



Trukkikaluston sähköistämisen ekologiset ja ekonomiset hyödyt

Case Stora Enso

Jethro Vilhola

Opinnäytetyö, AMK

Huhtikuu 2025

Insinööri (AMK), logistiikka

Vilhola, Jethro

Trukkikaluston sähköistämisen ekologiset ja ekonomiset hyödyt.

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Huhtikuu 2025, 65 sivua

Logistiikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Opinnäytetyö toteutettiin toimeksiantona Stora Enso Oyj:n kuluttajakartontia valmistavalle Imatran Tehtaille. Nykypäivänä teollisuudessa kiinnitetään huomiota kestävään kehitykseen ja vastuullisuuteen, mikä näkyy myös yritysten päivittäisissä prosesseissa. Tällaisia prosesseja ovat esimerkiksi erilaiset logistiset tavaroiden siirtelyyn liittyvät toiminnot, joissa käytetään erilaisia apuvälineitä. Yrityksessä haluttiin selvittää, onko nykypäivänä mahdollista sähköistää raskaita kuormia käsitteleviä ja ympäri vuorokauden toimivia trukkeja. Opinnäytetyön tehtävänä oli selvittää tuotevarastojen polttomoottoritrukkikaluston sähköistämisen tuomia mahdollisuuksia tutkimalla erilaisia nykypäivän akkuteknologioita. Tavoitteena oli luoda selvitys trukikaluston sähköistäminen mahdollisuudesta sekä tuoda esille minkälaiset kustannus- ja päästöhyötyjä sähköisillä trukeilla voidaan saada.

Tutkimus toteutettiin tapauskohtaisena tutkimuksena hyödyntäen kvalitatiivisia ja kvantitatiivisia tutkimusmenetelmiä. Aineistoa kerättiin haastatteluiden ja kyselyn avulla. Haastateltavana oli toimeksiantajayrityksen logistiikan toimihenkilöitä ja kysely kohdistettiin tuotevarastojen työntekijöille. Haastattelut pidettiin puolistrukturoituneina teemahaastatteluina. Teoria koostui kirjallisuudesta, artikkeleista, lainsäädännöstä ja tieteellisistä julkaisuista. Teoriaa käytettiin tukemaan johtopäätöksiä.

Tutkimuksen tuloksena trukeille määritettiin käyttökustannusrakenne ja selvitys siitä, kuinka suuri osa trukeista voidaan sähköistää kannattavasti. Tutkimuksessa selvitettiin taloudellisen näkökulman lisäksi trukkien sähköistämisen vaikutuksia päästöihin. Haastattelujen perusteella syntyi mielikuva siitä, että sähköistäminen ei ole mahdollista nykyisillä vaihtoehdoilla. Toimeksiantajayrityksessä oli aiemmin kokeiltu lyijyakullisia trukkeja, mutta lyijyakullisten trukkien vaatiman akun latauksen takia kokeilua ei jatkettu. Johtopäätöksenä voidaan perustellusti väittää, että trukkilasto on mahdollista sähköistää lyijyakullisilla koneilla vara-akkuja hyödyntäen. Sähköistäminen olisi myös kustannusmielessä järkevää varsinkin sellaiselle kalustolle, jolla ajetaan tuhansia tunteja vuodessa. Muutos toisi merkittäviä käyttökustannussäästöjä yritykselle ja olisi askel kohti vihreämpää logistiikkaa.

Avainsanat (asiasanat)

trukit, akkuteknologiat, vastuullisuus, käyttökustannus

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Liitteet 3 on salassa pidettävä ja se on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon peruste on Julkisuuslain 621/1999 24§, kohta 17, yrityksen liike- tai ammatillisalaisuus. Salassapitoaika on kymmenen (10) vuotta, salassapito päättyy 1.5.2035.

Vilhola Jethro

Ecological and economical benefits of forklift fleet electrification

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, April 2025, 65 pages

Degree Programme in Logistics. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

This thesis was commissioned by Stora Enso Oyj's Imatra Mills, which is a leading manufacturer of consumer board in the world. In today's industry, sustainability and responsibility are increasingly evident. The company wanted to find out if it is possible to electrify forklifts that handle heavy loads and operate around the clock. The task was to investigate the possibilities of electrifying internal combustion engine forklifts in cardboard roll warehouses by comparing various battery technologies. The aim was to create a report on the possibility of electrifying forklifts and to highlight what kind of cost and emission benefits can be obtained.

The research was carried out as a case study using qualitative and quantitative research methods. The data was collected through interviews and a survey. The interviewees were the company's logistics professionals, and the survey was aimed at employees working in companies warehouses. The interviews were held as semi-structured theme interviews. The theory consisted of literature, articles, legislation and scientific publications.

As a result, operating cost structure was determined for forklifts and an analysis was made of how large a proportion of forklifts could be electrified profitably and how large savings could be achieved both financially and in terms of emissions. Based on the interviews, the impression was created that electrification was not possible with the current battery options. The conclusion was that it was possible to electrify forklift fleets by utilizing backup batteries in lead acid technology. In addition, it would make sense to electrify some of the current fleet, as electrification would bring significant operating cost savings to the company and would be a step towards greener logistics.

Keywords/tags (subjects)

forklifts, battery technologies, sustainability, operating costs

Miscellaneous (Confidential information)

Appendix 4 is confidential and removed from the public thesis. The basis for secrecy is section 24(17) of the Act of Openness of Government Activities (621/1999), a company's business or trade secret. The period of secrecy is ten (10) years, the secrecy will end on 1st of May 2035

Sisältö

1	Johdanto	4
1.1	Opinnäytetyön tausta, tavoitteet ja rajaukset.....	4
1.2	Stora Enso ja Imatran Tehtaat.....	6
2	Katsaus tutkimusmenetelmiin.....	8
2.1	Kvantitatiivinen tutkimus	8
2.2	Kvalitatiivinen tutkimus.....	8
2.3	Validiteetti ja reliabiliteetti	9
2.4	Aineistonkeruumenetelmiä & data.....	10
3	Työkoneiden kehitys.....	12
3.1	Trukkien historiaa.....	12
3.2	Sähköistäminen	12
3.3	Akkuteknologiat	14
3.3.1	Lyijyakku.....	14
3.3.2	Litium-ioniakku	16
3.3.3	Vetytrukki.....	17
4	Vastuullinen logistiikka.....	21
4.1	Vihreää varastointia	22
4.2	Työympäristö.....	24
4.3	Melusaaste	24
4.4	Akkujen turvallisuus	25
5	Trukkikaluston hankinnan taloudelliset näkökohdat	27
5.1	Hankintaprosessi ja kannattavuus	27
5.2	Ostaminen vai vuokraaminen	27
5.3	Investointilaskenta	28
5.3.1	Hankintameno & nettokäyttöpääoma	29
5.3.2	Vuotuiset nettokassavirrat & jäännösarvo	29
5.3.3	Investoinnin pitoaika	30
5.4	Laskentamenetelmät.....	30
5.4.1	Takaisinmaksuaika & laskennallinen pääomantuotto.....	30
5.4.2	Sisäinen korkokanta & nykyarvomenetelmä.....	31
5.5	Kokonaiskustannusanalyysi.....	31
6	Aineiston keruu ja analysointi.....	35
6.1	Haastattelut.....	35

