommentteista. Nämä ovat ominaisuuksia, joka on osin säädettävissä huollon toimesta. Vaikka pyydetyt säädöt huollon toimesta tehtiinkin, ei ongelma täysin poistunut, vaan näkyi myös myöhäisemmissä arvioinneissa. Testaajat kokivat, että käsiteltävät tuotteet vaurioituvat näistä syistä helposti, sillä nämä kaksi ominaisuutta tietyllä tapaa kertautuvat keskenään, aiheuttaen kuljettajalle äkkinäisiä, yllättäviä tilanteita, hankaloittaen tarkkuutta vaativia tehtäviä – siis liki kaikkia tehtäviä Kotkan pisteessä. Lisäksi heikkouksina mainittiin tietynlainen kokonaisvaltainen ”tunnottomuus”, jonka merkitys ei havainnointien kautta käynyt sisällöltään aivan selväksi. Yhdelle se tarkoitti kaasupolkimen vasteen puutetta, ja toiselle ohjauksen liiallista keveyttä, kolmannelle moottorijarrituksen olemattomuutta totuttuun verraten. Kuitenkin niin, että kuljettajat kokivat, ettei trukki hallintalaitteineen käyttäydy odotetulla tavalla, eikä siis ole näin täysin kuljettajan hallinnassa.

Positiivisena Caterpillarissa koettiin, että sen kanssa voisi työskennellä kontitustehtävissä, ja työt tulisivat sillä tehdyksi. Trukki olisi siis soveltuva työhön, joskin vaatisi totuttelua, sillä trukin käytös koettiin kovin poikkeavaksi totuttuihin dieseltrukkeihin verraten. Positiivisia aiheita ei siis juuri-kaan noussut esille, mutta kuten aiemmin mainittua, tulos oli tavallaan odotettava kyseessä ollen

ensimmäinen testattava sähkökäyttöinen trukki, jonka toimintavarmuus lisäksi aiheutti alkuun tuntevia ongelmia.

Linde sai arvosanaksi 5,5. Jos otannasta poistetaan lyhyemmät testiajot, arvosana nousee ainoastaan hieman, ollen 5,6. Ero on pieni, mutta vertailukelpoisuuden ja luotettavuuden vuoksi noteerataan jälkimmäinen, sillä pidemmät testiajot tuottavat harkitumpia arviointeja kuljettajan näkökulmasta.

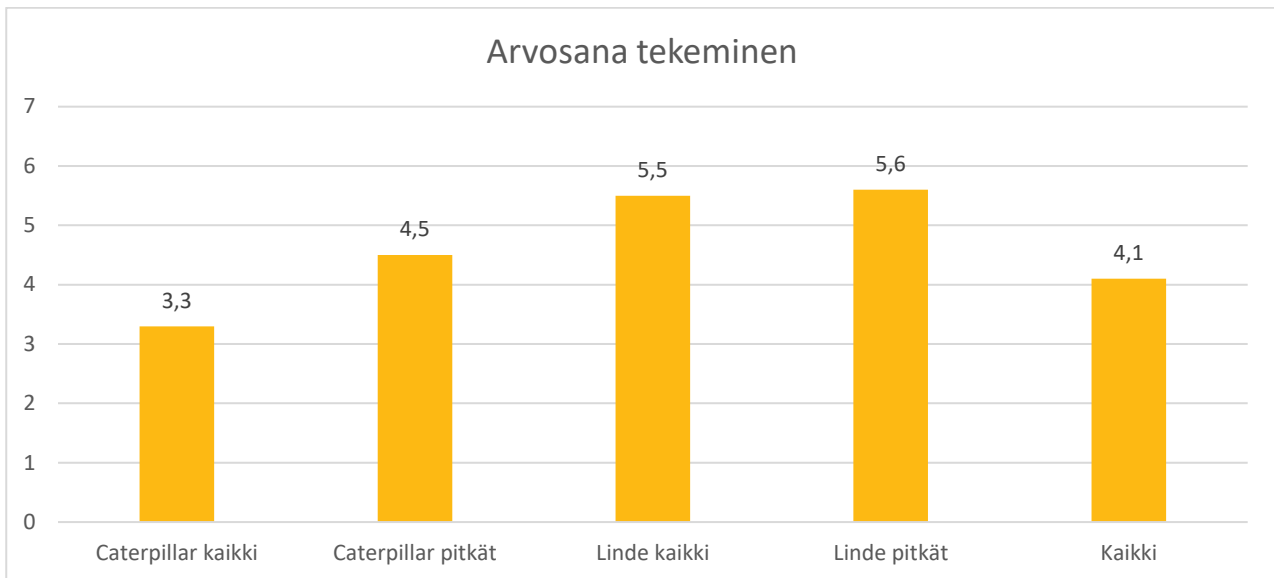
Kuten aiemminkin kerrottu, Linde oli dieselkaluston kautta henkilöstölle tuttu trukki, ja siksi helpompi testattava. Lisäksi kyseessä oli testijakson viimeisin merkki, ja ajatus sähkötrukista ja niiden testauksesta oli jo itsessään ehtinyt käydä henkilöstölle tutuksi, ja tätä kautta myös mielekkäämmäksi. Näistäkin seikoista, ja jo itsessään korkeimman testimäärän omaamisesta huolimatta, Linden sanallinen arviointi jäi kovin vähäiseksi. Osin tämä saattaa johtua siitä, että merkin ollessa tuttu, ja ajan myötä myös itse testauksen tutuksi tullessa tarve sanalliseen kommentointiin on vähäinen. Toisaalta vähäinen kommentointi voisi selittyä sillä, että trukki taipuu työntekoon hyvin, eikä juuri mitään erityistä mainittavaa aiheen suhteen ole.

Linden suhteen oli kuitenkin mainittuna Caterpillarin tavoin tunnottomuus. Linden osalta se kuitenkin liittyi trukin hydraulikkaan ja siihen, ettei suuren taakan aiheuttamaa jännitettä hydraulikkajärjestelmässä kykene kuljettajan istuimelta aistimaan totutulla tavalla. Vapautuessaan tämä aistimaton jännitys voisi vaurioittaa käsiteltäviä tuotteita. Lisäksi ”yleinen hitaus”, ja ”hitaan oloinen” oli mainittuna useamman testiajon yhteydessä. Tämä on seikka, joka selittyy jo virallisten suoritusarvojen kautta – sähköinen Linde on dieseliä hitaampi huippunopeudeltaan. Lisäksi tämä ero näytetään jo itsessään selkeämmin korkeamastoisen trukin työtehtävissä (Linde), kuin matalamastoisen trukin tehtävissä (Caterpillar).

Positiivisina seikkoina Linden suhteen mainittiin ajettavuus ja ohjattavuus, sekä yleisellä tasolla trukkia keuhuttiin ”hyväksi” tai ”parhaaksi”. Havainnointien perusteella nämä määreet liittyivät käytön helppouteen, trukin tukevuuteen, hallintalaitteiden ja varusteiden käytön tuttuuteen, sekä hytin väljiin tiloihin ja niiden mahdollistamaan totuttua paremman ajoasennon mahdollisuuteen.

Vähiten testiajaja osakseen saaneet ollessa arvioinneissa mukana, kaikkien testiajajien arvosana laskee arvoon 4,1. Mitsubishin ja Yalen osalta miinuksina nousivat esiin myös hankala aistittavuus hydrauliiikan jännityksessä taakan kanssa, sekä hallintalaitteiden/toiminnan yleinen hitaus siitäkin huolimatta, että huollon toimesta säädöt olivat suoritettu tähdäten nopeimpiin mahdollisiin arvoihin. Myös äkkinäiset liikkeet mainittiin molempien osalta. Kaikista muista merkeistä poikkeavasti Yalen eduksi mainittiin nopeus ajossa. Yalea verrattiin ajonopeudeltaan verrattavaksi dieseltrukin nopeuteen. Lisäksi Yalen suhteen mainittiin ”yleinen helppous”. Tämäkin arvio saattaa liittyä siihen, että kyseisen merkin vastaavaa dieseltrukkia on ollut käytössä Kotkan pisteessä liki sen olemassaolon ajan, poistuen konekannasta vasta hieman ennen sähkötrukkitestien alkua. Kyseinen trukki on siis entuudestaan tuttu, joka saattaa selittää arviota ”yleisestä helppoudesta”.

Kokonaisuudessaan sähkötrukin hallintalaitteiden viive, sekä liikkeiden äkkinäisyys/ennakoimattomuus nousivat esiin kaikkien merkkien osalta. Myös hitaus oli Yalea lukuun ottamatta selkeä yhdistävä tekijä valmistajasta riippumatta, sekä eriateinen tunnottomuus kaikilla valmistajilla. Lisäksi joko kommenttien, tai muiden havainnointien perusteella kävi ilmi, että jokaista trukkia epäiltiin omapainoltaan raskaammaksi kuin vastaavia dieseltrukkeja. Tämän seikan oletettiin aiheuttavan paitsi tukevuuden tunnetta käsittelyssä, myös mahdollisia ongelmia merikonttien lattioiden kestävydessä lastatessa. Hydrauliiikan jännityksen tunnottomuus taakan kanssa nousi esiin useampaan kertaan. Ilmiön aiheuttajalle ei löytynyt loogista syytä, sillä trukin voimanlähteen ei tulisi vaikuttaa hydrauliiikan tuntumaan.



Kuvio 6. Arvosanjakauma, "tekeminen".

Yllä olevassa kaaviossa on esitetty kahden eniten testatun valmistajan trukkien arvosanat asteikolla 0–7 kaikkien testiajojen suhteen, sekä erikseen täysien työvuorojen suhteen. Lisäksi on esitetty yleisarvosana kaikkien valmistajien osalta testiajon pituudesta riippumatta.

7.2.2 Ominaisuudet

Caterpillar sai ominaisuuksiensa osalta arvosanan 2,7. Tässäkin tapauksessa arvosana nousee, mikäli lyhyet testiajot jätetään otannasta ulos, ollen tuolloin 3,5. Jälkimmäisen arvosanakeskiarvon noteeraaminen on tässäkin yhteydessä perusteltua, sillä lyhyiden testiajojen arvosanat ovat yleisestikin ottaen heikkoja, ja selittyvät mitä todennäköisimmin testaajien asenteellisuudella erityisesti ottaen huomioon, että testit olivat aloitusvaiheessa.

Testijakson alkuvaiheen tekniset ongelmat näkyvät arvioinneissa. Trukissa oli vikaa, joka esti toistuvasti sillä työskentelyä, mutta jonka aiheuttaja ei selvinnyt. Lopulta vika saatiin huollon toimesta korjatuksi, mutta osa testiajoista – sekä arvioinneista – olivat tuolloin jo suoritettu. Tästäkin syystä pidempien testiajojen arvosanaotantaa on syytä pitää todenmukaisempana.

Dataa analysoidessa kävi ilmi, että ”ominaisuudet” oli suurelta osin käsitetty varusteiksi. Tästä syystä itse osion anti jäi tietyllä tapaa ohueksi. Lisäksi jo mainitut tekniset ongelmat olivat kom-

mentoitu ”ominaisuuksiksi”, ja epäilemättä laskivat myös arvioiden keskiarvoa nimenomaisesti lyhyempien testiajojen aikana, jotka kyseiset tekniset ongelmat olivat keskeyttäneet. Polykarbonaattista valmistettu tuulilasi, joka oli lisävaruste, mainittiin työskentelyä heikentäväksi/haittaavaksi ominaisuudeksi, samoin (osin juuri tästä syystä) näkyvyyttä arvosteltiin heikoksi. Isokokoiselle kuljettajalle ei koettu saatavan mielekästä ajoasentoa. Osa negatiivisista arvioista eivät havainnointienkaan avulla saaneet selkeää muotoa, esimerkkinä mainittakoon kommentti: ”joutuu käskyttämään, että toimii”. Tämä voitaisiin helposti käsittää liittyvän aiempaan ”käytettävyys”-teemaan, eli aiemmin toistuvasti mainittuihin viiveisiin hallintalaitteiden suhteen.

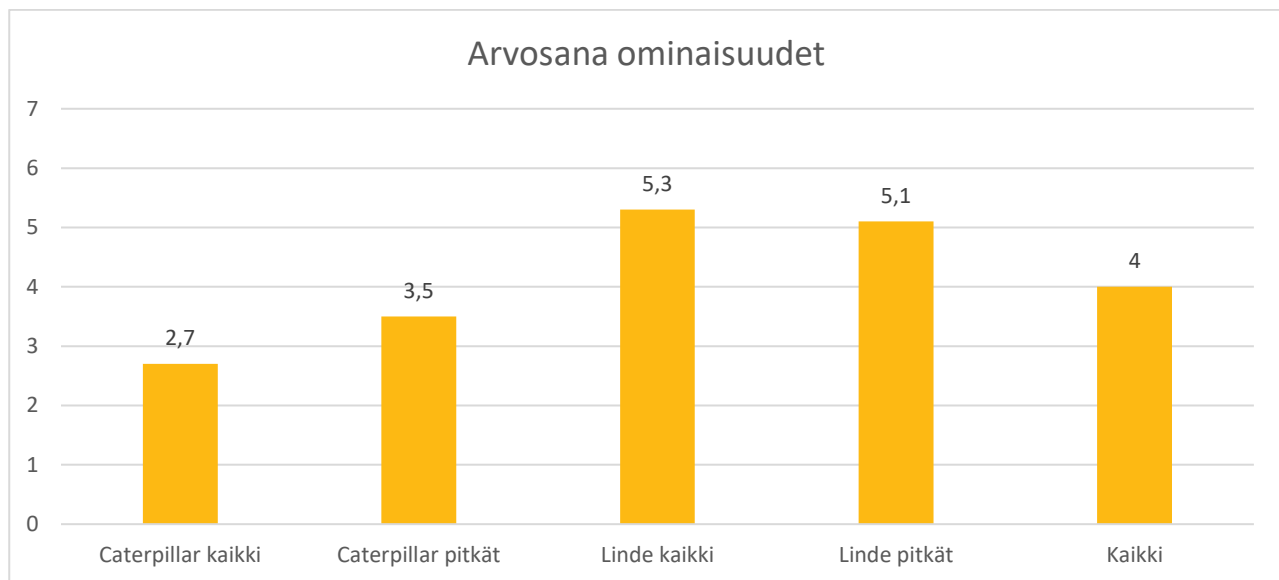
Positiivisena Caterpillarin suhteen pidettiin tässä yhteydessä ohjattavuutta, joka oli aiemman teeman yhteydessä saanut kuitenkin moitteita tunnottomuudesta. Lisäksi oli kuitenkin mainittu, että työt saadaan kyseisellä trukilla tehdyksi.

Linde. Koko testiajo-otannan perusteella arvosanaksi muodostuu 5,3. Kun otanta rajataan täysiin, tai liki täysiin työvuoroihin, jolloin trukkia on yhtäjaksoisesti ajettu, arvosana laskee hieman, lukemaan 5,1. Linden suhteen arviointeja vaivasi jo Caterpillarista tuttu ilmiö: ominaisuudet miellettiin varusteiksi. Moitteina mainittiin esimerkiksi kirjoituslustan puute sekä lisälaitteen tyyppi, jolla kyseinen trukki oli varustettu. Toisaalta positiivisena mainittiin peruutuskamera, jollaisella kyseinen testitrukki oli varustettu. Yleisesti ottaen mainittiin, että ”kaikki toimii kuten kuuluukin”. Havainnoinnin yhteydessä saatiin selville mm. se, että Linden hytin tiloja ja ajoasennon säätömahdollisuuksia pidettiin suuressa arvossa muihin testattuihin trukkeihin verraten.

Linden suhteen tämänkin teeman osalta saattaa vaikuttaa arviointeihin se seikka, että trukki soveltuu toimeen sen verran mutkattomasti, ettei kommentointiin suuntaan tai toiseen koettu suurta tarvetta.

Kaikki valmistajat/trukit huomioon ottaen arvosana asettuu Caterpillarin ja Linden välille, ollen 4,0. Arviointien suhteen kyseinen aihepiiri oli jo aiemmin mainittuun tapaan tietyllä tapaa ohut, sillä koko joukon suhteenkaan ei mainittavaa lisäkommentointia/-arviointia teemaan saatu. Yalen osalta tosin erikseen mainittiin, ettei kyseisen valmistajan trukin turvallisuusautomaattikaratkaisut aiheuta haittaa helpolle/sujuvalle työskentelylle.

Tämän osion anti testaukselle jäi kaikkein mitättömämmäksi, eikä nimenomaisesti sähkötrukin ominaisuuksiin päästy näin ollen pureutumaan. Osin tämä johtunee siitä, että termit oli käsitetty testaajien toimesta väärin (varustus), osin siksi, että ominaisuudet eivät pääosin tulisi poiketa vastaavista dieseltrukkeista tai jos poikkeavatkin, arvostelut suuntautuvat joko aiempaan ”käytettävyys”- osioon, tai seuraavaksi käsiteltävään ”akku”-osioon.



Kuvio 7. Arvosanjakauma, "ominaisuudet".

Yllä olevassa kaaviossa on esitetty kahden eniten testatun valmistajan trukkiin arvosanat asteikolla 0–7 kaikkien testiajojen suhteen, sekä erikseen täysien työvuorojen suhteen. Lisäksi on esitetty yleisarvosana kaikkien valmistajien osalta testiajon pituudesta riippumatta.

7.2.3 Akku

Caterpillar sai arvosanaksi 3,1, joka nousi hieman, kun lyhyet testiajot jätettiin arvioinneista ulos. Arvosanaksi tuli 3,5. Erityisesti tässä aihepiirissä oli perusteltua noteerata ainoastaan pitkien testijaksojen arvosana, sillä akun kestävyyttä on mahdoton arvioida tai luonnehtia lyhyiden testien pohjalta.

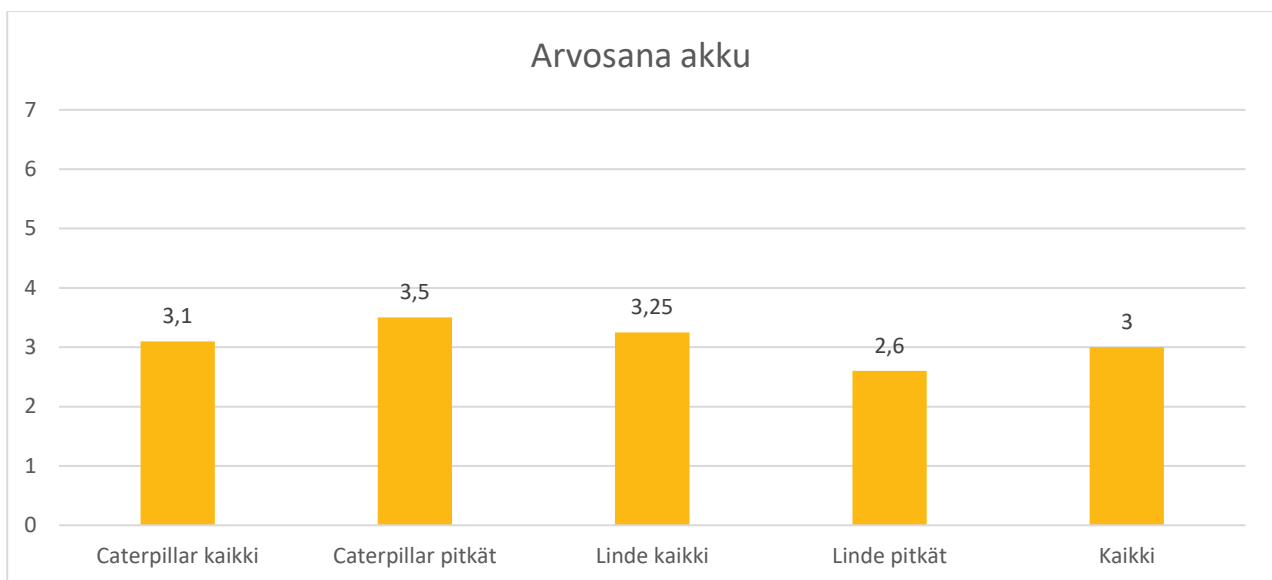
Testaajat kommentoivat akun kestävyyttä oletettua pidemmäksi, mutta kuitenkin niukasti riittäväksi tai liian lyhyeksi vaadittuun työhön ja työvuoroon. Useampaan kertaan toistunut huomio oli, että täysi akku kestää työskentelyä juuri yhden vuoron ajan, mutta ei enempää. Lisäksi tulee ottaa

huomioon se, että kyseinen trukki oli ainoana soveltuva nimenomaisesti kontitustehtävään, joka on kahdesta pääasiallisesta työtehtävän luonteesta huomattavasti kevyempi niin taakan nostojen, kuin myös ajettavien välimatkojen osalta. Lisäksi kommentoissa oli nostettu esiin akun latausaika viitaten siihen, että akun lataus kestää ajallisesti saman verran kuin ajoaikakin – n. yhden työvuoron verran. Muut kommentit koskivat ainoastaan varaustilan näyttöä ja sen käyttäytymistä. Huomiona oli, että akun varaustila trukin näytöllä laskee sykäyksittäin niin, ettei se vaikuta luotettava akun jäljellä olevaa virtaa arvioitaessa.

Linde sai akun suhteen arvosanan 3,25. Kun otannasta poistettiin lyhyet testiajot, arvosana laski arvoon 2,6. Linde sai testiajoa osakseen Caterpillaria enemmän ja korkeamastoisena koneena toimenkuva oli selkeästi raskaampi. Tämä saattaa osaltaan vaikuttaa haasteisiin saada työskennelystä täysimittainen työvuoro, kuten huomiona oli. Testaajat olivat osin saaneet trukilla täysimittaisen vuoron ajetuksi, mutta tämä ei onnistunut suinkaan jokaisella testiajolla. Työn intensiivisyys ja kulloinkin vaadittujen välimatkojen pituus vaikuttivat lopulta siihen, riittääkö akku kokonaiseen työvuoroon. Lisäksi oli ainakin kertaalleen testattu, millä tavoin osalataus auttaa tilanteeseen, vaikka kyseistä toimenpidettä ei lyijyakun ollessa kyseessä suositella. Tämän kokeilun tuloksena saatiin kuitenkin selville se, ettei lyijyakun lataaminen ruokataulun aikana tarjoile riittävästi lisävirtaa niin, että trukilla voisi työskennellä aina seuraavaan taukoon saakka. 45min. kestävällä latauksella saatiin trukille lisää ajoaikaa ainoastaan vajaan tunnin verran. Muun havainnoinnin yhteydessä selvisi motiivi kyseiselle kokeilulle – testaajat halusivat selvittää, olisiko litiumakkutekniikan yhteydessä puhutusta osalatauksesta kylliksi apua myös lyijyakun suhteen. Havainnoinnin tuloksena saatiin myös selville kiinnostava seikka: trukki säilytti nopeutensa ja ominaisuutensa täysimääräisenä silloinkin, kun akun varaustila oli jo lähes 0 %.

Linden latausjaksoja käytettiin myös toisenlaiseen seurantaan. Laturista saadun latausdatan avulla kirjattiin ylös latausjaksojen pituuksia, sekä lataukseen vaadittavan virran määrää. Kirjaukset tehtiin siksi, että litiumakkua, sen kestoja vastaavassa työssä, sekä laturin tyyppiä voitiin simuloida näiden tietojen pohjalta. Samassa yhteydessä kirjattiin myös ylös trukin oman ajoaikamittarin lukuja, joiden turvin voitiin varmistaa sähkötrukkiseurantaan kirjatut tiedot todenperäisiksi.

Kokonaisarvioiden valossa vaikuttaa siltä, että ensimmäisenä testiin tullut trukki – Caterpillar – ylitti tietyllä tapaa positiivisesti akun kestävyydellään testaajien ennakkoasenteisiin nähden, saaden osin tämän vuoksi verrattaen hyvän arvosanan. Toisaalta kyseisen trukin testien osalta työn luonne oli kevyempi, joka osaltaan varmisti akun kestoja vuoron verran. Muilta osin selkeästi pidetty Linde hävisi Caterpillarille arvosanoissa, jotka annettiin pitkien testiajojen pohjalta. Tämä selittyy paitsi Linden huomattavasti raskaammalla toimenkuvalla, mutta myös testien loppuvaiheen asennemuutoksella ja ennakkoasenteisiin nähden mahdollisesti kasvaneilla odotuksilla akun kestoja koskien. Linden akun suorituskykyä saatiin testatuksi ääriarvoilla niin, että vaikka toimenkuva olikin kaikkien testiajojen suhteen sama, pienet poikkeavuudet vuoron intensiteetissä saivat akun joko niukasti riittämään, tai loppumaan ennen aikojaan viime hetkillä.



Kuvio 8. Arvosanajakauma ”akku”.

Yllä olevassa kaaviossa on esitetty kahden eniten testatun valmistajan trukkien arvosanat asteikolla 0–7 kaikkien testiajojen suhteen, sekä erikseen täysien työvuorojen suhteen. Lisäksi on esitetty yleisarvosana kaikkien valmistajien osalta testiajon pituudesta riippumatta.

7.2.4 Työn tehokkuus

Kotkan pisteessä olivat työn tehokkuuden raportointiin ja mittaamiseen tarvittavat työkalut jo olemassa. Työn tehokkuutta mitataan jatkuvasti ja tiedot työsuoritteista, sekä niiden suorittamiseen

käytetystä ajasta ovat reaaliaikaisesti saatavilla. Tehokkuutta ei normaalioloissa mitata työntekijä-
tasolla, mutta nämä tiedot olivat tätä tutkimusta varten samoilla Kotkan pisteessä käytettävillä
työkaluilla saatavissa.

Tutkimuksessa haluttiin nimenomaisesti verrata samojen kuljettajien aiemmin dieseltrukilla teh-
tyjä työsuoritteita tutkimuksen puitteissa sähkötrukilla tehtyihin, vastaaviin suoritteisiin. Tämä li-
säsi paitsi vertailukelpoisuutta, myös tulosten luotettavuutta. Aiemmin dieseltrukilla suoritettut
vertailuarvot otettiin ajallisesti mahdollisimman läheltä historiasta, jotta testikuljettajien ammatti-
taito, rutinoituminen, tai mahdolliset muut työympäristön muutokset eivät aiheuttaisi vääristymää
vertailuun.

Kotkan pisteessä on käytössä työajan seurantajärjestelmä. Mainitussa järjestelmässä on eriteltyinä
kaikki Kotkan pisteessä suoritettavat työtehtävät. Näitä työtehtäviä ovat mm. aiemmin kuvatut
kontitus, purku ja keräily. Työntekijä merkitsee itsensä työnjohdon määrittämään työtehtävään
järjestelmässä henkilökortillaan, ja useimmiten työtehtävä pysyy samana koko työvuoron ajan. Tä-
män seurannan kautta kyettiin varmistamaan henkilön omat merkinnät trukkiseurannassa niin
ajallisesti, kuin myös työtehtävän suhteen.

Työpisteen laskutuksen perusteena käytettävästä suoriteseurannasta saatiin tiedot niin päivä-,
vuoro-, kuin työtehtävytasollakin tehdyistä työsuoritteista. Kuljetusyksikkö- tai tonnikohtaiseen
erittelyyn seurannat eivät antaneet mahdollisuutta, mutta hajonta näiden osalta oli niin vähäistä,
ettei sen koettu tuovan mukanaan merkittäviä seikkoja tutkimuksen tuloksiin. Työsuoritteet olivat
luettavissa selkeästi syystä, että yksi lastattu kontti tarkoitti yhtä keruutehtävää, yksi autokuorma
liki poikkeuksetta täysperäyhdistelmää, ja junanvaunujen osalta trukkiseurantaan merkittiin yksi-
köt – siis g-vaunua vastaavat määreet. Vaunujen osalta vaihtoehtona saattoi myös olla tilavuudel-
taan/tn-määrältään tuplasti suurempi sim-vaunu, mutta nämäkin saatiin vaununumerojen perus-
teella eritellyksi, ja muunnetuksi yksiköiksi – siis g-vaunua vastaaviksi, vertailukelpoisiksi arvoiksi.

Lisäksi työn tehokkuuden vertailuun valittiin työvuoroja, joissa kyseistä työtehtävää suoritti aino-
astaan yksi työntekijä. Tällä varmistettiin lukujen oikeellisuus ja vertailukelpoisuus.

Pvm	Päivä	Tilaus	Saapuneet vaunuto	Saapuneet aut	Rullat	Lastatut konttinnit	Lastatut autotonnit	Tonnit Varastossa	Yksikön tiedot	Huomiot
112827	17.3.2023	PE K4IN-200075-001				18	24,786		12114,894 HLBU3114254	
112828	17.3.2023	PE TAHU-300001-001				20		40,798	12074,096 ZMU-146	
112829	17.3.2023	PE TATR-300011-001				9	18,31		12055,786 HASUS168499	
112830	17.3.2023	PE TATR-300011-001				9	18,324		12037,462 SEKU4472457	
112831	17.3.2023	PE TATR-300011-001				9	18,308		12019,154 CIPUS060838	
112832	17.3.2023	PE K4GR-200168-001	51,618			84			12070,772 400442-0	
112833	17.3.2023	PE K1TW-300008-001	41,448			35			12112,22 400420-6	
112834	17.3.2023	PE K2CN-300008-001	1,179			1			12113,399	
112835	17.3.2023	PE K4SA-300005-001	13,475			10			12126,874	
112836	17.3.2023	PE K4ID-200129-001	60,146			48			12187,02 400332-3	
112837	17.3.2023	PE TAIN-200021-001		16,234		8			12203,254 ZOJ-859	
112838	17.3.2023	PE TAIN-200033-001		4,02		2			12207,274	
112839	17.3.2023	PE TAMX-200238-001		6,328		3			12213,602	
112840	17.3.2023	PE TAPK-300008-001		3,916		2			12217,518	
112841	17.3.2023	PE TASA-200061-001		2,004		1			12219,522	
112842	17.3.2023	PE TASA-200064-001		4,04		2			12223,562	
112843	17.3.2023	PE K4SA-200041-001				1	1,165		12222,397 FSCU4829010	
112844	17.3.2023	PE K4SA-200027-001				16	20,217		12202,18	
112845	17.3.2023	PE K4SA-200028-001				4	4,592		12197,588 UETU4131124	
112846	17.3.2023	PE K4SA-200026-001				2	2,848		12194,74	
112847	17.3.2023	PE K4SA-200029-001				7	7,801		12186,939	

Kuvio 9. Työsuorite seuranta. Kuvakaappaus Kotkan pisteen työsuorite seurannasta

Kun verrattiin historiadataa dieseltrukkeilla suorituista tehtävistä ja niiden määrästä per vuoro sähkötrukilla testien puitteissa suoritettuihin vastaaviin, huomattiin, että testissä olleet sähkötrukit kykenivät samoihin tehtäviin työvuoron aikana kuin dieseltrukitkin. Jälleen kerran testituloksista jätettiin kaksi vähiten testattua merkkiä ulos, aivan kuten myös kahden eniten testatun merkin lyhyemmät testiajot. Tämä ratkaisu tehtiin sen vuoksi, että saatiin luotettavia ja vertailukelpoisia, kokonaisia työvuoroja verratuksi, lisäksi samojen testikuljettajien suorittamina niin dieselillä kuin sähkölläkin.

Caterpillar. Kuten mainittua, kyseinen trukki oli lyhyellä mastolla varustettu, eli ainoa, joka soveltui konttustehtäviin. Caterpillarilla ajetuilla kontitusvuoroilla konttimäärät olivat välillä 23–30 konttia/työvuoro. Kotkan pisteen päivittäisistä kontitusmääristä laskettiin keskiarvot koko sähkötrukki-testausjakson ajalta ja muunnettiin vuoroikohtaisiksi keskiarvoiksi, saaden näin määräksi 24 konttia/työvuoro. Toisaalta tiedetään, että keskiarvosta huolimatta kiireisinä päivinä vuoroikohtainen konttimäärä on 30, joskus jopa hieman yli. Näiden lukujen valossa sähkötrukin suoritus on linjassa totuttuun, dieseltrukilla toteutettuun työtehoon.

Kuukausittaiset keskiarvot eivät ole kaikilta osin luotettava tapa tarkastella todellisia määriä työssä vaadittavan tehokkuuden valossa. Asiakkaan volyyymi vaihtelee suuresti, ja lisäksi tietyt ulkoapäin tulevat haasteet ja poikkeustilat voivat vääristää lukuja tuntuvasti. Tällaisia ovat mm. tuotantolaitosten huoltoseisakit, konttipula tai lakko. Tässäkin tapauksessa rajattiin laskennasta kahden viikon jakso ulos konttiliikenteen seisauttaneen lakon vuoksi.

Linde. Linde oli korkealla mastolla varustettu, joten tämän vuoksi tarkasteltavana olivat keruu-, ja purkutehtävät. Erityisesti keruutehtävät olivat datan kannalta tarkasti rajattavissa ja mitattavissa. Keruut liittyvät kiinteästi kontituksiin, joten samoja, Caterpillaria varten laskettuja arvoja voitiin käyttää vertailuarvoina Lindenkin kohdalla. Linden testiajojen saldot keruutehtävässä olivat välillä 23–31 keruuta vuoron aikana. Vuorokohtaisen konttimäärän keskiarvon ollessa 24, ja ”maksimin” 30, sähkökäyttöisen Linden suoritukset otannan puitteissa ovat täysin vastaavat dieseliin nähden.

Purkujen osalta otanta oli keruutehtäviä pienempi. Lukujen valossa kuitenkin vuoron aikana tehtävät määrät ovat vastaavia kuin dieseltrukillakin tehdyt. Akun varaustilan loppuminen tuli eteen tehtävien päättyessä jo hieman ennen vuoron loppua ja tämän vuoksi lopulliseksi analyysiksi jäikin, että purkumäärien ollessa hieman testivuorojen määriä suuremmat, olisi ne ajan puitteissa saatu tehdyksi, mutta lyijyakun varaus ei olisi antanut toimien loppuun saattamiseen kuitenkaan mahdollisuutta. Itse työtehtävät tulivat kuitenkin tehdyksi kuten dieseltrukillakin, ja niihin käytetty aika oli vastaavalla tasolla dieseliin nähden. Esimerkkeinä mainittakoon 9 arvoa vaunuja sekä 1 täysperäauto, tai vastaavasti 12 arvoa vaunuja vajaan työvuoron aikana, vastaa hyvin toimipisteen keskiarvoja.

Varsinaisten seurantojen ja mittarien kautta saatujen numeeristen arvojen, ja näiden vertailun kautta saatujen tietojen lisäksi havainnoinnin yhteydessä selvisi tutkimuksen kannalta oleellisia asioita/huomioita, joista lisää seuraavassa luvussa.

7.2.5 Havainnoinnin kautta esille nousseet aiheet

Havainnointi oli tutkimuksen kannalta tietyllä tapaa muita menetelmiä tukevassa roolissa. Pääasiallinen havainnointi tapahtui ns. ”kahvipöytäkeskusteluissa”, joissa testaajien kommentteja kuul-

tiin, ja ajatuksia vaihdettiin vapaasti koskien sähkötrukkeja ja niiden testausta. Näissä keskusteluissa nousi esiin aiheita, jotka kuuluivat tutkittavien teemojen piiriin, ja jotka ovat sisällytetty tutkimuksen aiempaan materiaaliin.

Näiden lisäksi esiin nousi aiheita, joita ei tutkimuksen suunnitteluvaiheessa osattu ajatella, ja jotka eivät teorialtutkimuksessakaan nousseet selkeästi esiin. Neljä näistä aiheista olivat sellaisia, jotka olisi syytä sisällyttää tutkimukseen. Oikeammin kyseessä ovat kysymykset, joiden vastaukset ovat oleellisia tämän tutkimuksen kannalta, vaikka eivät olekaan varsinaisia tutkimuskysymyksiä.

- Onko sähkötrukin omapaino selkeästi korkeampi vastaavaan dieseltrukkiin verraten?
- Kuinka Kotkan terminaalivaraston sähköverkko kestäisi kuormitusta, mikäli nykyinen konekanta olisi sähkökäyttöistä, litiumakullista, ja koko konekanta olisi samanaikaisesti latauksessa tehokkain laturein, esimerkiksi taukojen aikana?
- Onko sähkötrukin (Linde) rengaskoko aina pienempi kuin vastaavassa dieseltrukissa?
- Onko sähkötrukki dieseltrukkia hitaampi kiihtyvyydeltään, sekä huippunopeudeltaan?

Tekijät kokivat, että sähkötrukit tuntuivat painavammilta omiin dieseltrukkeihin nähden. Valmistajasta ja toimenkuvasta riippumatta keskusteluissa nousi esiin sama aihe. Yksi tekijä koki, että kontin lattiat natisivat liitoksissaan sähkötrukilla lastatessa, toinen koki, että junan vaunu keinuu huomattavasti totuttua enemmän sitä purettaessa. Lisäksi yleinen vakaus raskaammilla taakoilla järkeiltiin olevan seurausta sähkötrukin korkeammasta omapainosta. Onko sähkötrukki siis dieseltrukkia painavampi?

Toinen kysymys, koskien sähköverkon kyvykkyyttä liittyi siihen, että mikäli sähkötrukit olisivat todella käytössä Kotkan pisteessä ja litiumin laturit olisivat suuritehoisia, perustuisi virran riittävyys systemaattiseen ja tehokkaaseen taukojen aikana lataamiseen. Tällaisessa tilanteessa – ja taukojen ollessa koko henkilöstöllä nykymallin mukaisesti samaan aikaan - tarkoittaisi se kuutta, jopa seitsemää samanaikaisesti latautuvaa trukkia. Tällainen, useasti päivän aikana toistuva tilanne luonnollisesti vaatisi sähköverkolta jonkinlaista nykyiseen verraten poikkeavaa kyvykkyyttä. Olisiko lataus suunnitellulla tavalla ja suunnitelluin laturein mahdollista Kotkan asiakkuuden kiinteistössä?

Kolmas kysymys koskee sähkö-Linden rengaskokoa ja vääntöä. Junanvaunuja purettaessa ilmeni sähkö-Lindellä operoitaessa yllättäviä haasteita. Haasteena oli, että tietyllä tapaa vaunun ja purkulaiturin väliin asetetun ”purkupellin” yli, tai ohi ajettaessa, totuttua pienempi eturengas yhdistettynä dieseliä heikompaan vääntöön, ei trukki aina jaksanut nousta purkulaiturille taakan kanssa vaunun pohjan ja laiturin välisestä tilasta/purkulaituria alempana olevalta vaunun lattialta kuperan purkupellin ylitse. Tämä haaste korostui erityisesti tilanteissa, joissa trukilla ei ollut mahdollisuutta/tilaa ”ottaa vauhtia”. Onko siis Linden sähköisessä 5tn trukissa aina vastaavaa dieseliä pienempi rengaskoko, ja onko vääntöä mahdollisuus kasvattaa esim. säätäen huollon toimesta?

Neljäs kysymys koski nopeutta. Tekijät kokivat poikkeuksetta, että sähkötrukki olisi valmistajasta riippumatta dieseltrukkia hitaampi. Sekä kiihtyvyyden, että huippunopeuden suhteen kokemus oli enemmän tai vähemmän samansuuntainen ja korostui erityisesti pidempien etäisyyksien työtehtävissä. Onko sähkötrukki siis dieseltrukkia hidaskulkuisempi?

Näihin kysymyksiin vastataan myöhemmissä luvuissa.

7.3 Kyselytutkimus – käyttökokemukset litiumakuista (Lieto)

Liedon terminaali on kumipyöräliikennettä palveleva terminaali sanan perinteisessä merkityksessä. Runkokuljetukset jakautuvat terminaalin kautta jakelukuljetuksiksi suunnittain, ja töitä tehdään kolmessa vuorossa. Työ on intensiivistä, joskin vuorojen välisiä eroja tarvittavan kokonaisresurssin suhteen on. Käsiteltävät tuotteet ovat kuormalavoilla, ja trukit ovat näin varustettu perinteisin haarukoin.

7.3.1 Liedon asiakkuus, toiminnan kuvaus ja tausta

Kuten mainittua, Liedon asiakkuus toimii kolmessa vuorossa. Iltavuoro on intensiivisin, ja yö rauhallisin. Henkilöstöä on kokonaisuudessaan n. 60hlöä, ja trukkeja n. 20 kappaletta. Kaikki trukit ovat keskenään vastaavia, ja sopivat siis kaikkiin sisätiloissa tapahtuviin käsittelytoimiin. Käsiteltävät tuotteet saapuvat, kuin myös lähtevät kumipyörin, ja taakat ovat Kotkan pisteeseen verraten maltillisia: pääsääntöisesti n.500–1000 kg.