6.2	Kysely ja dokumentit	36
7	Tutkimuksen tulokset	38
7.1	Logistiikkapäällikön haastattelu	38
7.2	Logistiikkainsinöörin haastattelu	40
7.3	Kysely ja dokumentit	41
8	Johtopäätökset.....	43
8.1	Voidaanko trukkikalustoa sähköistää kokonaan tai osittain?.....	43
8.1.1	Työaika	43
8.1.2	Käyttövoimat	44
8.2	Millä tavalla sähkötrukkien vastuullisuus eroaa dieseltrukeista?.....	46
8.2.1	Päästöt	46
8.2.2	Melu	48
8.2.3	Terveys ja hyvinvointi	49
8.3	Onko sähköistäminen taloudellisesti kannattavaa?	50
8.3.1	5 tonnin trukit	50
8.3.2	8 tonnin trukit	51
9	Pohdinta.....	54
9.1	Opinnäytetyön merkitys.....	54
9.2	Luotettavuus	55
9.3	Eettisyys.....	55
Lähteet	57
Liitteet	62
	Liite 1. Ensimmäisen haastattelun teema ja kysymykset	62
	Liite 2 Toisen haastattelun teema ja kysymykset	63
	Liite 3. Kustannustiedot ja laskelmat (salassa pidettävä)	64
	Liite 4. Kysely työntekijöille.....	65
Kuviot		
	Kuvio 1. Akun sisältämän energiamäärän laskukaava	14
	Kuvio 2. Lyijyakun rakenne	15
	Kuvio 3. Litiumioniakun kennorakenne	16
	Kuvio 4. Vetyakun toimintaperiaate	18
	Kuvio 5. Polttokennotrukkien ja akkutrukkien kustannukset vuosittain	19
	Kuvio 6. Trukkien päästövertailua.....	23
	Kuvio 7. Lämpöryntäyksen aiheuttajat ja vaarat	26

Kuvio 8. Hankintaprosessi	27
Kuvio 9. Sisäisen korkokannan menetelmä	31
Kuvio 10. Trukkien elinkaarikustannuksia.....	33
Kuvio 11. Trukkien vaatimuksia	39
Kuvio 12. Työntekijöiden oireita trukkien melusta.....	41
Kuvio 13. Melun vaikutusta työympäristöön	41
Kuvio 14. Työntekijöiden kokemuksia tärinästä	42
Kuvio 15. 5 tonnin trukin päästöt vuosittain	46
Kuvio 16. 8 tonnin trukin päästöt vuosittain	47
Kuvio 17. Desibeliskaala.....	49
Kuvio 18. 5 tonnin dieseltrukin kustannusrakenne	50
Kuvio 19. 5 tonnin sähkötrukin kustannusrakenne	51
Kuvio 20. 8 tonnin dieseltrukin kustannusrakenne	52
Kuvio 21. 8 tonnin sähkötrukin kustannusrakenne	52
Kuvio 22. Sähköistämisen kustannusvaikutus	53

Taulukot

Taulukko 1. Tutkimussuunnitelma	6
Taulukko 2. Tietovarastotaulukko.....	37
Taulukko 3. Käyttövoimavertailu	44
Taulukko 4. Trukkien CO ₂ - päästöt.....	48

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön tausta, tavoitteet ja rajaukset

Logistisissa prosesseissa käytetään yleensä paljon erilaisia työkoneita ja apuvälineitä materiaalin siirtämiseen. Työkoneiden kehitys on suuntaamassa entistä enemmän sähköisempiä ratkaisuja kohti. Globaalisti kehitystä ohjaa ilmaston ja terveyteen vaikuttavat päästöt, minkä lisäksi työtä optimoitaessa turvallisuus ja automaatio ovat tulevaisuudessa keskeisessä osassa kehitystä. Työkoneiden sähköistäminen ja vihreä siirtymää mullistaa aloja perusteellisesti, sillä työkoneista tulee muutoksen kautta entistä turvallisempia, ympäristöystävällisempiä ja suorituskykyisempiä. (Työkoneiden tulevaisuuden kehitystä ohjaavat ilmastovaikutukset ja turvallisuus n.d.)

Sähköistämisellä yritysten tavoitteena on vähentää hiilijalanjälkeä ja pysymään mukana alati muuttuvassa maailmassa kilpailukykyisenä. Sähköisiä teknologioita kehitetään jatkuvasti tehokkaammiksi ja puhtaammiksi, jolloin on väistämätöntä, että ne tulevat ohittamaan kehityksessä fossiililla polttoaineilla toimivat työkoneet. Päästöjen vähentäminen ei ole pelkästään ympäristön kannalta välttämätöntä, sillä pakokaasupäästöjen vähentäminen erityisesti sisätiloissa on tärkeää myös työntekijöiden terveyden näkökulmasta. Tämän lisäksi sähköiset työkoneet tuovat turvallisuutta työympäristöön ja ne voivat olla pitkällä aikavälillä yrityksille kustannustehokkaampi ratkaisu, kuin fossiililla polttoaineilla toimivat koneet sähkön edullisuuden ansiosta.

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin kohdeyrityksen trukkikalustoa. Yrityksellä on tarve selvittää dieseltrukkien sähköistämisen mahdollisuuksista, kannattavuudesta ja vastuullisuuden hyödyistä. Opinnäytetyössä selvitettiin, onko mahdollista korvata käytössä olevia dieseltrukkeja kokonaan tai osittain vaihtoehtoisilla trukeilla ja kantaa otettiin myös vaihtoakkujen soveltamiseen. Vastuullisuutta tutkittiin niin ympäristön, kuin työntekijöiden näkökulmasta. Tutkimuksessa selvitettiin miten trukkien päästöt vaikuttavat työhyvinvointiin, työympäristöön ja ympäristön kuormitukseen. Kannattavuutta arviotiin vertailemalla sähköisten ja dieseltrukkien kokonaiskäyttökustannuksia. Vertailussa oli yrityksen käyttämät dieseltrukit ja niitä vastaavat saman toimittajan sähköiset versiot.

Opinnäytetyölle asetettiin seuraavat tutkimuskysymykset:

1. Onko trukkien sähköistäminen mahdollista kokonaan tai osittain?
2. Millä tavoilla sähkötrukkien käytön vastuullisuus eroaa dieseltrukeista?
3. Onko sähköistäminen taloudellisesti kannattavaa?

Työn tavoitteena oli saada näihin tutkimuskysymyksiin vastaukset laadullista ja määrällistä tutkimusta soveltaen. Sähkötrukkien soveltuvuutta työhön selvitettiin haastattelemalla Imatran Tehtaiden logistiikan toimihenkilöitä trukkien ja työn vaatimuksista. Vastuullisuutta tutkittiin henkilöstökyselyillä trukkien päästöjen vaikutuksista terveyteen ja työympäristöön, sekä haastattelemalla tehtaan logistiikkainsinööriä trukkien päästöistä. Tutkimuksen kannalta oleelliset tekniset tiedot saatiin toimittajan tuotekatalogista ja pyrittiin saamaan lisätietoa mahdollisista kustannuksista. Kannattavuutta selvitettiin haastattelemalla toimeksiantaja yrityksen logistiikkainsinööriä, jotta saatiin selville trukkien kustannuksia. Tutkimuksen tueksi käytettiin paljon alan kirjallisuutta ja muuta teoriatietoa.

Yrityksellä on käytössään vastapainotrukkeja, joiden vaihtaminen toiseen trukkityyppiin ei ole tämän tutkimuksen aiheena. Tutkimuksessa ei myöskään selvitetä akkujen valmistamisen vastuullisuuteen, jotta tämä tutkimus on mahdollista toteuttaa sille varatussa aikataulussa. Taloudellisessa kannattavuudessa tutkitaan kokonaiskäyttökustannuksia käyttövoimien välillä, keskittymällä trukkien käyttökustannusanalyysiin. Lataushuoneisiin ja sähköinfrastruktuuriin investointia ei tutkita tässä opinnäytetyössä, aiheen laajuuden vuoksi. Tutkimuksen tehtävänä on selvittää trukkien käyttökustannuksia, joten investointiin liittyvät johtopäätökset jätetään tutkimuksen ulkopuolelle.

Taulukko 1. Tutkimussuunnitelma

Tutkimuskysymys	Tutkimusmenetelmä	Tutkimustulos
Onko trukikaluston sähköistäminen mahdollista osittain tai kokonaan?	Haastatellaan toimeksiantaja yrityksen logistiikkapäällikköä	Saadaan selville trukkien vaatimukset, jolloin voidaan vertailla markkinoilla olevia vaihtoehtoja
Millä tavoilla sähkötrukkien käytön vastuullisuus eroaa dieseltrukeista?	Haastatellaan toimeksiantaja yrityksen logistiikkainsinööriä, kirjallisuuskatsaus teoriaan sekä laaditaan ja toteutetaan työntekijöille kysely	Saadaan tietoa dieseltrukkien päästöistä, sekä mahdollisista vaikutuksista työntekijöiden terveyteen
Onko sähköistäminen taloudellisesti kannattavaa?	Haastatellaan toimeksiantaja yrityksen logistiikkainsinööriä, tutkitaan kirjallisuutta trukkien kustannuksista	Saadaan tieto nykyisten trukkien kustannuksista, sekä sähköisten vaihtoehtojen hinnoista, jonka avulla voidaan laskea mahdollisia kustannussäästöjä

1.2 Stora Enso ja Imatran Tehtaat

Työn toimeksiantajana on vuonna 1935 perustettu Stora Enson Imatran Tehtaat. Tehdas kuuluu Stora Enson Packaging Materials- divisioonaan ja on yksi maailman suurimmista kuluttajakartonki tehtaista. Imatran tehtaat kuuluvat suomalais-ruotsalaiseen metsäteollisuusyrittäjä Stora Enson

konserniin. Imatran Tehtailta yli 90 % tuotannosta viedään ulkomaille kuten Eurooppaan ja Kaakkois-Aasiaan. (Imatran Tehtaat n.d.)

Imatran Tehtaat koostuvat Kaukopään ja Tainiokosken tuotantoyksiköistä, joiden tuotantokapasiteetti vuodessa on 1 200 000 tonnia kartonkia ja 1 300 000 tonnia sellua. (Imatran Tehtaat n.d.) Imatran tehtailla on toiminnassa neljä kartonkikonetta, neljä päällystyskonetta, neljä kuidun valmistuslinjaa ja yksi paperikone. Tuotantomäärät ovat suuria, esimerkiksi yksi kartonkikone tekee tunnin aikana 1,3 miljoonan maitopurkin edestä kartonkia. Tehdas työllistää noin 1000 vakituista työntekijää. (Maailman johtava nestepakkauskartongin valmistaja tulee Imatralta 2023.)

Nykypäivänä varsinkin vastuullisuus ja energiatehokkuus on suurena osana Stora Enson toimintaa. Tavoitteena on vähentää Scope 1&2 päästöjä 50 % ja Scope 3 päästöjä 50 % vuoteen 2030 mennessä. Tavoitteena on että hiilidioksidipäästöjen nettosumma on nollassa vuoteen 2040 mennessä. Stora Enson yksi kolmesta keskittymiskohteesta näiden tavoitteiden saavuttamiseksi on energia- ja resurssitehokkuus, sekä hiilidioksidi intensiteetin vähentäminen yrityksen operaatioissa ja arvoketjussa. Energiatehokkuuden varmistamiseksi Stora Ensolla on käytössä ISO standardin 50001 mukainen energian hallintajärjestelmä. (Combating Climate Change n.d.) Tästä syystä opinäytetyön aihe on yritykselle varsin ajankohtainen ja tärkeä.

2 Katsaus tutkimusmenetelmiin

2.1 Kvantitatiivinen tutkimus

Kvantitatiivinen, eli määrällinen tutkimus tarkoittaa tutkimusta, jonka avulla selvitetään lukumääriin ja prosenttiosuuksiin liittyviä kysymyksiä. Tämä edellyttää tarpeeksi suurta ja edustavaa otosta. Aineistoa kerätään standardoituilla tutkimuslomakkeilla, jossa vastausvaihtoehdot on annettu valmiiksi. (Heikkilä 2014, 15.) Kvantitatiiviselle tutkimukselle on ominaista, että se nojautuu aiempien tutkimuksien johtopäätöksiin ja teoriaan. Tutkija aloittaa luomalla käsitteet ja hypoteesit tutkimukselle. Aineiston keruuta varten tarvitaan tarkka suunnitelma, jotta varmistetaan että aineisto soveltuu määrälliseen mittaamiseen. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2009, 140–141.)