Valtaosa trukeista on kantavuudeltaan 1,6tn (18kpl). Näiden lisäksi on kolme trukkia 2tn kantavuudella. Ajomatkat ovat kumipyöräterминаalille tyypilliseen tapaan verrattain lyhyitä, maksimissaan n.100 metriä, mutta pääsääntöisesti lyhyempiä – kuormatilasta purkualueelle lastauslaiturin välitömmään läheisyyteen, tai vastaavasti lastauslaiturin läheisyydestä keruualueelta kuormatilaan. Nostokorkeudet ovat myös maltillisia. Tyypillisesti lavatavaraa kuormataan kahteen kerrokseen, nostokorkeuden ollessa näin maksimissaan n. 1,5 metriä.

Liedon asiakkuuden trukit uusittiin vuoden 2020 tammikuussa. Nykyiset trukit ovat pääosin litiumakulla varustettuja, kantavuudeltaan 1,6 – tonnisia Lindejä. Tätä ennen kalusto koostui osin toisen valmistajan kaasukäyttöisistä trukeista, ja osin Linden lyijyakullisista sähkötrukeista. Jälkimmäisenä mainitusta lyijyakullisesta konekannasta kolme on siis uudempien koneiden rinnalla käytössä edelleen.

Liedon asiakkuus haluttiin mukaan tutkimukseen, sillä Kotkan asiakkuuden sähkötrukkitesteihin ei pyrkimyksistä huolimatta litiumakkuja saatu. Liedon asiakkuuden henkilöistä karkeasti puolet ovat eläneet ja työskennelleet ajassa, jolloin pisteessä olivat käytössä muut, kuin litiumakulliset sähkötrukit. Liedon henkilöstön avulla haluttiin siis saada kokemukseräistä tietoa litiumakullisten trukkien kyvykkyydestä intensiivisissä töissä verraten lyijyakku-, sekä polttomoottorikäyttöisiin trukkeihin. Vaikka käsiteltävät taakat Liedossa ovatkin tutkimuksen näkökulmasta pienehköjä, haluttiin nimenomaisesti tietoa siitä, kuinka nykyiset trukit vertautuvat aiempiin, trukilla työskentelevän henkilöstön näkökulmasta. Lisäksi esimiesten avulla haluttiin saada kuvaa siitä, kuinka huolto-/korjaustarve ja niihin liittyvät kustannukset ovat voimanlähde- ja akkutyyppin myötä muuttuneet.

7.3.2 Kyselytutkimus työntekijöille

Kyselylomake toteutettiin paperisena, sillä työnjohdon haastattelujen perusteella sen arvioitiin olevan työntekijöiden kannalta mielekkäämpi toteutustapa. Tällä tavalla arveltiin myös saatavan korkeampi vastausaktiivisuus. Koko henkilöstö ei kyselyyn osallistunut, vaan työnjohto valikoi vastaajia sen perusteella, kenellä on kokemusta nykyisten trukkien ohella myös aiemmista, käyttövoimaltaan nykyisistä poikkeavista trukeista. Valintaperusteena oli myös se, kenellä arvioitiin olevan kiinnostusta vastata, ja kenellä olisi mahdollisesti mielipiteitä myös kirjattavaksi vapaisiin kommentteihin.

Kysely sisälsi pääosin väittämiä, joihin liittyvät viisi vastausvaihtoehtoa aseteltiin Likertin asteikon mukaisesti (Vehkalahti 2008, 35–36). Viisiportaisen vastausmallin sisältämien väitteiden lisäksi kyselyssä oli väitteitä, johon vastaaja vastaa kyllä/ei, sekä väitteitä, joihin oli tarjottu kolme erilaista vastausmallia, joista vastaajan oli valittava sopivin. Kaikkien kysymysten/väittämien yhteyteen oli myös mahdollisuus avoimeen vastaukseen, jossa vastaaja kykeni halutessaan tarkentaa tai perustella vastaustaan – tämä oli kuitenkin vapaaehtoista. Kaiken kaikkiaan väittämiä oli 17 kappaletta, jotka jakautuivat karkealla tasolla kahden eri teeman alle;

- latureiden ja akkujen kyvykyys akkutyyppin mukaan (13 kappaletta)
- työn tehokkuus ja mielekkyys akkutyyppin mukaan (4 kappaletta)

Pääpaino teemoissa oli ensin mainituissa. Jälkimmäinen teema sisälsi lisäksi ”alateeman” liittyen lyijyakkujen vaatimiin huolto- ja vaihtotoimiin.

Kysely pilotoitiin ensin Liedon asiakkuuden työnjohdolla. Tällä varmistettiin, että haastattelujen kautta saadut tiedot, ja osin niiden pohjalta johdetut väittämät, sekä vastausvaihtoehdot ovat asianmukaiset ja tarkoitukseen soveltuvat. Myös ulkoasuun, kyselyn laajuuteen ja toteutustapaan haettiin varmistusta ensin työnjohdon kautta ennen varsinaisen kyselyn toteuttamista. Kyselylomake liitteenä 2.

Kyselyyn osallistui 24 työntekijää. Kuitenkin vain 20 palautettua noteerattiin analysointiin ja 4 hylättiin. Tämä siksi, että hylätyistä kolme palautettiin miltei, tai täysin tyhjänä, ja yhden lomakkeen vastauksista ilmeni, ettei vastaajalla ollut kokemusta kuin nykyisistä/uudemmista, litiumakullisista sähkötrukeista. Vastausten luotettavuuden ja vertailukelpoisuuden vuoksi siis nämä neljä jätettiin ulos tuloksista.

7.3.3 Latureiden ja akkujen kyvykyys akkutyyppin mukaan

Kyselylomakkeen 1. kohta sisälsi kolme väittämää koskien latureiden ja akkujen kyvykyyyttä (Litium). Vastaajat valitsivat kyllä/ei. Kommenttikenttä oli yhteinen näille kolmelle samantavaiselle väittämälle.

”jopa 40–50 % lisää varausta ladattaessa 30min ruokatunnin ajan”

80 % vastaajista oli väitteen kanssa samaa mieltä. 20 % olivat eri mieltä väitteen kanssa. Vähemmistön kanta saattaa johtua myös siitä, että toimipisteessä on käytössä teholtaan kahta erilaista laturia, eikä tätä seikkaa ymmärretty kyselyn yhteydessä huomioida tai eritellä. Kommenttien perusteella akun ikä/kunto vaikuttaa asiaan, joka saattaa selittää myös osaltaan eriäviä mielipiteitä sekä se, että varaustilan ollessa korkea, lataus hidastuu loppua kohden huomattavasti.

”noin 15–20 % lisää varausta ladattaessa 15min kahvitauon ajan”

90 % vastaajista oli väitteen kanssa samaa mieltä. Tämänkin väitteen suhteen saman suuntaiset kommentit saattavat selittää vähemmistön kielteisen suhtautumisen väitteeseen. Samaa mieltä olevien osuus saattaa olla siksikin edellistä väitettä korkeampi, että korkealla yltäneiden ja siksi hitaaksi päässeiden latausten osuus ei oletettavasti näyttele kahvitaukolatausten suhteen yhtä suurta osuutta kuin ruokatunnilla suoritettavien latausten ollessa kyseessä.

”virta ei pääse loppumaan 3-vuorotyössä missään vaiheessa, jos vain muistetaan laittaa aina lataukseen taukojen ajaksi”

85 % vastaajista oli väitteen kanssa samaa mieltä. Tämän kysymyksen osalta kommentointi oli aktiivisinta. Kaikki kommentit olivat samansuuntaisia tarkennuksia siitä, että latureiden on toimittava odotetusti ja jokaisen on muistettava kytkeä trukki lataukseen, jotta väitteen lupaus täyttyy. Kielteisellä kannalla olleet eivät kommentoineet, joten on mahdoton sanoa, miksi kokevat, ettei väite pidä paikkaansa.

Miltei kaikki loput samaan teemaan liittyvät kysymykset olivat kaikki viisiportaisella, Likertin mukaisella vastausmallilla. Annetut vastausvaihtoehdot olivat: samaa mieltä, jokseenkin samaa mieltä, en osaa sanoa, jokseenkin eri mieltä, täysin eri mieltä.

Väite 1: ”litiumakullinen trukki on tehokkaampi työssä kuin lyijyakullinen trukki”.

Samaa mieltä	Jokseenkin samaa	En osaa sanoa	Jokseenkin eri mieltä	Täysin eri mieltä
40 %	35 %	20 %	5 %	0 %

Selkeä enemmistö (75 %) olivat joko jokseenkin, tai täysin samaa mieltä väitteen kanssa. Kommentit puolsivat väitteen paikkansapitävyyttä, mutta viittasivat nimenomaisesti latauskäytäntöihin, eivätkä itse trukin mahdolliseen tehokkuuteen. Nopea lataus, jatkuva valmius, sekä pakollisten akun vaihto- ja huoltotoimien puute mainittiin kommentteissa tehokkuuden ansioiksi. Neutraalilla kannalla olleet eivät pitäneet akkutyyppin laatua merkityksellisenä tehokkuuden suhteen ja yksi eriävän mielipiteen antanut ei kommentoinut kantaansa.

Väite 2: ”litiumtrukin liikkeet ovat kaikilta osin ripeämmät kuin lyijyakullisen trukin”

Samaa mieltä	Jokseenkin samaa	En osaa sanoa	Jokseenkin eri mieltä	Täysin eri mieltä
25 %	35 %	40 %	0 %	0 %

Niukka enemmistö (60 %) olivat joko jokseenkin, tai täysin samaa mieltä väitteen kanssa. Edellä mainituista valtaosa eivät täysin samalla kannalla olleet, eikä 40 % osannut sanoa aiheen suhteen. Vastauksien perusteella voidaankin olettaa, että mahdollinen ripeys verraten lyijyakulliseen trukkiin onkin hyvin maltillista, jos eroavaisuutta edes on. Tämä oletus vahvistuu myös kommenttien kautta.

Väite 3: ”litiumtrukki pystyy tarkempaan työskentelyyn kuin lyijyakullinen trukki”

Samaa mieltä	Jokseenkin samaa	En osaa sanoa	Jokseenkin eri mieltä	Täysin eri mieltä
5 %	35 %	60 %	0 %	0 %

Yli puolet vastanneista (60 %) eivät osaa sanoa väitteen suhteen. Väite pohjautuu ennen kyselyä käytyihin keskusteluihin työntekijöiden kanssa, ja tämä näkyy hieman myös väitteen kannattajien suhteen. Kommenttien perusteella kuitenkin eroa tarkkuudessa ei akkutyyppin perusteella olisi. Teoriastakaan ei väitteen tueksi ole, joten tarkkuus selittyy muilla syillä, esimerkiksi trukin tyyppillä tai iällä.

Väite 4: ”litiumakut latautuvat ja kestävät samalla tavoin kuin uutenakin”

Samaa mieltä	Jokseenkin samaa	En osaa sanoa	Jokseenkin eri mieltä	Täysin eri mieltä
10 %	40 %	25 %	25 %	0 %

Neljännes vastanneista on jokseenkin eri mieltä väitteen kanssa, lisäksi toinen neljännes on neutraalilla kannalla. Puolet vastanneista ovat jokseenkin samaa, tai samaa mieltä – valtaosa vain ”jokseenkin”. Kommenttien kautta käy selville, että osassa akuista alkaa jo ikä painaa. Osa kommentoijista on sitä mieltä, että eroa uuteen ei suuresti ole, mutta hieman kuitenkin. Vaikka Liedon akkujen kalenteri-ikä ei ole mainittavan korkea, ajoa 3-vuorotyössä on koneille kertynyt jo n. 6000 h. Sykli-ikää on vaikea arvioida, mutta oletettavaa on, että osassa akkuja väsymisen merkkejä voi olla jo näkyvissä. Teoriasta löytyy tukea tulkinnalle, sillä vaikka litiumakku menettää kyvykkyyttään verraten hitaasti, menettää se sitä kuitenkin.

Väite 5: ”lämpötilalla ei ole vaikutusta litiumakun keston tai tehon suhteen

Samaa mieltä	Jokseenkin samaa	En osaa sanoa	Jokseenkin eri mieltä	Täysin eri mieltä
25 %	25 %	25 %	20 %	5 %

Vastaukset jakautuvat hyvinkin tasaisesti skaalalle, pois lukien ”täysin eri mieltä”. Neljännes vastanneista oli kuitenkin väitteen kanssa täysin samaa mieltä, ja neljännes jokseenkin samaa mieltä. Kommenteista voidaan tulkita, että vaikka ulkona/kylmässä ajo onkin vain hetkellistä, kylmän vaikutusta keston tai tehon suhteen ei ainakaan oltu huomattu.

Väite 6: ”lämpötilalla ei ole vaikutusta lyijyakun keston tai tehon suhteen”

Samaa mieltä	Jokseenkin samaa	En osaa sanoa	Jokseenkin eri mieltä	Täysin eri mieltä

10 %	20 %	45 %	15 %	10 %
------	------	------	------	------

Hajonta vastauksissa on suurta, ja liki puolet (45 %) ei osaa sanoa. Kuitenkin verraten vastaavaan kysymykseen koskien litiumakkuja, samaa-, tai miltei samaa mieltä olevien osuus on selkeästi pienempi. Edelleen vaikkakin ulkona/kylmässä ajo Liedon pisteessä onkin hetkellistä, vastauksien valossa voidaan tulkita, että lyijyakku sietää litiumakkua heikommin kylmiä olosuhteita. Teoria tukee tulkintaa.

Väite 7: "Litiumakku säilyttää tehokkuutensa täysimääräisenä ja tasaisena aina siihen saakka, kunnes varaus on hyvin alhainen, ja kone on vietävä lataukseen"

Samaa mieltä	Jokseenkin samaa	En osaa sanoa	Jokseenkin eri mieltä	Täysin eri mieltä
70 %	20 %	0 %	0 %	10 %

Selkeä enemmistö vastanneista (70 %) on väitteen kanssa täysin samaa mieltä, lisäksi 20 % jokseenkin samaa mieltä. 10 % vastanneista on täysin eri mieltä, mutta kommentteja väitteen suhteen ei oltu jätetty puolesta eikä vastaan, joten tarkempia tietoja vastausten osalta ei ole.

Väite 8. "Lyijyakku säilyttää tehokkuutensa täysimääräisenä ja tasaisena aina siihen saakka, kunnes varaus on hyvin alhainen, ja kone on vietävä lataukseen"

Samaa mieltä	Jokseenkin samaa	En osaa sanoa	Jokseenkin eri mieltä	Täysin eri mieltä
10 %	35 %	30 %	15 %	10 %

Hajonta vastausten suhteen on tuntuva, eikä mikään vastausvaihtoehdoista nouse selkeästi ylitse muiden. Kuitenkin verraten edelliseen vastaavaan kysymykseen liittyen litiumakkuihin, vastaajat ovat väitteen suhteen selkeästi vähemmän samaa mieltä. Kommentteissa on mainittu, että "alhai-

nen varaustila alkaa aiemmin, mutta vaikutus on vähäisempi”. Ilmeisesti siis litiumakullisessa koneessa täysimääräinen tehokkuus jatkuu pidempään, mutta alhaisen varaustilan vaikutus ajamiseen on selkeästi suurempi.

Viimeisinä kysymyksinä teemaan liittyen oli kaksi, lyijyakun keston liittyvää kysymystä, joihin vastausvaihtoehdot olivat jälleen kyllä/ei.

”Jos lyijyakku on ladattu täyteen, riittääkö virta kokonaisen vuoron työskentelyyn?”

Vastaukset jakaantuivat tasan. Kommentteja kysymyksen osalta ei jätetty. Ilmeisesti on niin, että lyijyakku täydellä varauksella joko niukasti riittää, tai riittää melkein vuoron työskentelyyn, riippuen vuoron toimenkuvasta ja/tai ajon intensiivisyydestä. Tätä tulkintaa puoltavat teoriaosuuden aiemmat tutkimukset, sekä Kotkan asiakkuuden kokemukset.

Toinen kysymys oli jatkoa edelliseseen: ”Entä kahden peräkkäisen vuoron työskentelyyn?”

Vastaukset olivat yksimielisesti vastaan. Täyteen ladattu lyijyakku ei riitä kahden peräkkäisen vuoron työskentelyyn. Kommentteja tämän jatkokysymyksenkään osalta ei jätetty.

7.3.4 Työn tehokkuus ja mielekkyys akkutyypin mukaan

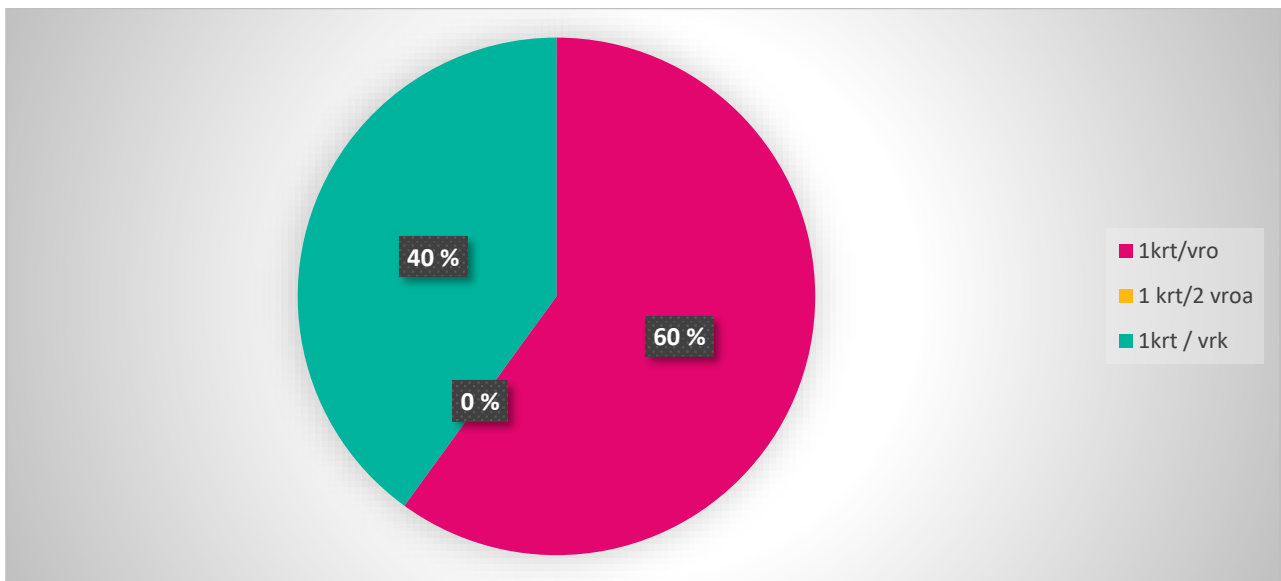
Toinen, pienempi teema kyselyssä oli työn tehokkuus ja mielekkyys akkutyypin mukaan. Tämä teema sisälsi siis neljä kysymystä/väittämää, joista kaksi oli monivalintamuotoa, ja kaksi kyllä/ei - vastattavaa kysymystä. Molemmissa tapauksissa jälkimmäinen kysymys oli tietyllä tapaa jatkokysymys edelliselle. Kaikilla näillä kysymyksillä haluttiin selvittää erityisesti lyijyakun käyttöön liittyviä toimia, ja niiden vaikutusta työn tehokkuuteen ja mielekkyyteen.

Kysymys 1.

Ympyröi mielestäsi sopivin seuraavista vaihtoehdoista a,b tai c

Lyijyakun vaihto ja vesitys piti/pitää suorittaa...