Kvantitatiiviseen tutkimukseen täytyy määrittää perusjoukko, johon tulosten tulee päteä. Määrittelystä perusjoukosta otetaan otos, eli osa perusjoukosta, jonka valinta vaatii usein kompromissia käytettävissä olevien resurssien välillä. Otokokoa määrittäessä ratkaiseva tekijä ei ole perusjoukon suuruus, vaan otoskoolla määritetään, tehdäänkö kokonaistutkimus vai otantatutkimus. Kokonaistutkimus tehdään, jos otoskoko on yli puolet perusjoukosta ja otantatutkimus tehdään, jos otoskoko on kolmasosa perusjoukosta. Mitä suurempi perusjoukko on, sitä enemmän voidaan suhteellista osuutta otoksena pienentää luotettavien tietojen saamiseksi. Jos otos on pieni osa perusjoukosta, estimoinnin tarkkuuteen vaikuttaa vain otoskoko ja perusjoukon hajonta. (Heikkilä 2014, 42.)

2.2 Kvalitatiivinen tutkimus

Kvalitatiivisen ja kvantitatiivisen tutkimuksen eroja on pohdittu jo kauan. Näiden lähestymistapojen tyypillisiä piirteitä on verrattu monella eri tavoilla. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2009.) Alasuutari (2012) esittää, että lähestymistapojen kaksijako on houkuttelevaa, mutta todellisuudessa vastaa huonosti todellisuutta. Sekä Hirsjärvi ja muut (2009, 135), että Alasuutari (2012) yhtyvät siihen, että kvalitatiivinen ja kvantitatiivinen lähestymistavat ovat jatkumo kahden tutkimuksen kesken ja usein niitä sovelletaan rinnakkain samassa tutkimuksessa.

Kvalitatiivisella tutkimuksella pyritään kuvaamaan todellista elämää, jossa kohdetta tutkitaan mahdollisimman kokonaisvaltaisesti. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa pyritään löytämään tai paljastamaan asioita, verrattuna kvantitatiiviseen tutkimukseen, jossa todistetaan olemassa olevia väitteitä. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa tuodaan esiin tietoa, jonka aineisto perustuu todellisiin ja luonnollisiin tilanteisiin. Tutkijan omat havainnot ja keskustelut ovat avainasemassa tiedon ke-ruussa. Tutkimuksen tarkoituksena ei ole testata teoriaa tai hypoteeseja, vaan aineistoa tarkastellaan monitahoisesti ja yksityiskohtaisesti. Aineiston hankinnassa pyritään käyttämään tutkimusme- todeja, joissa tutkittavien näkökulmat pääsevät esiin, kuten haastatteluita. (Hirsjärvi ym. 2009, 134.)

2.3 Validiteetti ja reliabiliteetti

Tutkimuksen tulee mitata sitä, mitä alun perin haluttiin selvittää. Tutkijan tulisi asettaa tarkat ta-voitteet tutkimukselle, jotta tutkimuksessa ei tutkittaisi. Tutkimuksen validiteetilla tarkoitetaan sitä, että mittaako mittari sitä, mitä sen halutaan mitattavan tai systemaattisen virheen puuttu- mista. Mittari on validi, kun se mittaa sitä mitä sen kuuluukin mitata, jolloin myös tuloksia voidaan pitää luotettavina. Mittaustuloksien validiteetti heikkenee, jos käsitteitä ja muuttujia ei ole määri- teltä tarkasti. Tutkimuksen validiteetti nousee, kun perusjoukko on tarkasti määrittely, saatu otos on edustava ja vastausprosentti on korkea. Esimerkiksi jos tutkitaan varastotyöntekijöiden altistu- misiä trukkien pakokaasuille ei voida tutkia sellaisia varastoja, joissa on käytössä sähköiset trukit, koska päästöjä ei ole. Virheellinen tutkimusasetelma vaikuttaa koko tutkimuksen validiteettiin. (Mittaaminen: Mittarin luotettavuus n.d.)

Reliabiliteetti tarkoittaa tulosten tarkkuutta ja sitä, että jos tutkimus toteutettaisiin useasti, mitat- taisiin tutkimuksessa aina samaa asiaa.. Tieteellisiä tuloksia ei voida yleistää niiden pätevyysalueen ulkopuolelle, sillä tutkimuksen tulokset ei välttämättä pidä paikkansa toisena aikana tai erilaisessa yhteiskunnassa. Tutkijan täytyy olla tarkka ja kriittinen, sekä tunnistaa erilaiset tutkimuksen luotet- tavuuteen vaikuttavat tekijät, kuten otoskoko. Otoksoon ollessa pieni, tulokset ovat sattumanva- raisia. Kyselyissä tulee ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa poistuma, eli kato, jolla tarkoitetaan lomakkeen palauttamatta jättäneiden määrää. Jotta tuloksesta saadaan luotettava, tulisi varmis- taa, että otosryhmä ei ole vino, vaan että se edustaa koko perusjoukkoa. (Mittaaminen: Mittarin luotettavuus n.d.)

2.4 Aineistonkeruumenetelmiä & data

Tutkimukseen kerättiin primaari- ja sekundaaridataa. Primaaridatalla tarkoitetaan sellaista tietoa ja dataa, jota tutkija kerää itse erilaisilla metodeilla löytämään vastauksen tutkimuskysymykseen. Sekundaaridata puolestaan tarkoittaa jo kerättyä, olemassa olevaa dataa. Primaaridatan hyötyjä ovat sen tarkkuus, mukautuvuus ja johdonmukaisuus. Toisaalta primaaridatan kerääminen on aikaa ja resursseja vaativaa ja myös joissain tapauksissa tiedon saanti on hankalaa. (Wagh n.d; Valli 2024.)

Sekundaaridata on taas jo valmiiksi luotua ja sen saatavuus on yleensä helppoa, jolloin tutkija säästää aikaa ja resursseja. Sekundaaridataa on saatavilla useista eri lähteistä, jonka takia sen soveltuvuus on hyvin laaja. Sekundaaridata on usein hieman epätäydellistä tarkasteltavaan toimintoon tai prosessiin, mikä voi vaikuttaa tutkimustuloksiin. Sekundaaridatan laatuun tai keräämistapaan ei tutkija voi itse vaikuttaa ja tiedon luotettavuus on hyvin vaihtelevaa sen puutteellisuuden, vanhentumisen tai soveltumattomuuden takia. (Valli 2024.)