- a) kertaalleen työvuoron aikana
- b) kertaalleen kahden työvuoron aikana
- c) kertaalleen vuorokauden aikana



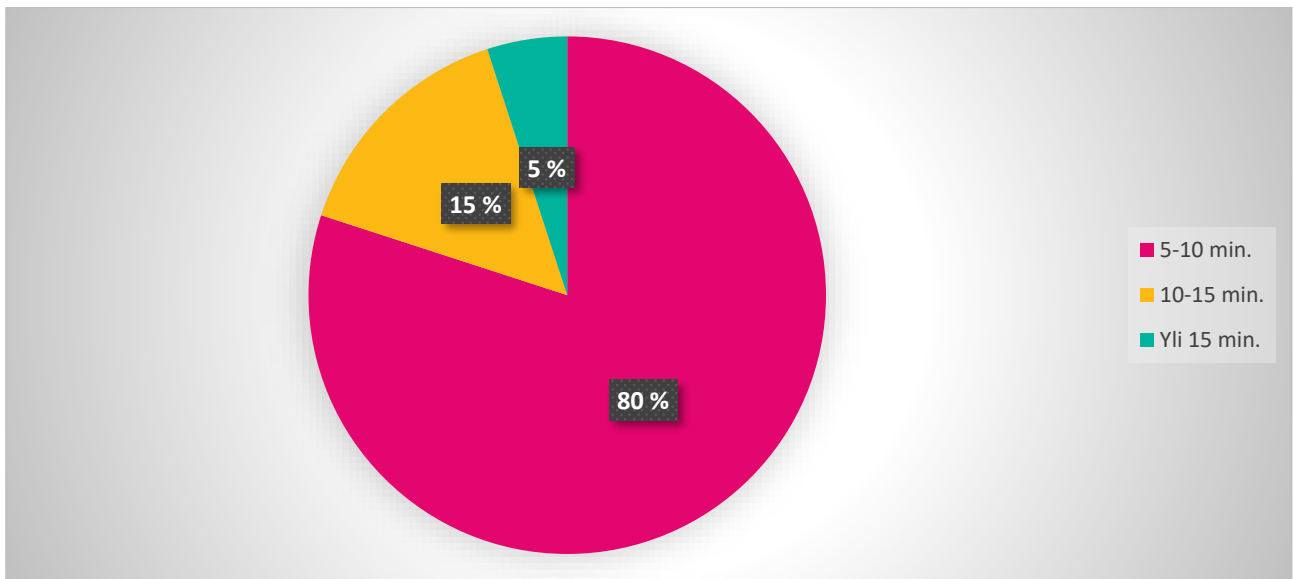
Kuvio 10. Vastausjakauma, lyijyakun vaihto-/vesitystehtävien tiheys

Vastanneista 60 % valitsi vaihtoehdon A, ja 40 % vaihtoehdon C. B-vaihtoehtoa ei valinnut vastanneista yksikään. Kysymyksen pohjalta ei voida vetää selkeää johtopäätöstä siitä, kuinka usein akun vaihto + vesitys tuli käytännössä suorittaa, sillä toisen vuoron tekijä/vaihtaja ei ollut välttämättä tietoinen edellisen vuoron kollegasta, joka oli mahdollisesti saman toimen myös osaltaan suorittanut. 40 % vastaajista mahdollisesti koki, että itsensä suorittama akun vaihto olisi ainoa kyseinen toimi vuorokauden aikana. Joka tapauksessa niukka enemmistö piti toimea kerran vuoron aikana suoritettavana, ja tietyllä tapaa toinen vastaajaryhmä saattoi tarkoittaa tietämättään samaa.

Kysymys 2.

Tämä toimenpide (akun vaihto + vesitys) otti aikaa...

- a) 5–10 minuuttia
- b) 10–15 minuuttia
- c) 15 minuuttia tai enemmän



Kuvio 11.. Vastausjakauma, lyijyakun vaihto-/vesitystehtävien kesto

80 % vastanneista valitsi vaihtoehdon A. 15 % vaihtoehdon B ja vain 5 % vaihtoehdon C. Pääsääntöisesti akun vesitys- ja vaihto hoitui siis alle kymmenessä minuutissa ja vain harvoin kesti tämän yli. Kommenttien perusteella yli kymmenen minuuttia kestänyt vesitys-/vaihto aika on vaatinut tilanteen, jossa joku aiempi käyttäjä on osaltaan laiminlyönyt jonkin aiheeseen liittyvän tehtävän.

Kysymys 3.

Jos "joku" hoitaisi puolestasi lyijyakun vaihdot, vesitykset yms huoltotoimet, ajaisitko mieluummin lyijyakullisella trukilla?

90 % vastanneista vastasi "ei". Loput 10 % päätyivät vaihtoehtoon, joka ei ollut valittavissa, merkiten rastin ruutujen välille, tarkentaen vastaustaan kommenttikenttään, ettei asialla ole heille merkitystä. Tavallaan vastaukset voidaan katsoa yksimielisiksi, sillä nämä mainitut vastaajat eivät olleet aiheen suhteen myöskään sitä mieltä, että ajaisivat mieluummin lyijyakullisella trukilla litiumakullisen sijasta.

Kysymys 4.

Jos joutuisitkin huolehtimaan nämä huoltotoimet itse, MUTTA ne onnistuisivat AINA alle 10min., ajaisitko mieluummin lyijyakullisella?

Tämä kysymys jäi vaille tarkoitusta, johtuen aiemman kysymyksen yksimielisyydestä, ollen kielteinen lyijyakullisia trukkeja kohtaan. Kuitenkin tässäkin kysymyksessä vastattiin täysin edellisen tavoin (90 % "ei"/10 % "kyllä"), sisältäen edellisen tavoin myös vastaajat, jotka olivat vastanneet jälleen vaihtoehtojen väliltä niin, ettei asialla ole heille merkitystä.

7.3.5 Muut huomiot koskien kyselyjen vastauksia

Kyselyn lopussa rohkaistiin vielä vapaamuotoiseen kommentointiin ja kysyttiin muun muassa, mitä tärkeää kyselystä oli mahdollisesti aiheeseen liittyen unohtunut. Lisäksi kysyttiin, mitkä ovat litiumakkujen/trukkien mukanaan tuomia, merkittävimpiä muutoksia verraten aiempaan kalustoon.

Vastauksista kävi yksiselitteisesti ilmi, että litiumakulliset trukit ovat pidettyjä työkaluja. Toisaalta lyijyakullisilla trukeilla oli myös oma pieni kannattajakuntansa ainakin niin, että varsinaiset työteh-

tävät sujuivat yhtä lailla lyijyakullisella trukilla, eikä lyijyakkuun liitetyillä huoltotoimilla nähty olevan suurta negatiivista vaikutusta kokonaisuuteen, jos vain jokainen säntillisesti niistä osaltaan huolehtisi.

Kaluston muutosta litium-painotteiseksi pidettiin kokonaisuudessaan erittäin positiivisena paitsi siksi, että trukit ovat koko ajan käyttövalmiudessa, mutta myös siksi, että trukeille varatut tilat ovat aiempaa väljemmät ja toimivammat, kun lyijy-vaihtoakut eivät enää vie vanhaan tapaan tiloja. Osa arvosti myös työturvallisuutta lyijyakun latauksen yhteydessä vapautuvien kaasujen – ja siis sittemmin niiden puutteen/vähentymisen suhteen.

Latureita, niiden tehokkuutta ja toimintavarmuutta pidettiin suuressa arvossa sekä työyhteisön yksilöiden vastuullisuutta sen suhteen, että jokainen huolehtii koneet lataukseen. Tämä systemaattinen ja tunnollinen toiminta koettiin töiden sujuvuuden kannalta erityisen tärkeäksi. Osa ajatteli nopeiden latausten ja akkujen vaihtotarpeen poistumista myös työn tehokkuuden kannalta isossa kuvassa – arvioiden vuotuista ajan säästöä akun vaihtojen ja -vesitysten valossa.

Litiumakullisten trukkien ”kompaktimpaa olemusta” kehuttiin, sekä keveyttä (omapainoa), joka poikkeaa hieman lyijyakullisesta trukista. Latureiden toimivuus nousi negatiivisessa sävyssä useissa vastauksissa esiin. Ilmeisesti useasti vuoron aikana – ja useammassa vuorossa tapahtuva latureihin kytkeminen rasittaa johtimia ja liittimiä, aiheuttaen säännönmukaisesti harmejä. Edellä mainittu seikka olikin ainoa kritiikki, jota litiumtrukit saivat kyselyissä osakseen.

7.4 Diesel- ja sähkötrukin suoritusarvovertailua

7.4.1 Tekniset tiedot, kulutus- ja suoritusarvot

Aiemmin mainituissa, testien yhteydessä esiin tulleissa kysymyksissä heräsi tarve selvittää trukkien teknisiä tietoja mm. rengaskoon ja omapainon suhteen. Lisäksi kustannuslaskentaa varten tarvittiin tietoa koskien suorituskykyä ja polttoaineen/energian kulutusta.

Omapaino. Testeihin osallistuneet kuljettajat epäilivät sähköisten trukkien olevan selkeästi painavampia vastaaviin dieseltrukkeihin verraten. Linden osalta asia tarkastettiin teknisten tietojen kautta. Epäilykset osuivat oikeaan, sillä testissä ollut Linden sähkötrukki oli todellakin vastaavaa

dieseltrukkia painavampi. Painoeroa trukkien välillä oli jopa yli tuhat kiloa niin, että sähkötrukki oli n.1200 kiloa vastaavaa dieseltrukkia painavampi. Osa painoerosta selittyy akkutyypillä – litiumakulla painoero olisi selkeästi pienempi. Maahantuojaan (Linde) mukaan uusissa, keväällä 2023 julkaistavissa malleissa diesel- ja sähkötrukin omapainoero on kaventunut tuntuvasti. Jo ennalta saaduissa teknisissä tiedoissa litiumakullisen sähkötrukin painoero verrokkidieseliin on ainoastaan n. 450 kg.

Nopeus ja kiihtyvyys. Testien aikana kaikkien valmistajien osalta, sekä kaikkien tutkimusmenetelmien kautta esiin nousi sama ominaisuus: hitaus. Sähkötrukit koettiin poikkeuksetta dieseltrukkeja hitaammiksi. Linden osalta aihe tarkastettiin teknisten tietojen kautta. Huippunopeuden ero sähköisen, ja dieselkäyttöisen trukin välillä on selkeä. Huippunopeudessa on eroa 6 km/h dieselin eduksi. Lisäksi kiihtyvyyssarvot osoittautuivat olevan dieselin eduksi erityisesti silloin, kun kiihdytys tapahtuu taakan kanssa. Dieseltrukin suoritusarvot taakan kanssa ovat n. 20–30 % sähkötrukkia korkeammat. Kuitenkin maahantuojan (Linde) antamien ennakkotietojen mukaan uusissa trukkimalleissa huippunopeuden ero on kaventunut: dieseltrukki on sähköistä ainoastaan 2 km/h nopeampi. Myös kiihdytysarvojen eroavaisuudet ovat teknisten tietojen mukaan kutistuneet, ollen vain n.8 % dieselin eduksi.

Rengaskoko, vääntö, nousukyky. Linden tapauksessa rengaskoko Kotkassa testatussa sähkötrukissa oli vastaavaa dieseltrukkia pienempi. Korkeamastaisen diesel-Linden rengaskoon ollessa 355/65–15, oli se vastaavassa sähkötrukissa 355/45–15. Tämä tarkoittaa n. 10 cm:n eroa renkaan halkaisijassa, joka on omiaan aiheuttamaan haastetta esim. aiemmin kuvatussa kynnyksmäisessä nousussa, yhdistettynä dieseliä heikompaan vääntöön. Teknisiin tietoihin peilaten erot sähköisen ja dieselin kaltevan tason nousukyvyssä ovat huomattavat: dieseltrukin nousukykyarvot ovat n. 50 % sähkötrukkia korkeammat taakan kanssa. Uudessa, keväällä 2023 julkaistavassa X-mallissa (Linde) rengaskoko on kuitenkin sama kuin dieseltrukissakin. Nousukyvyyn suhteen dieselin ja sähköisen erot kuitenkin edelleen säilyvät miltei ennallaan.

Kulutus. Kulutuksen osalta valmistaja (Linde) ilmoittaa dieseltrukille 4,3 l/h ja sähkölle 4,46 kWh/h. Kotkan asiakkuuden käytännön työtehtävien yhteydessä suoritetuissa mittauksissa lukemiksi saatiin kuitenkin 5,6 l/h dieselille, ja yli 10kWh/h sähkölle. Sähköisen osalta tuntuva poikkeama lukemien suhteen selittyy sillä, että testattu trukki oli ns. ”vanhaa” – ei niin energiatehokasta tekniikkaa -

ja laturin antamien ampeerilukemien yksikkömuunnos kilowattitunneiksi osoittautui virheelliseksi. Laskelmissa käytetään siis sähkön osalta valmistajan omassa laskurissaan käyttämää kulutusarvoa (johon Kotkan asiakkuuden työn luonne sisällytetty) ja dieselin osalta valmistajan ilmoittaman ja Kotkassa mitatun keskiarvoa (5,0 l/h), joka on myös sama arvo kuin valmistajan laskurin arvo Kotkan pisteen työn luonne huomioiden.

7.5 Diesel- ja litiumsähkötrukkien soveltuvuus- ja kustannusvertailua

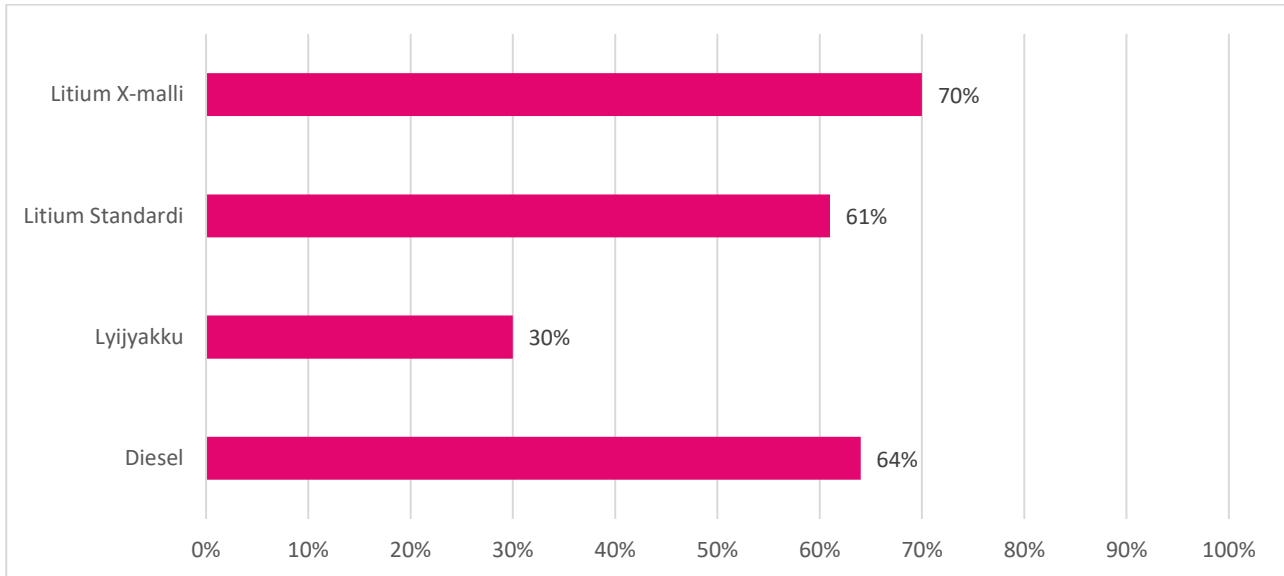
7.5.1 Eri voimanlähteiden ja akkutyypin soveltuvuus

Tutkimuksen yhteydessä tarjoutui mahdollisuus selvittää eri voimanlähteiden soveltuvuutta Kotkan asiakkuuden tarpeisiin myös valmistajan/maahantuojaan (Linde) käyttämän oman analyysin kautta. Kyseessä on Linde Energy Navigator – ohjelma, johon syötettyjen taustatietojen ja parametrien kautta analysoidaan valmistajan tuotteiden ja voimanlähteiden soveltuvuutta asiakkaan tarpeeseen.

Linde Energy Navigator – taustatiedot ja määritellyt parametrit ovat seuraavat;

- Trukkityyppi?
- Nostokapasiteetti/kantavuus?
- Trukkikannan koko?
- Trukkikannan tämänhetkinen pääasiallinen energiamuoto?
- Mitä energiamuotoja ei tarvitse analysoida?
- Kuinka pitkälle investointijaksolle kustannusarvio tehdään?
- Tuottavuuden ja tehokkuuden tärkeysaste?
- Ympäristöarvojen ja kannattavuuden keskinäinen suhde?
- Infrastruktuurin mahdollisuudet/rajoitteet eri energiamuotoja koskien?
- Sähköinfrastruktuurin kyky/tehokkuus?
- Työaikamalli/käyttöaste?
- Käytön energiantensiivisyyden aste?
- Käytön erityispiirteet, mikäli sellaisia on?
- Käyttö ulko-/sisätiloissa?
- Käyttöympäristön lika-/pölyisyysaste?
- Käyttöalustan laatu?
- Mahd. lataus-/pysäköintipaikkojen lämpötila?
- Nykyisen energiaratkaisun haasteet?

Tämä raportti teetettiin muun tutkitun tiedon tueksi saaden tietyllä tapaa varmistus kaiken muun tutkitun datan sekä siitä johdetun päätelmän oikeellisuudesta. Raportin tuloksesta on poistettu tutkimuksen piiriin kuulumattomat voimanlähteet: neste- ja maakaasu, sekä vety.



Kuvio 12. Eri voimanlähteiden ja akkutyypin soveltuvuus, Kotkan asiakkuus. Muokattu Linde Energy Navigator - raportti 21.4.2023

Tulokset ovat yhteneväiset muun tutkimuksessa saadun tiedon ja kokemusten kanssa. Sähkö suosii dieselin kanssa karkeasti samalla tasolla, mikäli kyseessä on litiumakku, lyijyakku ei. Lisäksi litium X-malli soveltuu raportin mukaan jopa dieseliä paremmin. X-malli on sähkötrukkien piakkoin julkaistava mallisarja, joka on suunniteltu nimenomaisesti töihin, jotka ovat perinteisesti katsottu vaativan polttomoottorivoimanlähteen esim. ulko-olosuhteiden tai erityisen kovan/intensiivisen työn luonteen vuoksi.

7.5.2 Hankintahinta

Linden maahantuojalta saatujen tietojen perusteella Kotkan pisteen työtehtäviin soveltuvan dieseltrukin uushankintahinta on tällä hetkellä n.85 000 €. Alati tiukentuvien päästönormien, ja näiden täyttämiseksi vaadittujen teknisten ratkaisujen vuoksi myös dieseltrukkien hinnat ovat kasvussa.

Linden maahantuoja on toimittanut Kotkan asiakkuuteen useita trukkeja, joten työn luonne ja vaaditut ominaisuudet olivat siis tiedossa. Tässä tutkimuksessa käytetyt trukkeihin liittyvät tiedot kustannuslaskelmissa käytettyine hintatietoineen ovat siis todellisia ja vertailukelpoisia, niin dieselin, kuin myös sähkönsä osalta.

Sähkötrukin hinnasta muodostaa tässä tilanteessa huomattavan osan tehokas litiumakku, sekä sen nopeaan lataukseen kykenevä laturi. Vastaavan lyijyakullisen trukin hinta on tuntuvasti matalampi, ollen latureineenkin melko lähellä dieseltrukin hintaa. Vertailukelpoisuuden kannalta on kuitenkin mainittava, että vuorotyöhön soveltuakseen lyijyakullinen trukki vaatisi vähintäänkin yhden vaihtoakun, ja akun vaihtamiseen soveltuvan laitteiston, ollen siinäkin tapauksessa kyseenalainen ratkaisu virran riittävyyden näkökulmasta. Tässä tapauksessa kuitenkin hintaero dieseltrukkiin kasvaisi, ja litiumakulliseen trukkiin kapenisi.

Linden maahantuojalta saatujen tietojen perusteella Kotkan pisteen työtehtäviin/vuoroihin soveltuvan, litiumakullisen sähkötrukin uushankintahinta on tällä hetkellä arvion mukaan n. 135 000 €. Mainittu hinta sisältää litiumakun (65,9 kWh), sekä kyseiselle akulle tehokkaimman saatavana olevan laturin (80V / 375A / 30kW). Hydrauliiikan raskas käyttö, siis suurten nostokorkeuksien tiheät nostot, sekä vuorotyö, luokittelevat vaativuuden korkeaintensiiviseksi Kotkan asiakkuudessa, jolloin mainittu akku + laturi ovat välttämättömyys virran riittävyyden takaamiseksi. Nämä akut ja laturit vaatisivat kiinteistön sähköverkkoon kustannuksia lisääviä muutoksia (joista lisää luvussa 8.5.3), mutta tuota kustannusta ei ole otettu useimpiin laskelmiin mukaan. Tämä siksi, että muutosten todellista, tarkkaa hintaa on ennalta mahdotonta tietää, ja tuo kustannus tulisi jyvittää useamman trukin kuluksi pidemmälle aikajaksolle. Trukkien kokonaismäärää tai aikajakson pituutta ei tämän tutkimuksen puitteissa voida luotettavasti arvioida.