Laadullisen tutkimuksen keskeinen aineistonkeruumenetelmä on haastattelu (Palonen & Kylmä 2022). Haastattelun voi suorittaa avoimena, puolistrukturoituna tai strukturoituna. Avoimessa haastattelussa pyritään antamaan haastateltavalle mahdollisuus tuoda omia kokemuksiaan esiin, niin että tutkija ei vaikuta haastattelun kulkuun, käytännössä tämä on kuin vapaata keskustelua. Puolistrukturoidussa haastattelussa tuodaan esille haastateltavan asiantuntijuutta ja kokemusta, mutta haastattelun kysymykset on etukäteen mietitty. Rakenne on vapaampi ja kysymyksiä ei välttämättä esitetä samassa muodossa kuin ne on etukäteen mietitty. Strukturoitu, tai lomakehaastattelu on puolestaan rajatumpi. Haastattelun kysymykset ovat ennalta mietitty ja vastaukset ennalta rajattu. Kysymykset myös esitetään jokaiselle haastateltavalle samassa järjestyksessä, jotta ne tulkitaan aina samalla tavalla. Strukturoitu haastattelumuoto on hyvin rajoittava monimuotoisuudelle ja saadun aineiston analysointi on lähempänä määrällistä tutkimusta. Tällainen haastattelumuoto sopii hyvin, jos tutkimuksen kannalta rajatut vaihtoehdot ovat hyödyllisiä. (Näpärä 2017.)

Kysely on kvantitatiivinen tutkimusmenetelmä ja sen avulla saadaan tutkittavasta aiheesta laajasti tietoa tehokkaasti ja helposti. Kyselyn ongelmana on se, että usein vastaajat saattavat kyllästyä vastaamiseen, ymmärtää kysymykset eri tavalla tai täyttäessään voivat häiriintyä jostain. Kyselylomakkeen suunnittelu vaatii, että tutkija on perehtynyt aiheeseen, jotta tutkimusta voidaan pitää

luotettavana ja kattavana. Kyselyä myös kannattaa testata etukäteen, jotta voidaan varmistua siitä, että jokainen vastaaja ymmärtää kysymykset samalla tavalla. (Oppariapu n.d.) Kyselyssä voidaan käyttää suljettuja, sekä avoimia kysymyksiä. Suljetut kysymykset ovat sellaisia, joihin voidaan vastata vain ennalta annetuista vaihtoehdoista. Suljettuja kysymyksiä kannattaa käyttää silloin, kun kohdeyleisö ei ole kiinnostunut aiheesta, kun tarvitaan mitattavissa olevaa dataa ja kun vastaajat halutaan ryhmitellä luokkiin. Suljettuihin kysymyksiin on helpompaa vastata, koska vastauksia ei tarvitse miettiä. (Suljetut ja avoimet kysymykset n.d.)

Avoimet kysymykset puolestaan ovat tutkivia ja niistä saadaan laadullista dataa. Avoimilla kysymyksillä voi saada mielipiteitä sellaisesta aiheesta, joka ei ole entuudestaan tuttu. Tämä tarkoittaa sitä että ei saada tilastollisesti merkittävää dataa johtopäätösten tekemiseen. Avoimet kysymykset sopivat tilanteisiin, jossa haastatellaan asiantuntijaa, pienten otantojen tutkimuksiin, alustavaan tutkimukseen ja keskustelun avaamiseen. (Suljetut ja avoimet kysymykset n.d.)

3 Työkoneiden kehitys

3.1 Trukkien historiaa

Jotta voidaan tarkastella trukkien nykytilaa ja tulevaisuutta, tutkimuksessa esitellään lyhyesti trukkien kehitystä ja historiaa. Alexievin (2024) mukaan trukkien kehittäminen alkoi 1800-luvulla teollisen vallankumouksen synnyttämästä tarpeesta saada materiaalia tehokkaammin ja nopeammin liikutettua. Vuonna 1867 luotiin ensimmäinen nostamiseen ja liikuttamiseen kykenevä kone. Vuonna 1917 keksittiin hydraulinen nostin, joka osoittautui tulevaisuudessa kriittiseksi edistysaskeleeksi. (Alexiev 2024.)

Samana vuonna 1917 Eugene Clark kehitti ensimmäisen mallin vastapainotrukista. Sähkön roolia trukkien polttoaineena ajatellaan olevan uusi kehitys, mutta jo 1940-luvulla työkoneille oli tyyppilistä omistaa hybridimoottori, joka toimi polttoaineella ja sähköllä. Vuonna 1942 esiteltiin ensimmäinen akulla toimiva trucki, joka toimi yhden latauksen varassa koko työvuoron ajan. 1947-luvulla otettiin käyttöön ensimmäiset dieselillä toimivat truckit, lisäten voimaa ja nostokapasiteettia työkoneille. Viime vuosina litiumioni akustot ovat kehittäneet trukkien tehokkuutta, tuomalla paljon hyötyjä verrattuna perinteisiin virtalähteisiin. Akustot mahdollistavat nollapäästöt työkoneille sekä parempaa hyvinvointia työntekijöille ja turvallisuutta työyhteisöön (Alexiev 2024.)

3.2 Sähköistäminen

Jotta taloudessa ja yrityksissä voidaan saavuttaa haluttu tuottavuuden taso, tulee yhteiskunnan löytää sellainen energian tuottamisen muoto, joka on sekä taloudellisesti että ympäristön kannalta mahdollisimman resurssitehokasta. Teollisuudessa halutaan etsiä yhä enemmän vähähiilisiä ratkaisuja mikä usein tarkoittaa toimintojen sähköistämistä ja fossiilisten polttoaineiden vähentämistä. (Gellings 2020, 1-2; Polttokennoteknologia ja vetytruckit n.d.)

Sähköllä on potentiaalia tuoda ylivertaisesti parhaat ympäristöhyödyt verrattuna muihin energia- vaihtoehtoihin. Sähkö voi tuoda ratkaisun globaaleihin haasteisiin, kuten ilmaston lämpenemiseen, energiavarmuuteen, rajallisten resurssien käyttöön ja saatavuuteen. Sähkö sopii ainutlaatuisesti tähän, sillä sitä on saatavilla monista eri lähteistä, joista monet ovat vähän tai ei ollenkaan saastut-

tavia lähteitä, kilpailukykyiseen hintaan. Sähkön tehokkuus ja hyötysuhde loppukäytössä on korkeampaa kuin fossiilisten polttoaineiden, sillä sähkö pystyy hyödyntämään useita eri elektromagneettisen kentän osia. (Gellings 2020, 1-2.)