Hankintahinnat siis ovat: Diesel 85 000 €, Litium-sähkö 135 000 €

Vertailun vuoksi lyijyakullisen trukin hankintahinta käytön luonteen vaatimalla vaihtoakulla olisi latureineen n. 100 000 €. Vastaavasti suurimman/tehokkaimman litiumakun kanssa trukin hinta kipuaisi 170 000 €:n. Viimeisin vaihtoehto olisi välttämätön esim. intensiivisessä 3-vuorotyöskenteilyssä, jolloin henkilöstön taukoja pidempiä ajanjaksoja lataamiseen ei käytännössä ole.

7.5.3 Trukkien käyttökustannukset

Trukkien käyttökustannukset ovat laskettu tutkimuksen yhteydessä per trucki. Tämä siitä syystä, että asiakkaan volyymin alati vaihdellessa, konekanta on käytössä erittäin vaihtelevasti tilanteen ja tarpeen mukaisesti. Lisäksi huolto- ja korjauskustannukset koskien sähkötrukkeja ovat arvioita pohjautuen yleiseen, trukkitoimittajalta saatuun suhteeseen, ja Liedon toimipisteen huoltokulujen muutokseen pohjautuvaan pintapuoliseen tietoon. Toisen toimipisteen (Lieto) trukit, niiden kantavuus, työn intensiteetti tai vuorotus eivät ole vastaavat Kotkaan verraten, joten tutkimuksessa on käytetty suuntaa antavaa olettamusta parhaan saatavilla olevan tiedon pohjalta. Dieseltrukkien huoltokulujen vertailukelpoisuutta kyseenalaistaa se, että konekannan ikä ja ajomäärä vaihtelevat, eikä tämän vuoksi täysin eksakteja kuluja voida saada. Toisaalta maahantuojaan (Linde) oman ohjelmiston kautta saadut arviot pohjaavat erittäin kattavaan datamäärään, joten sen suhteen tiedot huolto- ja korjauskulujen voidaan katsoa erittäin luotettaviksi. Edellä mainituista syistä johtuen pääfokus on käyttövoimakuluissa, ja huolto- ja korjauskulut arvioidaan kustannuksiin suhdelukuina ja prosenttiosuuksina omassa luvussaan.

Diesel. Kotkan pisteessä tällä hetkellä käytössä olevien dieseltrukkien polttoaineen kulutus on 5 l/h. Luku perustuu pieneen otantaan intensiivisissä tehtävissä, ja on yhtenevä valmistajan/maahantuojan (Linde) laskurissaan käyttämän arvon kanssa. Vuoden 2022 polttoainehankintojen pohjalta saadaan keskimääräiseksi litrahinnaksi 1,27 €/l. jota käytetään tutkimuksen laskennassa. Näiden tietojen pohjalta yhden dieseltrukin vuotuiseksi kuluksi arkipäivien osalta, polttoaineen suhteen on täysin työvuoroin laskettu olevan 19 220 €. Täyden työvuoron todellinen ajoaika on saatu sähkötrukin omasta tuntimittarista vastaavissa tehtävissä, joka on lähellä Linden maahantuojan laskurin antamaa arvoa 12,5 h todellista ajoa / 2 kahdeksan tunnin työvuoroa. Varsinainen ajoaika saadaan vähentämällä kahden vuoron kestosta kaksi puolen tunnin ruokatuntia, neljä viidentoista minuutin kahvitaukoa, vuoronvaihto (0,5 h), sekä työn ohessa aiheutuva muu joutokäynti, yhteensä 1 h.

Viikonlopputöiden suhteen Kotkan asiakkuuden historia on ollut vaihteleva. Niin lauantai, kuin myös sunnuntaivuoroakin on toteutettu kuitenkin niin, että viikonlopputyöt ovat tehty ainoastaan yhdessä vuorossa. Viime aikoina trendi on ollut, että molempina viikonloppupäivinä asiakas tarvitsee palvelua yhden vuoron verran. Tämä seikka on otettu huomioon vaihtoehtoisissa laskelmissa,

ja viikonloppujen yhden vuoron palvelun ollessa mukana, dieseltrukin vuotuinen polttoainekulu olisi 23 064 €.

Sähkö. Kotkan kiinteistön sähkösopimuksen kWh-hinta on 15snt/kWh. Lyijyakullisten trukkien testauksessa ja latauseurannan yhteydessä saatiin yhden vuoron (ja yhden latauksen) energiankulutukseksi keskimääräisesti 55 kWh. Litiumakun kyky varastoida, luovuttaa ja vastaanottaa virtaa poikkeaa lyijyakusta, mutta testatun työvuoron vaatimaa energiamäärää akkutyyppi ei muuta.

Linden maahantuojalta saatujen tietojen mukaan sähkötrukin virran kulutus on 4,46 kWh tunnissa /80,81 kWh päivässä. Kiinteistön sähkön hinnan mukaisesti päivittäiseksi energiakuluksi saadaan näin 12,12 €. Vuotuinen energiakulu yhden sähkötrukin suhteen noteeraten pelkät arkivuorot, olisi näin 3030 €, ja dieselin laskennassa vastaavalla tavalla viikonloppuvuorojen ollessa mukana 3636 €

Polttoaine-/sähkökustannusten suhteen vuotuinen erotus on siis 16 190 € sähkön eduksi pelkin arkivuoroin, ja nousee arvoon 19 428 € viikonloppujen ollessa laskennassa mukana.

7.5.4 Litiumtrukkien laturien vaatimat sähköverkon muutokset

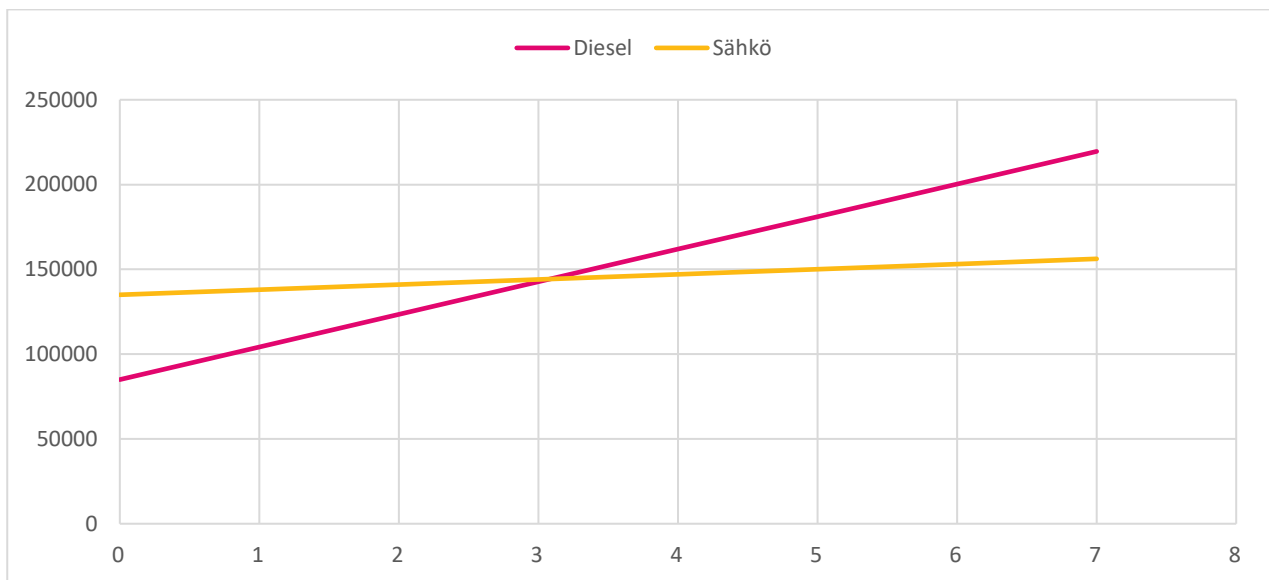
Kotkan asiakkuuden tiloissa toiminta on ollut aikoinaan toisenlaista kuin nykyisin. Tiloissa on käsitelty yksinomaan lavatavaraa ja käytössä ovat olleet lyijyakulliset, alle 2tn kantavuuden sähkötrukit. Kiinteistön sähköverkko on siis rakennettu palvelemaan kyseistä tarkoitusta, ja tämän vuoksi sähköliittymä, kuin myös kiinteistön sähköinfra on hyvä lähtökohta ajatellen suurempia ja tehokkaampia akkuja, sekä näiden vaatimia latureita.

Kiinteistön sähköliittymä on 3x400A. Sähkölaitokselta saadun historiadatan mukaan vuoden mittauksissa kiinteistön sähkönkulutuksen huipputeho on ollut 125kW. Tämä tarkoittaa 3x180A, joten reserviin jäisi 3x220A. Huomattava osa käytettävissä olevasta reservistä selittyy n. kahden vuoden takaisella valaistuspäivityksellä, jossa koko kiinteistön valaistus vaihdettiin ledeihin. Tämä muutos laski huipputehoa huomattavasti, ja osaltaan mahdollistaisi litiumtrukkien tehokkaiden latureiden suunnitellun käytön.

Linden 5tn litiumsähkötrukin akkutyyppin vaatima laturin teho on 32kW – siis 3x47A tarkoittaen sitä, että Kotkan pisteeseen olisi mahdollista asentaa käytännössä 5kpl mainittuja latureita. Vaikkakin sähköinfra on pääpiirteittäin riittävä, muutostarpeilta kiinteistön sisällä ei kuitenkaan täysin voitaisi välttyä. Mm. pääkeskusmuutokset, latauskeskuksen ja voimapistorasioiden päivitykset, sekä latureiden optimaaliseen sijoitukseen liittyvät johdotukset ja asennustyöt kaikkine tarvikkeineen tarkoittaisivat alustavan kartoituksen mukaisesti n.15 000 €:n sijoitusta.

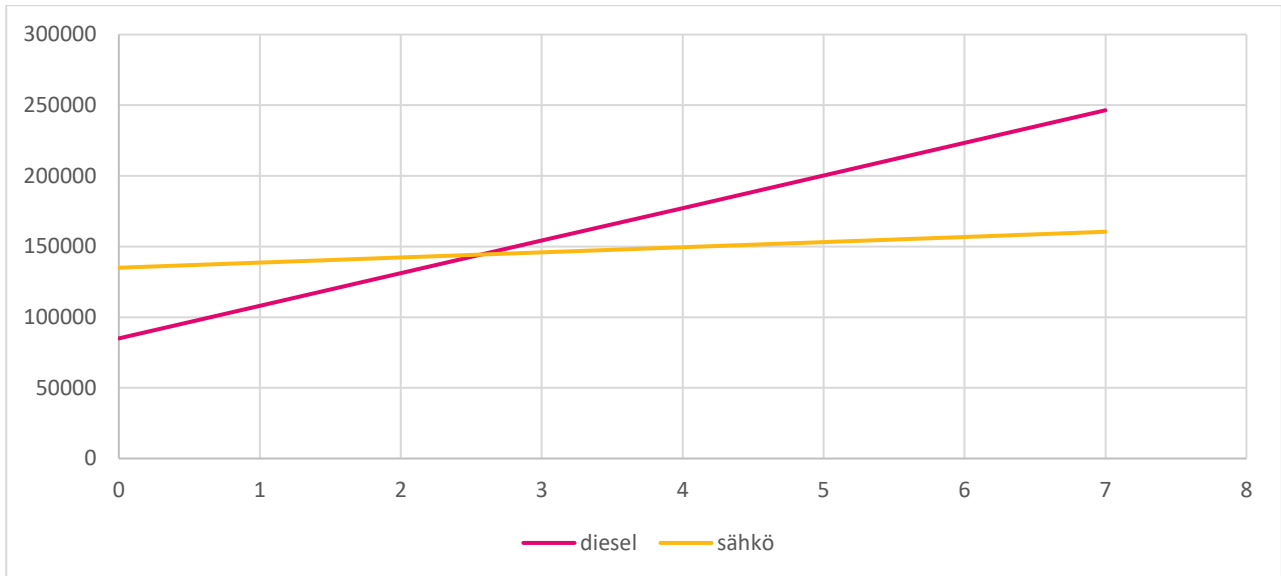
7.6 Kriittinen piste, diesel- ja sähkötrukin kustannukset

Alla on esitetty neljällä eri tavalla kriittinen piste, jolloin hankintahinnaltaan kalliimpi, litiumakullinen sähkötrukki kuolettaa käyttökustannuksien kautta hankintahintojen erotuksen verraten edullisempaan dieseltrukkiin. Esitettyinä ovat variaatiot, jossa sähköverkon muutuskulu on, sekä ei ole laskennassa mukana. Lisäksi skenaariot viikonloppuvuoroin, sekä pelkin arkivuoroin. Trukin elinkaareksi on kaikissa tapauksissa arvioitu seitsemän vuotta, joka on maahantuojaan tyypillisesti laskelmissaan käyttämä arvo. Tämä on nykyisin myös tyypillinen litiumakulle myönnetty takuu-aika, joten on perusteltua käyttää kyseistä arvoa laskennassa.



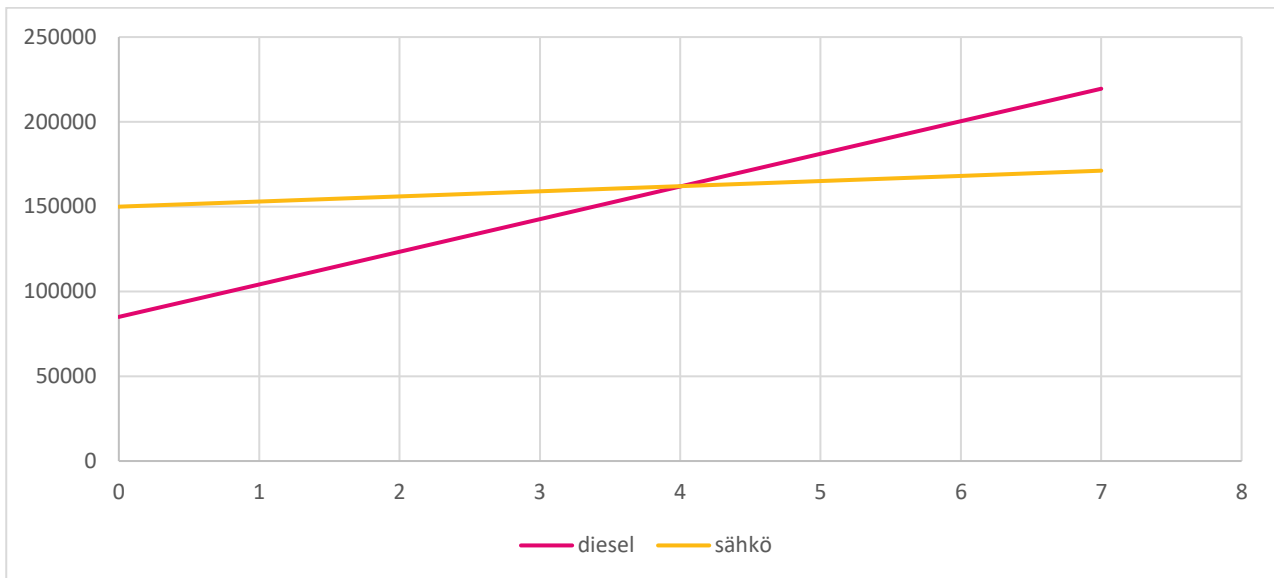
Kuvio 13 .Diesel vs. sähkö, kriittinen piste 1. Hankintakustannusten erotuksen kriittinen piste käyttökustannusten kautta arkivuoroin (dieseltrukki vs. sähkötrukki litiumakulla)

Yllä olevassa kuviossa on esitetty kriittinen piste, jolloin sähkötrukin kalliimpi hankintahinta kompensoituu tämän edullisimmilla käyttökustannuksilla dieseltrukkiin verraten. Laskelman mukaan tämä piste on hieman yli kolmen vuoden käytön jälkeen, ottaen huomioon pelkät arkipäivät kahdessa vuorossa työskennellen.



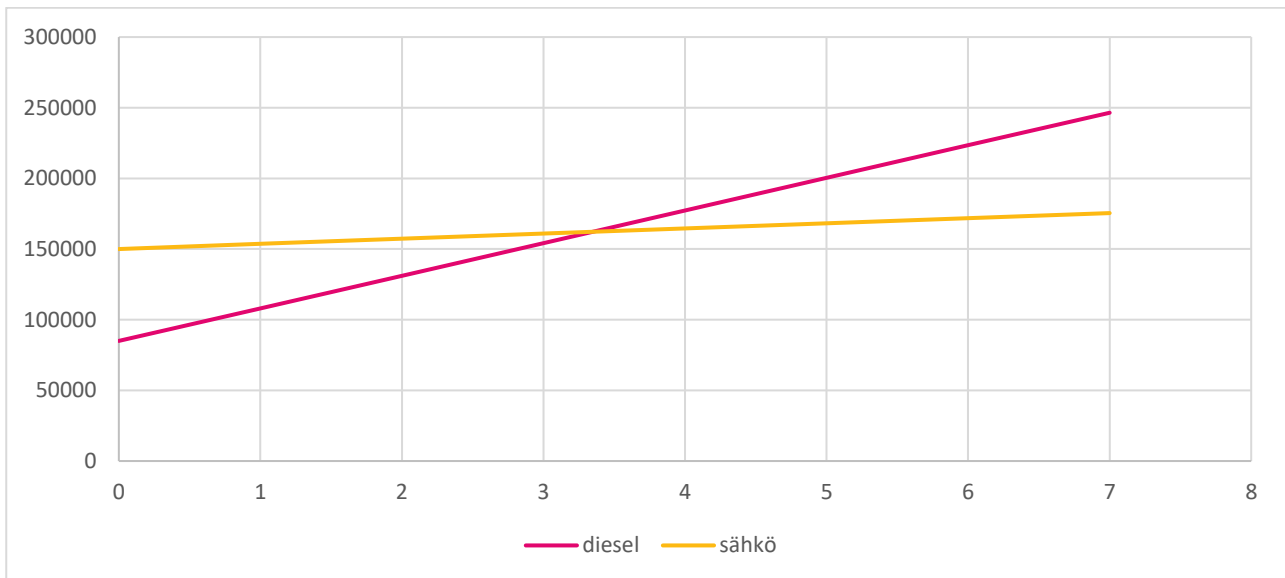
Kuvio 14. Diesel vs. sähkö, kriittinen piste 2. Hankintakustannusten erotuksen kriittinen piste käyttökustannusten kautta, työskennellen viikonloppuisin 1voro/pv arkivuorojen lisäksi (dieseltrukki vs. sähkötrukki litiumakulla).

Yllä olevassa kuviossa on esitetty sama tilanne, mutta arkivuorojen lisäksi viikonloppuina tehdään 1voro/pv. Tässä variaatiossa kriittinen piste, jossa sähkötrukin kalliimpi hankintahinta kompensoituu tämän edullisimmilla käyttökustannuksilla dieseltrukkiin verraten, painuu aiemman variaation kolmesta vuodesta n. kahteen ja puoleen vuoteen.



Kuvio 15. Diesel vs. sähkö, kriittinen piste 3. Hankintakustannusten erotuksen kriittinen piste käyttökustannusten kautta arkivuoroin. Sähköverkon vaatiman muutoksen kustannukset mukana (dieseltrukki vs. sähkötrukki litiumakulla).

Yllä olevassa kuviossa esitetään vastaava tilanne kuin kuviossa 13 (kriittinen piste 1), mutta sähkötrukin hankintahintaan on laskettu mukaan sen/niiden vaatima muutoskustannus Kotkan asiakkuuden sähköverkkoon liittyen. Toisaalta sähköverkon muutos ja sen aiheuttama kustannus mahdollistaisi useammankin laturin/trukin toiminnan, mutta laskelmassa tämä on kuitenkin laskettu yksittäisen trukin rasitteeksi. Kustannuksen realistinen jyvittäminen tässä yhteydessä on mahdollonta, joten tulosta on katsottava suuntaa antavana. Sähköverkon muutoskustannusten ollessa laskelmassa mukana yksittäisen trukin rasitteena, kriittinen piste koskien sähkötrukin kalliimpaa hankintahintaa, kompensoituu tämän edullisemmilla käyttökustannuksilla dieseltrukkiin verraten vasta neljän vuoden käyttöajan tullessa täyteen.



Kuvio 16. Diesel vs. sähkö, kriittinen piste 4. Hankintakustannusten erotuksen kriittinen piste käyttökustannusten kautta työskennellen viikonloppuisin 1vro/pv arkivuorojen lisäksi. Sähköverkon vaatiman muutoksen kustannus mukana (dieseltrukki vs. sähkötrkki litiumakulla).

Yllä olevassa kuviossa esitetään vastaava tilanne kuin kuviossa X, mutta sähkötrukin hankintahintaan on laskettu mukaan sen/niiden vaatima muutuskustannus Kotkan asiakkuuden sähköverkkoon liittyen. Tässäkin tapauksessa sähköverkon muutos ja sen aiheuttama kustannus mahdollisesti useammankin laturin/trukin toiminnan, mutta laskelmassa tämä on kuitenkin laskettu yksittäisen trukin rasitteeksi. Kustannuksen realistinen jyvittäminen tässä yhteydessä on mahdollonta, joten tulosta on katsottava suuntaa antavana. Sähköverkon muutuskustannusten ollessa laskelmassa mukana yksittäisen trukin rasitteena, kriittinen piste koskien sähkötrukin kalliimpaa hankintahintaa, kompensoituu tämän edullisemmilla käyttökustannuksilla dieseltrukkiin verraten hieman alle 3,5 vuoden käyttöajan kohdalla, kun viikonloppuvuorot ovat arkivuorojen lisäksi laskennassa.

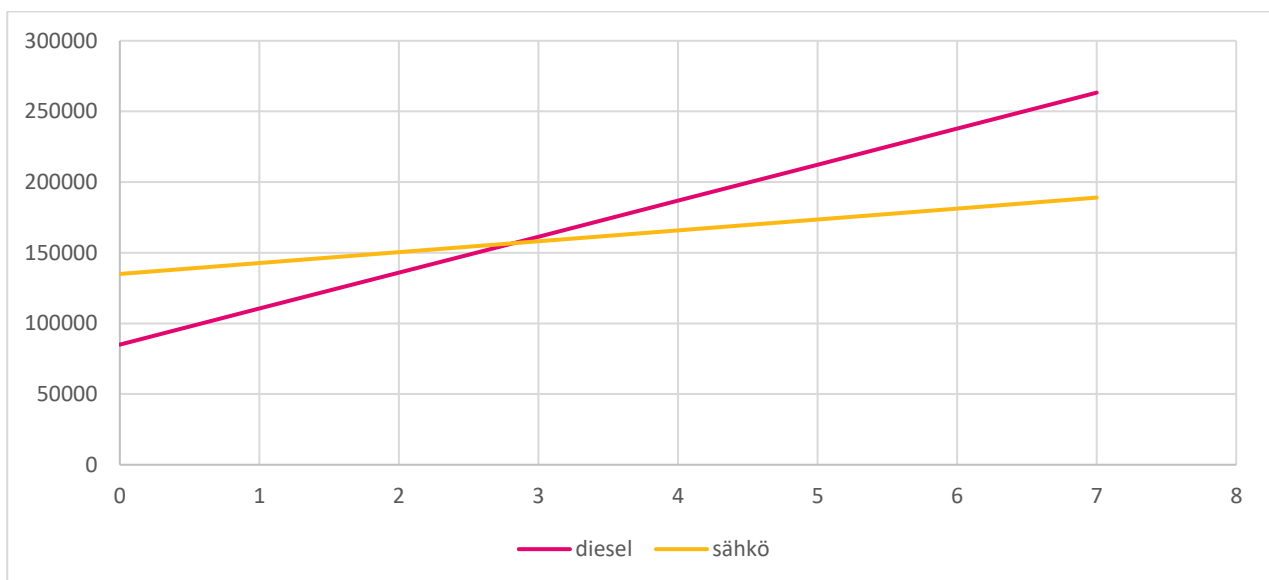
7.6.1 Huolto- ja korjauskustannukset diesel- ja sähkö (litium)-trukkien eroavaisuuksien suhteen

Luotettavaa ja vertailukelpoista dataa koskien huolto- ja korjauskustannuksia ei tutkimukseen saatu. Kahden eri asiakkuuden trukkien eroavaisuuksista (kantavuus, ikä, työn intensiivisyys ja työ-

vuorot) johtuen, luotettava vertailu näiden kesken olisi ollut mahdotonta. Lisäksi huoltoyhtiöiden/toimijoiden vaihtuvuus ajan saatossa, sekä laskutusten erittelyjen epätarkkuus teki tietojen todenperäisyyden varmistamisesta mahdotonta.

Näistä syistä johtuen tutkimuksen piiriin on otettu ainoastaan maahantuojan (Linde) käyttämä suhdeluku, ja tämän kautta saadut ennustetut kustannukset, jolla saadaan karkealla tasolla selville oletettu diesel- ja sähkötrukkien huolto- ja korjauskustannusten eroavaisuus. Suhdeluku on laskelmien osalta pätevä, sillä laskelmissa on muutoinkin lähdetty oletuksesta, että trukki on uusi, ja saman valmistajan tuote käyttövoimasta riippumatta. Huolloille ja korjauksille lasketaan seuraavat arvot:

Alla olevassa kuviossa on esitetty em. mukainen erittely siitä, kuinka vuotuiset kustannukset toteutuisivat diesel- ja sähkötrukin osalta kokonaisuudessaan, mikäli prosentuaaliset, oletetut huolto- ja korjauskustannukset olisivat sisällytettynä trukkien seitsemän vuoden elinkaarelle, huomioiden ainoastaan Kotkan asiakkuuden arkityöskentely kahdessa vuorossa. Kriittisen pisteen laskelmassa on käytetty samoja esimerkkitrukkeja ja hintoja kuin aiemmissakin laskelmissakin.



Kuvio 17. Diesel vs. sähkö, kriittinen piste 5. Hankintakustannusten erotuksen kriittinen piste käyttökustannusten kautta arkivuoroin. Laskennalliset huolto-/korjauskustannukset sisällytettynä (dieseltrukki vs. sähkötrukki litiumakulla).

Sähkötrukin huolto- ja korjauskustannukset ovat lähtökohtaisesti dieselteknikkaa alhaisemmat. Maahantuojaan (Linde) kunnossapitosopimuksiin peilaten sähkötrukin (litium) kulut ovat neljänneksen vastaavaa dieseltrukkia alhaisemmat, siirtäen näin kriittisen pisteen hieman yli kolmesta vuodesta (laskelma 1, kuvio 13.) selkeästi alle kolmen vuoden.

Yhteenvedon voidaan todeta, että mitä intensiivisempää trukin käyttö on, sitä nopeammalla aikataululla käyttökustannukset nousevat, niiden välinen ero kasvaa ja kriittinen piste saavutetaan.

8 Johtopäätökset

Tässä tutkimuksessa on käsitelty paitsi 5tn sähkötrukkien soveltuvuutta töihin Kotkan asiakkuudessa järjestetyissä testeissä, myös Liedon asiakkuudessa käytössä olleiden 2tn (litium) sähkötrukkien ominaisuuksia verraten aiemmin käytössä olleisiin lyijyakullisiin ja polttomoottorikäyttöisiin vastaaviin. Lisäksi on arvioitu kustannuksia, joita aiheutuisi Kotkan nykyisten dieseltrukkien korvaamisesta litiumakullisiin sähköisiin, sekä sitä, millä tavoin käyttökustannukset eroaisivat näiden kahden käyttövoiman välillä. Kustannusrakennetta on hahmotettu myös huolto- ja korjauskulujen, sekä sähkötrukkien vaatimien latureiden, ja tämän myötä kiinteistön sähköverkon vaatimien muutosten kautta. Teoria- ja tutkimustiedon perusteella on em. mainittujen aiheiden lisäksi selvitetty sitä, kuinka litiumakutetekniikka kykenisi korvaamaan polttomoottorikäyttöiset trukkit intensiivisessä vuorotyössä.

Tässä luvussa tuodaan esiin tutkimuksen johtopäätökset tutkimuskysymysten kautta.

8.1 Mahdollistaako sähkökäyttöinen trukki tehokkaan työskentelyn 3-4tn taakoilla?

Kotkan asiakkuuden testien perusteella tehokas työskentely 3-4tn taakoilla on mahdollista. Ennakokäsityksen mukaan suurimpana haasteena nähtiin sähkötrukin kokonaisvaltainen tehottomuus verraten käytössä olevaan dieseliin. Vaikkakin teknisten tietojen perusteella sähkötrukin suoritusarvot ovat vaatimattomammat, käytännön työssä merkittävää eroa ei testien perusteella ollut havaittavissa. Kotkan asiakkuuden olosuhteet ovat siinä mielessä otolliset, että teoriassakin mainittuja kaltevia/epätasaisia alustoja ei ole, jolloin sähkötrukin ”heikommat” ominaisuudet eivät

päässeet merkittävään osaan (Turner, 2021). Lisäksi maahantuojaan (Linde) mukaan, uudemmissa malleissa nämäkin eroavaisuudet sähköön ja dieselin suhteen tulevat kapenemaan.

Testeihin oli saatavilla ainoastaan lyijyakku, ja tämä seikka vaikutti paitsi virran riittävyyteen, myös latausaikoihin ja tätä kautta ”vajaaseen” suoritteeseen päivätasolla. Teoriaosuudessaakin useasti mainittu arvio lyijyakun kestävydestä korkeintaan yhden työvuoron verran (Da Silva ym. 2021, 2), tuli testien yhteydessä toteen näytetyksi. Toinen usein teoriaosuudessa mainittu seikka - lyijyakun ”etu” trukkikäytössä (paino) (Linja-Aho, 2022, 18) herätti huolta käytännön työtehtävissä – merikontin lattiat ja junanvaunujen rakenteet saattavat kärsiä taakkojen ollessa jo valmiiksi suuret, ja tätä kautta alustaan kohdistuvien pistekuormien ylittäessä helposti sallitut maksimit. Lyijyakku vaikutti siis huomattavasti trukin omapainoon. Litiumakulla varustettuun trukkiin nähden korkeampi omapaino vaikuttaa osaltaan myös hieman suoritusarvoihin, mm. kiihtyvyys kiihtyvyyden suhteen Linden maahantuojalta saadut tiedot antoivat olettaa, ettei uuden sähkötrukkimallin kiihtyvyys häviäisi juurikaan dieselille. Kyseessä on hyvä uutinen, jota luonnollisesti ei päästy tutkimuksen puitteissa käytännössä toteamaan.

Teoriaosiota laadittaessa huomionarvoista oli, että useiden trukkivalmistajien valikoimissa on sähkötrukkeja yhä suuremmissa kantavuusluokissa. Kaikkien näiden yhteydessä nimenomaisesti litiumakut tehokkain laturein ovat olleet mahdollistava tekijä haastaa polttomoottorit (mm. Choosing an electric forklift with lithium-ion battery, 2020). Akut ovat viime aikoina kehittyneet ja kehittyvät huimaa vauhtia edelleen. Kehittyessään yleistyvät ja yleistyessään halpenevat. Onkin oletettavaa, että sähkötrukkien (litium) hintaero dieseliin verraten tulee kapenemaan tulevaisuudessa. Suorituskykyisen akun (myös laturin) osuus polttomoottoritrukkia korvattaessa sähköisellä on erittäin merkittävä. Trukkien suorituskykyerot itsessään ovat verraten pieniä, ja pienenevät entisestään. Tehokas akku ja sen tehokas (nopea) lataaminen on ratkaisevin seikka haastettaessa polttomoottorikäyttöisiä trukkeja suuremmilla taakoilla (Modica ym. 2021).

Kehittyneen akkutekniikan turvin sähkötrukkien käyttöalue laajenee keveistä taakoista raskaampiin, yhdestä vuorosta useampaan, sisätiloista ulos, sekä tasaisilta alustoilta epätasaisille. Näin sähkötrukeilta vaaditaan siis kasvavasti niitä ominaisuuksia, jotka ovat entuudestaan polttomoottoritrukeista tuttuja. Kuvaavaa on, että esim. Linden piakkoin julkaistava X-malli, on kaventanut eroja

uuteen dieseltrukkiin monessa suhteessa, puhutaan sitten suoritusarvoista, rengaskoosta, maavarasta tai ohjaamon ominaisuuksista (Alén, 2023).

Liedon asiakkuuden muutaman vuoden käytännön kokemusten perusteella litiumakullinen trukki kykenee korvaamaan paitsi lyijyakullisen, myös polttomoottorisen kaluston. Käytettävyyden suhteen litiumtekniikkaa pidettiin hyvinkin yksimielisesti helppona, toimivana ja kokonaisuudessaan tehokkaana. Taakat mainitussa pisteessä olivat kevyemmät kuin tutkimuksen aiheessa määritetyt, mutta voimanlähteen/akkutekniikan muutoksesta, ja sen vaikutuksesta työn tekemiseen, tehokkuuteen ja mielekkyyteen, Liedon henkilöstölle teetetty kyselytutkimus tarjosi arvokasta, kokemusperäistä tietoa. Lisäksi esiin nousi tärkeitä, teoriaosuudessaakin esiin nostettuja seikkoja työturvallisuuteen liittyen, esimerkiksi lyijyakun latauksen yhteydessä vapautuviin myrkyllisiin kaasuihin, sekä toistuvaan altistumiseen pakokaasuille (Khabur, 2019; Gellings, 2011, 5, 86). Tärkeimpänä antina tutkimuksen suhteen kuitenkin oli, että kolmivuorotyöskentely on testatusti mahdollista akkuja vaihtamatta litiumtekniikan ja tehokkaiden latureiden turvin.

8.2 Mahdollistaako nykyinen akkutekniikka intensiivisen työskentelyn vuorotyössä akkuja vaihtamatta?

Kuten edellisen luvun lopussa mainittiin, Liedon kolmivuorotyö sujuu ongelmitta litiumakkujen turvin, akkuja vaihtamatta.

Akkutyypillä on suuri merkitys sähkötrukin soveltuvuuteen eri tehtävissä ja ympäristöissä. Kuten useassa teoriaosuuden lähteessäkin korostetaan, nimenomaisesti litium-akkutekniikka on merkittävä suunnan muuttaja sähkötrukkien soveltuvuudessa raskaampiin tehtäviin ja totuttuja epäedullisempiin olosuhteisiin (Alshaebi ym. 2017; Jiao ym. 2021; Turner 2021; Wollenhaupt 2021). Liedon asiakkuuden reilun kolmen vuoden kokemuksen, ja siellä teetetyn kyselyn perusteella litiumakuilla varustetuilla trukeilla työskentely kolmessa vuorossa on mutkatonta. Taakat ovat tutkimuksen otosikossa mainittuja kevyemmät, mutta toisaalta akun kyvykkyys on aina suhteutettu trukin kantavuuteen ja työn luonteeseen. Lisäksi valmistajien valikoimissa on samaan trukkiin erilaisen tehokkuuden omaavia litiumakkuja, joilla kyseisen trukin kyvykkyys ja tehokkuus suunniteltuihin tehtäviin ja/tai vuorojärjestelmään voidaan varmistaa. (Alén, 2023.)

Teorialähteissäkin monasti mainittu latausstrategia on oikein mitoitettun akun ja laturin ohella ratkaisevassa roolissa (Modica ym. 2021). Kaikki perustuu lyhyisiin, työn taukojen aikana suoritettaviin latauksiin, joten non-stop-toiminta ei dieselistä poiketen ole vaihtoehto, vaikka muissa työaikamalleissa varauksen riittävyys voidaankin varmistaa.

Kuten teoriaosuudessa kerrottiin, että perinteinen lyijyakkutekniikka on leimannut koko sähkötrukkikantaa, sen ominaisuuksia ja kyvykkyyttä (Modica, ym. 2021). Jako polttomoottori- ja sähkötrukkien suhteen on ollut tämän seikan vuoksi selvä ja joustamaton. Esimerkiksi raskaat kuormat, vuorotyö, epätasaiset alustat ja lämpötilojen vaihtelut ovat olleet seikkoja, jotka ovat sulkeneet sähkötrukin ulos realistisena vaihtoehtona. Ylipäättään työn pitkäkestoisuus ja intensiivisyys, sekä vaade tasaisesta, katkeamattomasta suorituksesta ovat olleet seikkoja, jotka ovat puoltaneet polttomoottorin suvereniteettia. Teoriassakin todettu, sekä Kotkan testeissäkin esille nousut tosiasia on, että lyijy Akku kestää intensiivisessä työskentelyssä parhaimmillaankin vain yhden työvuoron verran (Da Silva ym. 2021, 2). Lyijyakun verraten pitkä latausaika, ylläpitohuollot, lataukseen soveltuvan ympäristön välttämättömyys, sekä mahdollisesti välttämättömät vaihtoakut ja niiden vaihtotyöt ovat olleet ”väistämättömiä ominaisuuksia” liittyen sähkötrukkeihin, ja siksi kääntäneetkin usein valinnan polttomoottoriin, milloin se on ollut mahdollista. Teorialähteissäkin mainitut, aiemmin vaihtoehtojen puute, sekä myöhemmin käyttäjien tietämättömyys tuoreesta kehityksestä, ovat siis käytännössä pitäneet sähkötrukit kovin kapealla sektorilla koko monimuotoiseen trukkikantaan verraten (Gellings 2011, 5, 86; Modica ym. 2021).

Litiumtekniikka muuttaa – ja on muuttanut asetelmaa voimakkaasti ja pysyvästi. Litiumakku omaa tuntuvasti paremman hyötysuhteen, käyttöiän, tehokkuuden ja joustavuuden. Mm. näiden ominaisuuksiensa turvin se asettaa sähkötrukkien soveltuvuuden kokonaisuudessaan uuteen, totutusta poikkeavaan valoon. Erityisesti yksi ominaisuus on laajentanut käyttömahdollisuuksia käänteentekevällä tavalla: helppo ja nopea lataus. Litiumakku sietää lyhyitä, osittaisia latauksia ja kykenee ottamaan virtaa vastaan nopeasti ja tehokkaasti käyttöiän tai kapasiteetin kuitenkin oleellisesti kärsimättä (Matilainen 2019; Jiao 2021; Modica 2021). Tämä ominaisuus on erityisen tärkeä – sen myötä mahdollistuvat korkeaintensiivinen työskentely, raskaiden taakkojen käsittely, sekä vuorotyöskentely akkua vaihtamatta ja toiminnan keskeytymättä. Teorialähteissäkin useasti mainittu ja tutkimuksessa toteen näytetty yhdistelmä: oikein mitoitettu akku, tehokas laturi ja taukoihin perustuva latausstrategia mahdollistavat tehokkaan ja taukoamattoman työskentelyn jopa

kolmessa vuorossa. Sähkö on matkalla materiaalinkäsittelylaitteiden voimanlähteeksi, nimenomaisesti litiumakkutekniikan turvin (Wollenhaupt, 2021).

8.3 Kuinka diesel- ja sähkötrukin hankinta- ja käyttökustannukset suhteutuvat keskenään?

Teoriaosuudessa on esitetty väitteitä, jotka tutkimuksessa on osoitettu pitävän paikkansa. Osa näistä liittyy suoraan, tai välillisesti kustannuksiin. Tuntuvin, ja helppoiten ymmärrettävä kustannuseroavaisuus on trukin käyttämä energia, ja sen aiheuttama käyttökustannus. Teoriassa on esitetty, että sähkötrukin ”polttoainekustannus” olisi parhaimmillaan vain 10 % dieseltrukin polttoainekulusta (Tips for Choosing The Right Forklift for the Job). Tutkimuksen yhteydessä tehdyissä laskelmissa saatiin luvuksi n.15 %, joten voidaankin ajatella, että tietyissä tapauksissa/olosuhteissa jopa 10 % on mahdollinen.

Luotettavaa, vertailukelpoista dataa konkreettisista huolto- ja korjauskuluista diesel- ja sähkötrukin väliltä ei tutkimukseen saatu. Teoriassa on kuitenkin toistuvasti esitetty, että mainitut kustannukset olisivat sähkötrukkien osalta selkeästi dieseltrukkia matalammat (Modica ym. 2021.). Myös esitetyt perusteet ovat selkeitä ja loogisia: yksinkertaisempi tekniikka, vähemmän liikkuvia osia, vähemmän vaihdettavia nesteitä ja näihin liittyviä suodattimia. Kaikki tämä tarkoittaa paitsi matalampia kustannuksia tarvittavien osien ja tarvikkeiden suhteen, myös matalampaa työkustannusta vaaditun huolto-korjausajan ollessa samalla lyhyempi. Tämän tiedon perusteella on helppo uskoa Linden maahantuojan antamaan suhdelukuun eri käyttövoimien huolto- ja korjauskustannusten välillä – sähkötrukin (erityisesti litiumakullisen) kustannus on n. 75 % vastaavasta dieselin kustannuksesta (Alén, 2023). Tämä on myös karkealla tasolla luku, jota käyttävät omassa laskennassaan, toki tapauskohtaisesti tarkentaen.