Sellaiset työkoneet, joita ei ole suunniteltu tieliikenteeseen ja jotka toimivat fossiilisilla polttoaineilla saastuttavat ilmastoa haitallisilla päästöillä. Päästöistä syntyy esimerkiksi typen oksideja, hiilimonoksidia ja kasvihuonekaasuja. Pakokaasupäästöt ovat haitallisia ihmisten terveydelle ja vahingoittavat ympäristöä. Sähkötrukkien avulla voidaan positiivisesti vaikuttaa työntekijöiden terveyteen ja turvallisuuteen. Esimerkiksi Yhdysvalloissa OSHA (Occupational Safe and Health Administration), vaatii, että tietyissä olosuhteissa trukkien täytyy olla sähköisiä. (Gellings 2020, 82-86.) Suomessa työntekijöiden terveyttä pyritään turvaamaan valtioneuvoston asetuksilla. Työpaikoilla tulee tunnistaa vaaroja työntekijöiden terveydelle ja niille altistuminen on pyrittävä estämään. Esimerkiksi trukin pakokaasuissa voi olla syöpävaarallisia aineita. Mikäli täydellinen estäminen ei ole mahdollista, työnantajan tulee vähentää altistuminen niin alhaiseksi kuin se on teknisesti mahdollista. (Trukkiliikennettä koskevat työturvallisuuslainsäädännön määräykset n.d.)

Pitkäaikainen altistuminen dieselpäästöille sisältäen myös ulkona tapahtuvan altistumisen on todettu epäterveelliseksi. Tutkimuksen mukaan esimerkiksi sellaisilla rautatie-, satama- ja kuljetusalan työntekijöillä, jotka altistuvat suurille määrille dieselpäästöille työuransa aikana, on 20–50 % suurempi riski sairastua keuhkosyöpään tai kuolla ennenaikaisesti. (Gellings 2020, 82-86.) Väitettä tukee myös Brewerin, Egyedin, Huangin, Lingin, Matzin ja Rouleaun tutkimus dieselpäästöjen vaikutuksesta ihmisten terveyteen. Tutkimuksessa selvisi, että krooninen tai akuutti altistuminen dieselpäästöille voi johtaa erilaisiin terveyshaittoihin, kuten hengitys- ja verenkiertojärjestelmän ongelmiin, sekä lisätä syöpäriskiä. (Brewer, Egyed, Huang, Ling, Matz ja Rouleau 2016.)

Akkukäyttöisillä trukeilla on suurin markkinaosuus kaikista ei-tiekäyttöön tarkoitetuista kulkuneuvoista. Akkukäyttöisten trukkien kehityksen ajurina on ollut terveys- ja turvallisuussäädökset, sekä toisaalta myös tehokkuuden tuomat hyödyt ja paremmat elinkaarikustannukset. Tutkimuksen mukaan sähköiset trukit ovat ylivoimaisesti parhaita sisätilakäytössä ja pienten taakkojen nostoissa. Niitä ei kuitenkaan vielä ole suosittu ulkokäytössä ja raskaitten taakkojen nostoissa, sillä niistä on muodostunut käyttäjien ja yritysten keskuudessa yleinen mielikuva, jonka mukaan trukkien käyt-

töä rajoittaisi akun kesto ja sen suorituskyky, vedenpitävyys, nopeus ja suurten taakkojen nostokyky. Viimeaikaiset teknologiset edistykset ylittävät näitä esteitä ja mahdollistavat akkukäyttöisten sähkötrukkien käyttöönoton uusilla markkinoilla. (Gellings 2020, 82-86.)

3.3 Akkuteknologiat

Sähköllä toteutettavat ratkaisut kasvattavat suosiotaan niin autoilussa kuin trukeissa. Akkujen parissa tehdään paljon jatkuvaa kehitystyötä erityisesti akkuteknologioihin liittyen. Nykyisellään trukkien sähköistämiseen on tänä päivänä kolme erilaista akkuvaihtoehtoa: lyijyakku, litiumakku tai vetytrukki polttokennoteknologialla. (A definitive list of electric fuel sources for forklifts 2023.)

Akkuihin liittyy keskeisesti energiakapasiteetti, joka saadaan laskettua kuvion 1 mukaisesti kertomalla ampeeritunnit nimelliskapasiteetilla. Esimerkiksi 48 voltin (v) 20 ampeeritunnin (ah) akun sisältämän energiamäärä lasketaan laskukaavan mukaisesti $48\text{v} \times 20\text{ah} = 960\text{Wh}$. Yksiköksi tästä laskukaavasta saadaan kilowattitunteja, eli kyseisen esimerkin akun energiakapasiteetti annetuilla arvoilla olisi siis 960 energiawattituntia. (Valkeapää 2021.)

$$\text{Kilowatt Hours} = (\text{Amt Hours} \times \text{Voltage}) / 1000$$

$$\text{Abbreviated: kWh} = (\text{Ah} \times \text{V}) / 1000$$

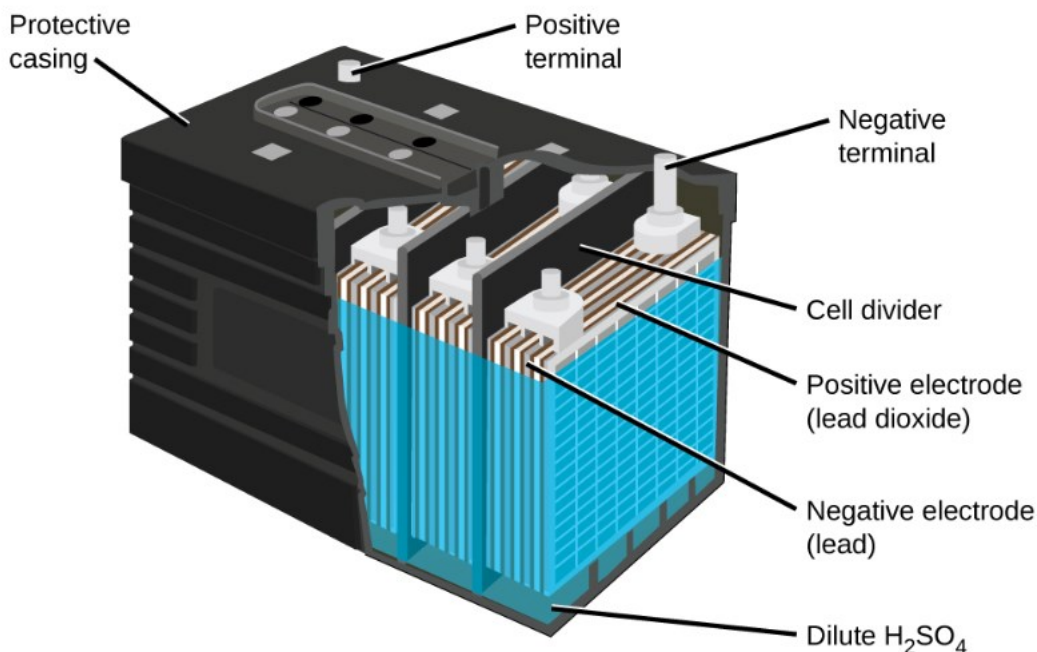
Kuvio 1. Akun sisältämän energiamäärän laskukaava