Tutkimuksen laskelmissa on osoitettu, että litiumakullisen sähkötrukin tuntuvasti korkeampi – teoriaosuudessakin mainittu 20–50 % - hankintahinta on tänä päivänä hyvin osuva suhdeluku. Linden maahantuojan arviot Kotkan pisteen vaatimustason täyttävästä, lyijyakullisen sähkötrukin hankintahinnasta on 18 % vastaavaa dieseltrukkia korkeampi. Vastaavasti litiumakullinen sähkötrukki on 58 % dieseltrukkia arvokkaampi. Käytännössä lyijyakullisen trukin hinta olisi vieläkin korkeampi, sillä se vaatisi kyseisissä tehtävissä vaihtoakun. Vaikka vaihtoakun tarvetta ei laskelmissa noteerataisi, litiumakun elinkaaren aikana lyijyakku tulisi joka tapauksessa uusia kerran, jopa kaksi

(Khabur, 2019). Tämän vuoksi lyijy- ja litiumakullisen sähkötrukin elinkaarikustannus kapenee keskenään verraten. Laskelmissa on nostettu esiin nimenomaisesti litiumakullinen sähkötrukki, sillä litiumtekniikka on nimenomaisesti se, joka on useissa yhteyksissä kykenevä haastamaan polttomoottorin – tässä tapauksessa dieselin. Toinen syy, miksi lyijyakku on jätetty laskennassa sivuun, on se, että litiumakun elinkaari on oletuksen mukaan sama kuin trukin laskennallinen käyttöikäkin, eikä näin ollen tarvitse arvuutella sitä, minkälaisen osuuden lyijyakun uusimiset toisivat elinkaarikustannusten laskentaan.

Laskelmissa on esitetty neljä eri versiota kriittisestä pisteestä, jolloin sähkötrukin (litium) huomattavasti korkeampi hankintahinta kuoleentuisi dieselin selkeästi korkeampiin käyttökustannuksiin suhteuttaen. Laskelmien kautta nähdään, että litiumakullinen trukki on kuitannut hankintahintojen erotuksen jo alle kolmessa vuodessa, kun mukaan lasketaan huolto- ja korjauskustannukset. Käytännössä tämän leikkauspisteen voidaan katsoa toteutuvan aiemminkin, sillä huolto- ja korjauskustannusten ero on suurimmillaan tilanteessa, jossa jo ikääntynyt dieseltrukki vaihdetaan uuteen sähköiseen. Lisäksi kriittinen piste tulisi ajallisesti mitaten kyseeseen jo aiemmin silloinkin, mikäli trukeilla työskenneltäisiin kahden vuoron sijaan kolmessa vuorossa. Myös viikonloppuvuorot luonnollisesti aikaistavat kriittisen pisteen hetkeä.

Laskelmissa on esitetty myös variaatio, jossa kyseessä olevan (Kotkan) varaston sähköverkkoon tulisi toteuttaa arvion mukaiset 15 000 €:n muutokset, jotta litiumakkujen tehokas lataus olisi mahdollista. Mainittu kustannus on eräässä mallissa laskettu vain yhden sähkötrukin rasitteeksi, vaikka muutos palvelisi viittä laturia, ja siis viittä, tai useampaakin trukkia. Jos tuo kustannus otettaisiin laskelmiin mukaan jakaen viidelle tai useammalle trukille, jäisi yhden trukin osuus niin pieneksi, ettei se oleellisesti muuttaisi kokonaisuutta.

Kuten teorialähteissäkin on osoitettu, litiumakullisen trukin lyhyen aikavälin kustannus on suuri, nostaa kynnystä hankinnalle, mutta pitkän aikavälin kustannus on verrannollisesti pieni, ollen selkeästi edullisempi hankinta elinkaarikustannusten kautta. Lisäksi tulevaisuuden näkymät antavat olettaa, että litium olisi jatkossa nykyistä edullisempi hankittaessa. Tämä siksi, että tekniikka yleistyä, ja akkusortimentti monimuotoistuu. (Jiao ym. 2021.) Lisäksi dieseltekniikka tuskin muuttuu alati tiukkenevien päästönormien puristuksessa nykyistä edullisemmaksi, vaan todennäköisesti päinvastoin. (Alén, 2022).

9 Pohdinta

9.1 Teoriakatsaus ja sen haasteet.

Teoriakatsauksen suhteen kokonaisuus selkiytyi vasta tutkimuksen loppumetreillä. Lähteiden käyttö, sekä tietojen yhdistely ja jäsentely olisi voinut olla korkeatasoisempaa, mikäli allekirjoittanut olisi löytänyt ”punaisen langan” jo työn alkuvaiheessa. Lähteiden löytäminen oli osin haastavaa, sillä tämän tutkimuksen teemaan soveltuvaa diesel-sähkö-vertailua ei ilmeisesti ole tehty. Ei ainakaan sillä tasolla dokumentoituna, että sen olisi löytänyt tieteellisen kirjallisuuden joukosta. Lisäksi suurin osa lähteistä oli ulkomailla tuotettua, ja sen seikan mukana tuli paitsi väistämättömät käännöstyöt, myös se seikka, että trukin käyttövoimia oli käsiteltyä samoissa yhteyksissä sähkön ja dieselin lisäksi usein myös neste- ja maakaasu, sekä vety, jotka ovat ulkomailla Suomea yleisemmin käytössä/käsittelyssä. Em. syistä johtuen trukkien käyttövoimien suhteen teoria tukeutui osin valmistajien/edustajien materiaaleihin. Tässä yhteydessä laatua oli syytä korvata määrällä ja tarkalla valikoinnilla, ja tämä aiheutti osaltaan haasteen uskottavuuden, luotettavuuden ja loogisuuden säilyttämisessä. Lisäksi teoritiedon hankinnassa kautta linjan haastetta aiheutti se, että aiheita oli käsitelty joko hyvin yleisellä/ylätasolla, tai vastaavasti hyvinkin detaljitasolle syventyen. Ns. ”välitaso”, joka olisi ollut oletettavasti soveltuvin tämän tutkimuksen aihepiiriin, puuttui liki täysin.

9.2 Trukkitestit ja tutkimusmenetelmät

Kotkan trukkitestien suhteen tutkimusmenetelmiksi valittiin dokumenttianalyysi ja havainnointi. Mainitut menetelmät valikoituivat siksi, että käytettävissä olevia dokumentteja oli saatavilla runsaasti jo valmiiksi erilaisten seurantojen ja mittareiden muodossa, sekä siksi, että testausta varten oli aikeena rakentaa verkkopohjainen seurantatyökalu jo ennen, kuin kyseiset testit yhdistyivät kyseessä olevaan tutkimukseen. Havainnointi oli looginen valinta siksi, että testausta suoritettiin tutkimuksen tekijän omassa työympäristössä. Lisäksi menetelmänä käytettiin haastattelua, mutta tässä tapauksessa havainnoinnin ja haastattelun raja oli häilyvä – kyseessä olivat pikemminkin vapaamuotoiset, spontaanit ”kahvipöytäkeskustelut” dokumenttianalyysin ja muun havainnoinnin lisänä.

Varsinaisten testien suhteen haasteita aiheutti niukat aikaikkunat testiin saatujen trukkien osalta. Kolme neljästä testiin saadusta trukista olivat edustajan demokäytössä, ja tämän vuoksi niukalla

aikaikkunalla Kotkan asiakkuudessa testissä. Testidatan luotettavuuden ja vertailukelpoisuuden vuoksi trukkeja käytettiin todellisissa työtehtävissä. Varjopuolena tämän suhteen oli se, että tehokkaasti resursoidussa työpisteessä tehtävät testit osoittautuivat kiireellisinä aikoina haastaviksi, sillä henkilöstö ohjautui mieluiten tuttuihin dieseltrukkeihin tehtäviensä joutuisuuden/valmiiksi saattamisen varmistamiseksi. Lisäksi osa testidatasta tuli rajata ulos varsinaisesta analysoinnista luotettavuuden varmistamiseksi. Tämä siksi, että osa testiajoista jäi kovin lyhyeksi, ja tekijöiden arviot tästä syystä kovin ohuelle pohjalle. Myös asenteellisuutta uutta, ennestään vierasta käyttövoimaa kohtaan oli kommentoissa mukana, ja nämä oli syytä rajata ulos tuloksista. Kokonaisuudessaan testidata jäi suunniteltua vähäisemmäksi, joskin se käytettiin tarkasti ja harkitusti, varmistaen johtopäätöksiä paitsi toistojen, myös useiden eri dokumenttilähteiden kautta. Tulokset osoittivat kiistattomasti sen, että sähkö on soveltuva voimanlähde polttomoottorin korvaajaksi, ainakin testatussa ympäristössä.

9.3 Kyselytutkimus Liedossa & haastattelut Raumalla

Kyselytutkimus valittiin tämän osuuden tutkimusmenetelmäksi siitä syystä, että tarkoitus oli tavoittaa laaja joukko vastaajia ja saada työntekijöiltä monipuolisesti tietoa yhdellä kertaa. Kyselyä edelsi työnjohdon haastattelu, jotta taustat ymmärrettiin oikein, ja kyselyn sisältö kyettiin suunnittelemaan mahdollisimman tarkoituksenmukaiseksi. Kyselytutkimus, ja siihen liittyvä vastaajien valikoiminen ennalta, ja eri vuoroissa työskentelevien saaminen perinteisen, paperisen kyselylomakkeen äärelle otti lopulta aiottua enemmän aikaa. Tämän aiheutti myös tehokas resursointi ja kiireinen aika kyseisessä pisteessä. Lopulta tulosten analysoinnilla oli kiire, mutta onneksi lopputuloksena oli kuitenkin tasokasta antia vastaajilta, ja näin ennalta suunniteltua tärkeämpi osuus tutkimusta ja sen tuloksia. Tasokkuuden lisäksi anti oli varsin yksimielistä, joten analysointi ei aiheuttanut suuresti päänvaivaa, ja tuloksetkin voidaan katsoa näin luotettavammiksi. Liedon työnjohdon ”ennakkokarsinta” vastaajien suhteen osoittautui onnistuneeksi, vaikkakin aikataulun suhteen se aiheutti haastetta.

Tutkimuksen piirissä oli alun perin myös asiakkuus Raumalla, mutta siellä sähkötrukilla suoritettavan työn luonne ja intensiivisyys eivät lopulta antaneet aiheutta sisällyttää haastattelujen sisältöä tämän tutkimuksen tuloksiin. Tämä siksi, ettei kyseisen pisteen 5tn-sähkötrukilla suoritettavat olleet kovinkaan intensiivisiä, eikä myöskään tarkkaa vertailudataa aiempaan dieseltrukkiin, tai sen käyttöön ollut säilynyt. Tämä osuus otti siis hieman aikaa, mutta valui lopulta hukkaan.

Kaiken kaikkiaan kiireeseen ja viivytyksiin olisi ollut syytä varautua paremmin. Todellisessa työympäristössä tehtävä tutkimus jää helposti varsinaisten työtehtävien jalkoihin. Jälkeenpäin ajatellen ennalta määrätyt testaukseen osallistujat, tai varsinaisen henkilöresurssin lisänä testausta suorittavat henkilöt olisivat voineet ratkaista tämän haasteen. Toisaalta kaikessa kiireessä tehdyt testit tarjosivat varmasti oikean kuvan sähkötrukin kyvyistä todellisissa töissä.

9.4 Lämpötilan vaikutus sähkötrukin käytettävyyteen

Tutkimusten perusteella mahdollisesti tehtävien päätelmien vuoksi, olisi ollut tärkeä osuus selvittää akkujen käyttö-, ja latausominaisuuksia tarkemmin matalien lämpötilojen osalta. Omasta organisaatiostani soveltuvaa asiakkuutta sähkökäyttöisten trukkien – erityisesti litiumakullisten – tutkimiseen ei tarjoutunut mahdollisuutta. Lisäksi akkutekniikka on parasta aikaa murroksessa, ja akkutekniikka kehittyi vauhdilla. Tässä valossa saatavilla oleva teoriatieto olisi ollut mitä todennäköisimmin jo suurelta osin jo vanhaa – tai pian vanhaa tietoa. Kylmiin olosuhteisiin sähkötrukin hankintaa suunniteltaessa tämä on kuitenkin erittäin tärkeä seikka selvitettäväksi, mikäli tutkimuksen tuloksia käytetään muilta osin tukena toisenlaiseen toimintaympäristöön sähkötrukkia harkittaessa.

9.5 Tuloksista

Tutkimuksen tuloksina saatiin kattava kuvaus sähkötrukkien tilasta nykypäivänä, ja erityisesti melko uuden litiumakkutekniikan eroavaisuuksista lyijyakuun verraten, sekä kyvyistä intensiivisessä vuorotyöskentelyssä. Tulevaisuuden suuntaviivoista saatiin myös vihiä tutkimuksen tekemisessä tiiviisti mukana olleen maahantuojaan edustajan kautta. Lisäksi saatiin kouriintuntuvaa tietoa kustannuksista, joita näiden kahden eri käyttövoiman hankintaan ja käyttöön liittyy. Isossa kuvassa laskelmia voidaan käyttää laajemminkin, sillä voimanlähteiden hankinta- ja käyttökustannusten keskinäiset suhteet eivät sinällään suuresti muutu, vaikka kyseessä olisi esim. kantavuudeltaan huomattavasti pienempi/suurempi trukki, kuin tämän tutkimuksen laskennassa käytetyt.

9.6 Luotettavuus ja eettisyys

Teoriaosuudessa pyrittiin siihen, että työssä esitetyt asiat löytyvät vähintään kahdesta eri lähteestä. Trukkeja koskeissa aiheissa samansuuntainen tieto pyrittiin löytämään kolmesta tai useammasta lähteestä, sillä lähteiksi jouduttiin monessa yhteydessä hyväksymään valmistajien, edustajien ja myyjien verkkosivuja vaihtoehtojen puutteessa.

Kaikki henkilöt - haastateltavat, testeihin osallistuneet, havainnoinneissa mukana olleet, sekä kyselyyn vastaajat informoitiin ennalta siitä, että tietoja tullaan käyttämään opinnäytetyön sisältönä joko sellaisenaan, tai muokattuna sitä varten. Mikäli haastattelujen yhteydessä saatiin tietoon joi-takin mahdollisesti luottamuksellisia tietoja (esim. lukuja), julkaisukelpoisuus/-lupa varmistettiin vielä erikseen.

Samalla tavoin toimittiin myös sähköpostien, ja niiden liitteiden suhteen. Tutkimuksesta jätettiin pois aineisto, jonka julkaiseminen olisi ollut kyseenalaista. Lisäksi asiakassuhteiden välisiä hintoja ei julkistettu, vaan käytettiin hinta-arvioita, kuitenkin niin, että mainittujen hintojen välinen suhde – joka oli tulosten kannalta ratkaisevaa – säilyy oikeana. Tutkimukseen osallistuneilta sidosryh-miltä tiedusteltiin erikseen mitä sisältöä voi, ja mitä ei voi julkaista. Epäselvissä tapauksissa sovit-tiin yhdessä malli, jolla tutkimuksen kannalta olennainen tieto voidaan esittää.

Tavoitteena oli, että tutkimus säilyisi kuitenkin kokonaisuudessaan julkaisukelpoisena.

Testituloksista jätettiin tietoisesti ja harkiten pois osat, jotka olisivat vääristäneet, tai voineet vää-ristää tuloksia. Tällaisia olivat esimerkiksi kyselytutkimuksessa tyhjänä – tai liki tyhjänä palautu-neet lomakkeet, sekä trukkitestauksessa määrällisesti/ajallisesti vähäinen, tai muuten vertailuun kelpaamaton data. Lisäksi kommentit ja kokemukset, jotka olivat vahvasti ennakoasenteellisia vailla varsinaista perustetta, tai tutkimukseen/kysymykseen liittyvää sisältöä, jätettiin ulos käytet-tävästä aineistosta. Myös tutkimuksen alkuvaiheessa hankittu ja käytettäväksi suunniteltu materi-aali, joka työn edetessä osoittautui epärelevantiksi kokonaisuuteen nähden, jätettiin kokonaan pois.

Trukkitesteissä käytettävistä dokumenteista valikoitiin mahdollisimman samankaltaisia/vertailukelpoisia otantoja. Mahdollisuuksien mukaan valikoitiin mm. kokonaisuudessaan yhden työntekijän suorittamia työsuorituksia, ja samojen henkilöiden toteuttamina (aiemmin diesel-, sittemmin sähkötrukilla suoritettuna), jotta tulokset olisivat mahdollisimman todenperäisiä, ja niistä johdetut johtopäätökset luotettavia. Lisäksi asioiden oikeellisuus varmistettiin useasta eri dokumenttilähteestä, jotta virheellisten tulkintojen mahdollisuus kyettiin sulkemaan pois.

Lähteet

Ala-Hiiri, J. Johtava asiantuntija. Teknisen Kaupan Liitto Ry. 2023. Yksityinen sähköpostiviesti 6.3.2023. Viestin saaja Olsson Benka.

Alén, T. 2022. Vaihtokonepäällikkö, Trukit ja sisälogistiikka, Wihuri Oy Tekninen kauppa, Pärssinen, J. 2022. Kalustopäällikkö. Suomen Transval Oy. Haastattelu 28.10.2022.

Alén, T. 2023. Vaihtokonepäällikkö, trukit ja sisälogistiikka, Wihuri Oy Tekninen Kauppa, Pentikäinen A. Head of District, Suomen Transval Oy, Pärssinen, J. Kalustopäällikkö, Suomen Transval Oy. Haastattelu 20.3.2023.

Alén, Tomi 2023. Technical data, H50/600D BR 1204-01, 2023, Linde. Yksityinen sähköpostiviesti 4.5.2023. Viestin saaja Olsson Benka.

Alén, Tomi 2023. Technical data, X50/600 BR 1254-01, 2023, Linde. Yksityinen sähköpostiviesti 4.5.2023. Viestin saaja Olsson Benka.

Alshaebi, A. Dauod, H., Weiss J., Yoon, S. 2017. Evaluation of Different Forklift Battery Systems Using Statistical Analysis and Discrete Event Simulation. IIE Annual Conference, Proceedings; Norcross 1637-1642. Viitattu 8.11.2022. Saatavilla: https://www.researchgate.net/publication/317357134_Evaluation_of_Different_Forklift_Battery_Systems_Using_Statistical_Analysis_and_Discrete_Event_Simulation.

Björklund, M, Hüge – Brodin, M. 2017. Greening Logistics. 1. p. Ruotsi. Holmbergs i Malmö AB.

BU-410: Charging at High and Low Temperatures. 2022. Battery University. Viitattu 10.5.2023. Saatavilla <https://batteryuniversity.com/article/bu-410-charging-at-high-and-low-temperatures>.

Choosing an electric forklift with lithium-ion battery. 2020. Konecranes. Viitattu 10.5.2023. Saatavilla: <https://sustainableworldports.org/wp-content/uploads/Konecranes-E-VER-ZE-forklift.pdf>.

Da Silva, C.T., Dias, B.M.d.A., Araujo, R.E., Pellini, E.L., Lagana, A.A.M. 2021. Battery model identification approach for electric forklift application. MPDI. Viitattu 8.11.2022. Saatavilla: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/19/6221>.

Dey, A., LaGuardia, P., Srinivasan, M. 2011. Building sustainability in logistics operations: a research agenda. Management Research Review, 34, 11, 1237–1259. Viitattu 8.11.2022. Saatavilla: <http://people.exeter.ac.uk/mjp228/Sustainability.pdf>.

Diesel Forklift & Electric Forklift Comparisons. 2022. Certify Me. Viitattu 10.5.2023. Saatavilla: <https://www.certifyme.net/osha-blog/diesel-forklift-or-electric-forklift/>.