3.3.1 Lyijyakku

Ensimmäiset lyijyakut on valmistettu vuonna 1859, mutta teknologia ei kuitenkaan missään nimessä ole vanhentunut. Sitä käytetään vielä tänäkin päivänä useissa eri tarkoituksissa, kuten vaikkapa autojen käynnistysakkuina. Trukeissa lyijyakkujen hyödyt näkyvät akkujen painoissa, sillä lyijyakku toimii vastapainotrukeissa ilman erillistä lisäpainoa. Tämä on merkittävä etu, sillä esimerkiksi litiumakut ovat niin kevyitä, että raskaita taakkoja käsiteltäessä trukki saattaa tarvita lisäpainoa, jotta trukki pysyy tukevasti paikoillaan. (Linja-Aho 2022, 18.)

Lyijyakut edistävät myös yritysten ympäristövastuullisuutta, sillä ne ovat melkein kokonaan kierrätettäviä ja koska ne ovat olleet käytössä jo pitkään, on niitä varten tehty tarvittava infrastruktuuri niiden hallitsemiseen elinkaarensa lopussa. Lyijyakkujen sisältämä elektrolyytti on laimeaa rikkihappoliuosta, eli suurimmaksi osaksi vettä, mikä tekee akuista paloturvallisia. Lisäksi akuilla on yksinkertainen rakenne, jonka ansiosta niiden huoltaminen on helppoa. (mts. 18.)

Sähkötrukeissa yleisin käytetyin akkuteknologia on märkälyijyakku, jonka suosiota selittää akun edullisuus, luotettavuus ja toisaalta muiden vaihtoehtojen vähäisyys. Lyijyakuista saa energiaa luotettavasti, mikä mahdollistaa yrityksen operaatioiden sujuvuuden viiveettä ja ilman keskeytyksiä. Muihin akkuteknologioihin verrattuna lyijyakulla on alhaisin energiavolyymi sekä energian ja painon välinen suhde. Lyijyakut vaativat ennakoivaa ylläpitoa vesityksellä ja niillä on myös tiukat latausvaatimukset. Ylläpidon laiminlyönti voi johtaa akkujen eliniän laskemiseen. (Khabur 2019.) Kuviossa 2 on esitelty lyijyakun rakenne.



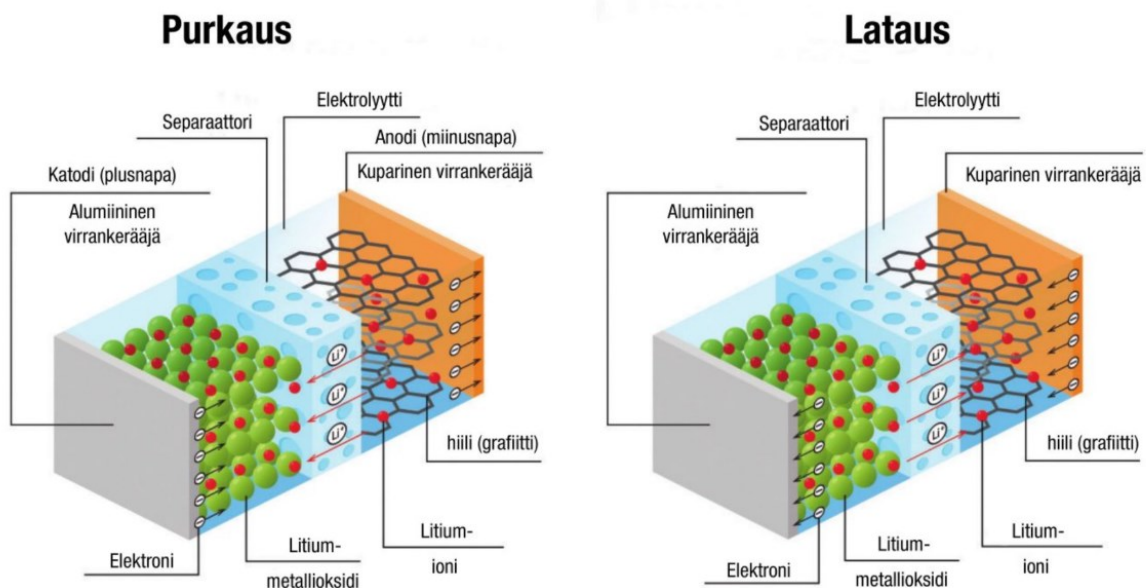
Kuvio 2. Lyijyakun rakenne (Flowers, Theopold & Langley n.d)

Lyijyakku vaatii myös erillisen lataustilan latauksessa syntyvän kemikaalin ja kaasun takia. Akun latautuminen täyteen vie aikaa noin kahdeksasta kahteentoista tuntiin ja lisäksi akun täytyy viilentyä latauksen jälkeen vielä kahdeksan tunnin ajan. Lyijyakulla on tyypillisesti noin 1500 latausykliä.

Lataussyklillä tarkoitetaan sitä, että akussa oleva varaus käytetään tyhjäksi. Lyijyakku on edullisuutensa takia ihanteellinen valinta yhden vuoron toimintaan tai sellaisille yrityksille, joilla on pieni budjetti. Monivuorotoiminnoissa täytyy turvautua vaihtoakkujen käyttöön. (Lead-acid battery trucks: Everything you need to know 2022.)