- Facchini, F., Mummolo, G., Mossa, G., Digiesi, S., Boenzi, F., Verriello, R. 2016. Minimizing the carbon footprint of material handling equipment: Comparison of electric and LPG forklifts. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 9, 5, 1035 – 1046. Viitattu 8.11.2022. Saatavilla: https://www.researchgate.net/publication/311766420_Minimizing_the_Carbon_Footprint_of_Material_Handling_Equipment_comparison_of_electric_and_LPG_forklifts/link/5864dc4c08ae8fce490c1a89/download.
- Forklift History: The Complete Story. 2022. Conger. Viitattu 2.2.2023. Saatavilla: <https://www.conger.com/forklift-history/>.
- Forklift Market Size, Share & Trends Analysis Report, 2030. Grand view research. Viitattu 2.2.2023. Saatavilla: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/forklift-market>.
- Fuk, P., Kurczewski, P., Lewandowska, A., Nowak, E., Selech, J. 2016. An Environmental life cycle of forklifts operation: a well-to-wheel analysis. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21, 10, 1438 – 1451. Viitattu 8.11.2022. Saatavilla: https://www.researchgate.net/publication/301292525_Environmental_life_cycle_assessment_of_forklifts'_operation_-_a_well-to-wheel_analysis_analysis/link/5fbff095a6fdcc6cc66d190d/download.
- Gellings, Clark W. 2011. *Saving Energy and Reducing CO2 Emissions with Electricity*. 1.p. New York: River Publishers. Viitattu 8.11.2022.
- Gunjal, U., Nalwade, P-M., Dhondge, D., Ingale, P-R. Patil, A. 2015. Green logistics: Improving the sustainability of logistics in environmental and organizational point of view. *International journal of science. Technology & Management*, 4, 3, 122-133. Viitattu 8.11.2022. http://www.ijstm.com/images/short_pdf/1427275145_P122-133.pdf.
- Hirsjärvi, S., Remes, P., Sajavaara, P. 2010. Tutki ja kirjoita. 15.–16. p. Suomi. Helsinki. Tammi.
- How to choose between a diesel, propane, or electric forklift. Thompson Lift Truck. Viitattu 10.5.2023. Saatavilla: <https://thompsonlifttruck.com/blog/diesel-propane-or-electric-forklift/>.
- How to choose the right power source to your forklift. 2022. Gregory Poole Lift. Viitattu 10.5.2023. Saatavilla: <https://www.gregorypoolelift.com/blog/how-to-choose-the-right-power-source-for-your-forklift/>.
- Jiao. M., Pan. F., Huang X. Yuan. X. 2021. Evaluation on Total Costs of Ownership of Electric Forklifts with lithium-ion battery. 4th International Electrical and Energy Conference. Viitattu 8.11.2022. saatavilla: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9510828>.
- Khabur, M. 2019. Comparing Lithium-Ion and Lead-Acid Batteries. *Machine Design*. Julkaistu 6.12.2019. Viitattu 8.11.2022. Saatavilla: <https://www.machinedesign.com/mechanical-motion-systems/article/21838346/comparing-lithiumion-and-leadacid-batteries>.
- Korhonen, M. 2023. Työnjohtaja. Suomen Transval Oy. Haastattelu 10.2.2023.
- Kosonen, P. 2023. Rompintie 67 trukkilatausasemat. Yksityinen sähköpostiviesti 19.3.2023. Viestin saaja Olsson Benka.

LeBlanc, R. 2018. The Amazing Story of Lead Recycling. Liveabout. Julkaistu 10.7.2018. Viitattu 10.5.2023. Saatavilla: <https://www.liveabout.com/the-amazing-story-of-lead-recycling-2877926>.

Matilainen, M. 2019. Litiumakkujen kierrätys. Tampere. Tampereen Yliopisto. Kandidaatin työ. Viitattu 10.5.2023. Saatavilla: <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/27499/Matilainen.pdf?sequence=4>.

McKinnon A., Browne M., Whiteing A. 2012. Green Logistics 2nd edition – Improving the Environmental Sustainability of Logistics. 1. p. Kogan Page. Intia, Iso-Britannia, Yhdysvallat.

Miodrag, Z., Kaffka, J., Clausen, U. Munsal, L., Drost, S. 2016. Assessment of Emissions Caused by logistics handling operations in multimodal terminals. Transportation research Procedia 14, 2754 – 2761. Viitattu 8.11.2022. Saatavilla: https://www.researchgate.net/publication/304529659_Assessment_of_Emissions_Caused_by_Logistics_Handling_Operations_in_Multimodal-terminals.

Modica, T., Perotti, S., Melacini, M. 2021. Green warehousing: Exploration of organizational variables fostering the adoption of energy-efficient material handling equipment. MDPI. Viitattu 30.10.2022. Saatavilla: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/23/13237>.

Mäkelä T., Mäntynen J., Vanhatalo J. 2005. Logistiikka ja kuljetusjärjestelmät. 1.p. Suomi. Tampereen teknillinen yliopisto.

Ojasalo, K., Moilanen, T., Ritalahti, J. 2009. Kehittämistyön menetelmät – uudenlaista osaamista liiketoimintaan. 1.p. Suomi. WSOYpro Oy.

Palmberg, J. 2022. Vihreä Logistiikka – Kuljetusliikkeiden keinot vihreämpien maantiekuljetusten edistämiseksi Suomessa. Vaasa. Vaasan yliopisto. Pro Gradu. Viitattu 10.5.2023. Saatavilla: https://osuva.uwasa.fi/bitstream/handle/10024/14342/UVA_2022_Palmberg%20Jelena.pdf?sequence=2.

Pariisin ilmastopöytäkirja. Ympäristöministeriö. 2015. Viitattu 9.5.2023. Saatavilla: https://ym.fi/documents/1410903/38439968/paris_agreement_english_-B334B5EC_B697_4C03_8F06_D42B87AA76E6-118495.pdf.

Passerini, S. Bresser, D. Moretti, A. Varzi A. 2020. Batteries, present and future energy storage challenges. 1.p. 2020. Englanti: John Wiley & Sons.

Qian, K., Zhou, C., Yan, Y., Allan, M. 2010. Temperature effect on electric vehicle battery cycle life in vehicle-to-grid applications. China International Conference on Electricity Distribution. Viitattu 8.11.2022. Saatavilla: https://www.researchgate.net/publication/241180676_Temperature_effect_on_electric_vehicle_battery_cycle_life_in_Vehicle-to-grid_applications.

Rinne, V. Kehitysjohtaja, Suomen Transval Oy. Posti vastuullisuusraportti 2021 - seminaarimateriaali. Yksityinen sähköpostiviesti 23.1.2023. Viestin saaja Olsson Benka.

Rinne, V. Kehitysjohtaja, Suomen Transval Oy. Transval vastuullisuus ja hankinnan kehitys 2022 - seminaarimateriaali. Yksityinen sähköpostiviesti 23.1.2023 Viestin saaja Olsson Benka.

Santhanagopalan, S., Smith, K., Neubauer, J., Kim, G-H., Pesaran, A., Keyser, M. 2014. Design and Analysis of Large Lithium-Ion Battery Systems. 1.p. Artec House.

Teoriaa ja faktaa akuista. Polar Heater. Viitattu 10.5.2023. Saatavilla: <https://www.polar-heater.fi/page/6/teoriaa-ja-faktaa-akuista>.

The different kind of forklift engines.2023. Euro1. Viitattu 10.5.2023. Saatavilla: <https://www.euro1training.com/news/different-kinds-forklift-engines/>.

Tips for Choosing The Right Forklift for the Job. Mac Allister Rental. Viitattu 10.5.2023. Saatavilla: <https://www.macallisterrentals.com/tips-choosing-right-forklift/>.

Townsend, A., Gouws, R. 2022. A comparative review of lead-acid, Lithium-ion and Ultra-capacitor technologies and their degradation mechanisms. MPDI. Viitattu 5.2.2023. saatavilla: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/13/4930>.

Turner, M. 2021. Electric vs. Gas or Diesel Forklifts: Which One is Right for the Job? TCM. Julkaistu 10.3.2021. Viitattu 10.5.2023. Saatavilla: <https://www.tcm.eu/blog/electric-vs.-gas-or-diesel-forklifts-which-one-is-right-for-the-job>.

Understanding Different Forklift Types and Their Applications. 2023. Viitattu 10.5.2023. Saatavilla: <https://www.toyotaforklift.com/resource-library/material-handling-solutions/products/forklift-types-and-classes>.

Valio, Johanna. 2018. Tulevaisuuden akkuekosysteemi. Verkkoaineisto. Sitra. Julkaistu 15.6.2018. Viitattu 10.5.2023. Saatavilla: <https://www.sitra.fi/blogit/akut-tehokayttoon/>.

Vehkalahti, K. 2014. Kyselytutkimuksen mittarit ja menetelmät. 2.p. Helsinki: Finn Lektura.

Vesa Linja-Aho, 2022. Litiumioniakkuteknikka. 1.p. Tervakoski: Suomen Autoteknillinen liitto ry.

Wollenhaupt, G. 2021. Supply Chain Dive. Julkaistu 12.10.2021. Viitattu 2.2.2023. Saatavilla: <https://www.supplychaindive.com/news/electric-forklifts-material-handling-warehouse/606823/>.

Worrel, E., Reuter, M. 2014. Handbook of recycling: State of the art for practitioners, analysts, and scientists. Englanti. Elsevier Science Publishing Co Inc. Viitattu 14.12.2022. saatavilla https://www.researchgate.net/publication/291960495_Handbook_of_Recycling_State-of-the-art_for_Practitioners_Analysts_and_Scientists_table_of_contents.

Xiao, M. 2022. The Forklift Truck Market Now and Moving Forward. Interact Analysis. Viitattu 29.12.2022. Saatavilla: <https://www.interactanalysis.com/the-forklift-truck-market-now-and-moving-forward/>

Liitteet

Liite 1. Saatekirje Liedon postiterminaalien työntekijöille

Moi,

Vierailin terminaalissanne 10.pv perjantaina katselemassa ja kuuntelemassa litiumtrukkeja ja kokemuksianne niistä. Osan teistä tapasinkin, ja sain kuulla tärkeitä seikkoja koskien trukkeja, akkuja ja latureita sekä sitä, kuinka ne ovat palvelleet töissänne.

Meillä on Kotkassa ollut testikäytössä muutamia sähkötrukkeja, ja tällä hetkellä testaamme Lindeä. Meillä taakat ovat suuremmat, ja tähän saakka käytössä ovatkin olleet dieseltrukit. Nyt kuitenkin sähköä testataan paitsi oman yhtiön, myös asiakkaan toiveesta. Vahinko on, ettemme yrityksistä huolimatta saaneet litiumakkua testiin, vaan kaikki trukit ovat olleet lyijyakulla. Tästä syystä halusin tulla piipahtamaan pisteessänne, kun kuulin, että teillä on ollut käytössä litiumakut vuoden 2020 alusta saakka.

Teen samalla myös opinnäytetyötäni tästä samaisesta aiheesta, ja siksi tarvitsenkin vielä hieman apuasi...

Liitteenä on kysely, johon toivon sinun vastaavan parhaan tietosi ja kokemuksesi mukaisesti.

Kuten sanottu, meillä ei ole mahdollisuutta litiumia testata, ja siksi kaipailenkin vielä näin kyselyn muodossa kokemuksiasi ja näkemyksiäsi aiheen suhteen. Kysely on kaikilta osin anonyymi – nimeäsi ei kysytä, ja tuloksia käytetään ainoastaan Kotkan testien tueksi ja opinnäytetyön materiaaliksi.

Pyrin tekemään kyselystä ”helpon ja nopean”. Mahdollisuus on vastata myös ”vapaalla sanalla”. Jokaisen kysymyksen/väittämän jälkeen on pari vapaata riviä kommentillesi. Olisin kiitollinen myös kommenteista, tarkennuksista ja mielipiteistä, mikäli jotain tärkeää (tai vähemmän tärkeää) aiheen suhteen tulee mieleesi. Lopussa kysyn myös erikseen: ”mitä ei kysytty?”. Toivon sinun kertovan. Suuret kiitokset ajastasi.

Benka Olsson

Operatiivinen Päällikkö, Kotka

Liite 2. Kyselylomake Liedon postiterminaalin työntekijöille

1. Väitteitä litiumakun lataamisesta ja virran riittävydestä

Pitääkö seuraava väite mielestäsi paikkansa koskien litiumakkua normaalilla laturilla?

	Kyllä	Ei
" jopa 40-50% varausta lisää ladatessa 30min ruokatunnin ajan "	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
" noin 15-20% varausta lisää ladatessa n. 15min kahvitauon ajan "	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
" virta ei pääse loppumaan 3-vuorotyössä missään vaiheessa, jos vain muistetaan laittaa aina lataukseen taukojen aikana "	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Kommentteja _____

2. Kysymyksiä lyijyakun huoltotoimista ja niihin käytetystä ajasta

Ympyröi mielestäsi sopivin seuraavista vaihtoehdoista a,b tai c

Lyijyakun vaihto ja vesitys piti/pitää suorittaa...

- a) kertaalleen työvuoron aikana
- b) kertaalleen kahden työvuoron aikana
- c) kertaalleen vuorokauden aikana

Kommentteja _____

Tämä toimenpide (akun vaihto + vesitys) otti aikaa...

- a) 5-10 minuuttia
10-15 minuuttia
- b) 15-20 minuuttia
- c) 15 minuuttia tai enemmän

Kommentteja _____

3. Oletko samaa, vai eri mieltä seuraavien väitteiden kanssa? Perustele lyhyesti

" litiumakullinen trukki on tehokkaampi työssä kuin lyijyakullinen "

Samaa mieltä	Jokseenkin samaa	En osaa sanoa	Jokseenkin eri mieltä	Täysin eri mieltä
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

" litiumtrukin liikkeet ovat kaikilta osin ripeämmät kuin lyijyllisen"

Samaa mieltä	Jokseenkin samaa	En osaa sanoa	Jokseenkin eri mieltä	Täysin eri mieltä
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

" litiumtrukki pystyy tarkempaan työskentelyyn kuin lyijyakullinen"

Samaa mieltä	Jokseenkin samaa	En osaa sanoa	Jokseenkin eri mieltä	Täysin eri mieltä
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

" litiumakut latautuvat ja kestävät samalla tavoin kuin uutenakin "

Samaa mieltä	Jokseenkin samaa	En osaa sanoa	Jokseenkin eri mieltä	Täysin eri mieltä
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

" lämpötilalla ei ole merkitystä LITIUMakun keston tai tehon suhteen "

Samaa mieltä	Jokseenkin samaa	En osaa sanoa	Jokseenkin eri mieltä	Täysin eri mieltä
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

" lämpötilalla ei ole merkitystä LYIJYakun keston tai tehon suhteen "

Samaa mieltä	Jokseenkin samaa	En osaa sanoa	Jokseenkin eri mieltä	Täysin eri mieltä
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

" LITIUMakku säilyttää tehokkuutensa täysimääräisenä ja tasaisena aina siihen saakka kunnes varaus on hyvin alhainen, ja kone on vietävä lataukseen "

Samaa mieltä	Jokseenkin samaa	En osaa sanoa	Jokseenkin eri mieltä	Täysin eri mieltä
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

" LYIJYakku säilyttää tehokkuutensa täysimääräisenä ja tasaisena aina siihen saakka kunnes varaus on hyvin alhainen, ja kone on vietävä lataukseen "

Samaa mieltä	Jokseenkin samaa	En osaa sanoa	Jokseenkin eri mieltä	Täysin eri mieltä
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

mieltä	samaa	sanoa	eri mieltä	mieltä
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

4. Vielä muutama kyllä/ei -kysymys lyijyakuista/-trukeista

Jos "joku" hoitaisi puolestasi lyijyakun vaihdot, vesitykset yms huoltotoimet, ajaisitko mieluummin lyijyakullisella trukilla

Kyllä	Ei
<input type="text"/>	<input type="text"/>

miksi?

Jos joutuisitkin huolehtimaan nämä huoltotoimet itse, MUTTA ne onnistuisivat AINA alle 10min., ajaisitko mieluummin lyijyakullisella?

Kyllä	Ei
<input type="text"/>	<input type="text"/>

miksi?

Jos lyijyakku on ladattu täyteen, riittääkö virta koko vuoron työskentelyyn?

Kyllä	Ei
<input type="text"/>	<input type="text"/>

Entä kahden peräkkäisen vuoron työskentelyyn?

Kyllä	Ei
<input type="text"/>	<input type="text"/>

Lopuksi,

Mikä on mielestäsi merkittävin muutos uudehkojen litium-akullisten trukkien suhteen aiempiin trukkeihin verraten? Voit mainita useammankin...

Mitä minulta unohtui kysyä? Mitä ei käsitelty? Mitä en tullut ajatelleeksi?
Onko jotain mitä olisi hyvä tietää? Heräsikö jotain ajatuksia? Kerro ihmeessä!

Liite 3. Haastattelurunko 28.10.2022

Haastattelurunko 28.10.2022

Osallistujat; Benka Olsson, Operatiivinen Päällikkö, Suomen Transval Oy

Juha Pärssinen, Kalustopäällikkö, Suomen Transval Oy

Tomi Alén, Vaihtokonepäällikkö, Trukit ja sisälogistiikka, Wihuri Oy Tekninen kauppa

1. Arvio, millainen osuus yli 2tn kantavuuden trukeista saa käyttövoimansa sähköstä?
2. Onko suhde muuttunut viime vuosina?
3. Jos kyllä, mitkä ovat mahdolliset syyt?
4. Hankinta-, ja käyttökustannustaso diesel- vs. sähkötrukit?
5. Lyijyakkutekniikan ja litiumakkutekniikan tuntuvimmat eroavaisuudet käytännössä?
6. Dieselistä sähköön siirtymisen ”muut kulut”? Onko sellaisia, jos kyllä, mitä?
7. Huolto- ja korjauskustannusten suhde verraten diesel- ja sähkötrukit?
8. Kuinka sähkötrukkien tekniikka ja osuus kehittynyt viime vuosina?
9. Tuleeko sähkö yleistymään edelleen vauhdilla, vai onko mahd. haasteita nähtävillä?
10. Jos kyllä, millaisia/miksi?

Liite 4. Haastattelurunko 10.2.2023

Osallistujat; Benka Olsson, Operatiivinen Päälikkö, Suomen Transval Oy

Marko Korhonen, Työnjohtaja, Suomen Transval Oy

1. Konekanta nykyisin? Mistä lähtien?
2. Konekanta aiemmin?
3. Henkilöstön koko ja vuorojärjestelmä?
4. Millainen osuus henkilöstöstä tuntee myös aiemmin käytössä olleet koneet?
5. Työn kuva, -intensiivisyys? Vuorokohtaisia eroja?
6. Kuinka koneita ladataan? Montako laturia?
7. Kuinka aiemmin ladattiin? akkujen määrä?
8. Koneiden kantavuus ja taakkojen pääasiallinen suuruus?
9. Näkyykö konekaluston muutos työn tehokkuudessa?
10. Onko huoltojen/korjausten suhteen tapahtunut muutosta konekaluston muutoksen myötä?
11. Onko kiinteistön sähköverkkoon tarvinnut tehdä päivityksiä? Jos kyllä, millaisia?
12. Lämpötilaolosuhteet terminaalissa/työskentelyssä?
13. Kuinka nopeaa on nykyinen lataus?
14. Kuinka usein aiemmin tuli akun vaihto suorittaa? Kauanko vei aikaa?
15. Onko itse trukeissa huomattavaa tehokkuuseroa verraten aiempiin?

Liite 5. Haastattelurunko 20.3.2023

Osallistujat; Benka Olsson, Operatiivinen Päällikkö, Suomen Transval Oy

Arttu Pentikäinen, Head of District, Suomen Transval Oy

Juha Pärssinen, Kalustopäällikkö, Suomen Transval Oy

Tomi Alén, Vaihtokonepäällikkö, Trukit ja sisälogistiikka, Wihuri Oy Tekninen kauppa

1. Uusien trukkien hinnasto Diesel / Sähkö (litium) Kotkan pisteeseen soveltuvin varustein?
2. Paljonko on huolto- ja korjauskustannusten ero edellä mainittujen trukkien osalta?
3. Arvio toimitusajasta, mikäli tilattaisiin Kotkaan uudet sähkötrukit?
4. Onko Lindellä laskureita/analyysejä voimanlähteen valinnan tueksi?
5. Onko Lindellä laskureita kustannusten laskennan tueksi?
6. Mitkä ovat suurimmat haasteet ajatellen työskentelyä lyijyakuin Kotkassa?
7. Mitkä ovat lyijyakkujen kehittyneemmät versiot? Kuinka eroavat perinteisestä?
8. Onko huippunopeuden suhteen parannusta luvassa uusien sähkömallien osalta?
9. Onko omapaino vastaavalla tasolla uusissa sähkömalleissa testissä olleeseen verraten?