3.3.2 Litium-ioniakku

Litiumakut ovat yleistymässä trukkien virtalähteenä. Ilmiötä selittää litiumakkujen useat tekniset edut lyijyakkuihin verrattuna. Litiumakuilla on esimerkiksi suurempi energiatiheys, sillä ne ovat paljon kevyempiä ja niillä on korkeampi energiapaino suhde. Litiumakut sopivat erityisesti niihin työtehtäviin, joissa tarvitaan enemmän voimaa mutta toisaalta ilman ylimääräistä painoa. Litiumakkujen lataus on nopeampaa, tehokkaampaa ja turvallisempaa, sillä ne eivät vahingoitu, vaikka niitä ei ladattaisi kerralla täyteen. Lyijyakkujen kohdalla akut tulee aina ladata täyteen, jotta ne eivät menetä kapasiteettiaan. Litiumakut käyttävät myös lataamansa energian melkein sadan prosentin tehokkuudella verrattuna lyijyakun 85 % tehokkuuteen. Kuviossa 3 on esitelty litiumakun toimintaperiaate. Tämä voi olla erityisen tärkeää silloin, jos sähköä tuotetaan aurinkovoimalla. Tällöin kerätystä energiasta halutaan saada kaikki hyöty. Litiumakut tarvitsevat myös huomattavasti vähemmän huoltoa ja ylläpitoa verrattuna lyijyakkuihin. (Lithium-ion revolution n.d; Khabur 2019.)



Kuvio 3. Litiumioniakun kennorakenne (Vanhala 2023.)

Ajan kuluessa kaikkien akkujen maksimikapasiteetti laskee, mutta litiumakut kestävät useita kertoja enemmän lyijyakkuihin verrattuna, jolloin uutta akkua ei tarvita yhtä usein. Tällä saadaan säästöjä, kun akkuja ei tarvitse hävittää yhtä tiheällä aikavälillä, varsinkin kun akuilla on tarkat ohjeet niiden hävittämiseen tai kierrättämiseen. Litiumakut suoriutuvat tukevuutensa takia paremmin hankalissa olosuhteissa. Litiumakkujen suurin kritiikin kohde on niihin liittyvät kustannukset. (Lithium ion battery vs lead acid battery n.d.) Linja-Ahon (2022) mukaan litiumioniakkukemiassa käytettävät harvinaiset metallit nostavat akkujen hintaa ja niiden valmistamisessa käytetään kalliita koneita. Khabur (2019) puolestaan toteaa, että litiumakut ovat tyypillisesti huomattavasti kalliimpia ostohinnaltaan, mutta niillä on myös toisaalta yli kaksinkertainen elinkaari lyijyakkuihin verrattuna. Suurin säästö litiumakuilla tulee sellaisista operaatioista, jossa trukkeja käytetään useammassa vuoroissa. Tällöin kokonaiskustannukset voivat olla 20-40 % pienemmät lyijyakkuihin verrattuna. (Khabur 2019.)

Litiumakut eivät myöskään vaadi erityisjärjestelyjä latauksen suhteen, sillä litiumakku on täysin suljettu järjestelmä, jolloin ulos ei pääse höyryä tai nesteitä. Litiumakkuja voidaan ladata normaaleissa työtiloissa, jolloin erillistä lataushuonetta ei tarvita ja akut saadaan ladattua taukojen puitteissa. Trukeista ei myöskään tule päästöjä, jos sähkö on puhtaasti tuotettua. (Trukkien uudet energiamuodot – litiumioni-akku yleistyy n.d; Trukin energiaratkaisut n.d.)

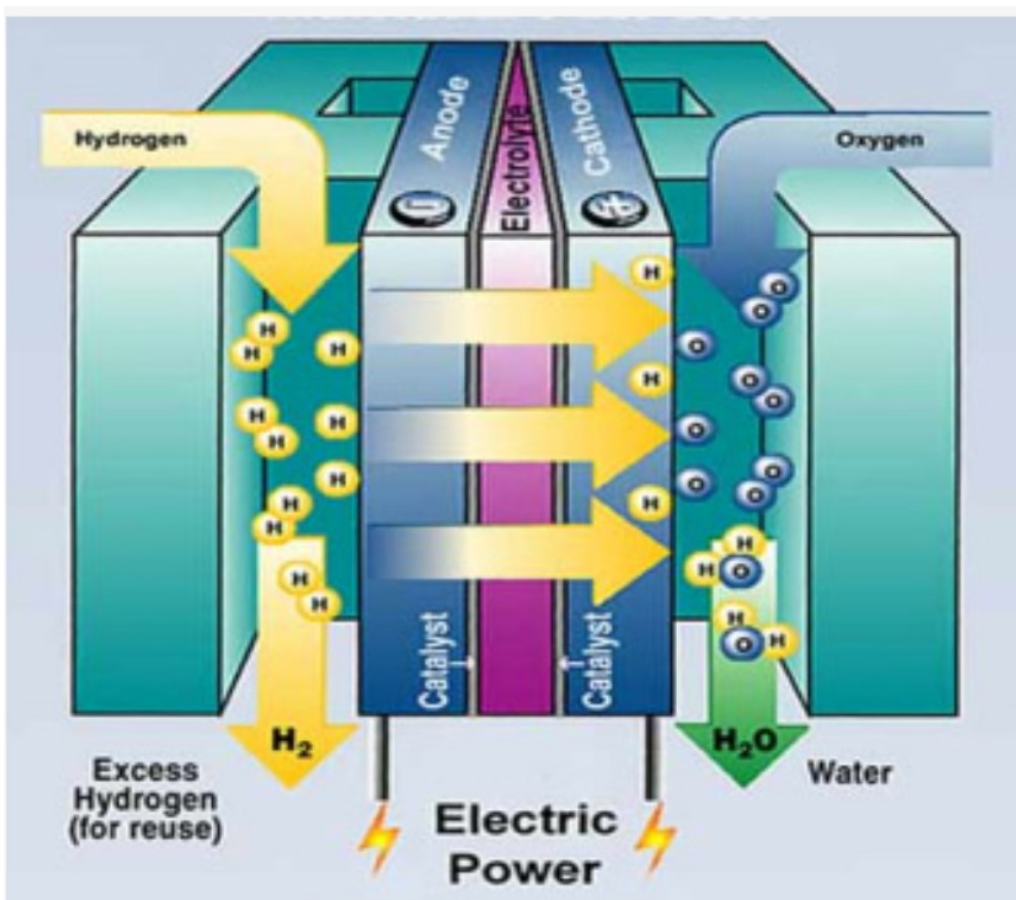
Litiumioniakut ovat ehjinä turvallisia, mutta vahingoittuessaan ne luovat paloturvallisuusriskin (Litiumioniakku ja litiumakkupalot n.d). Litiumioniakkujen sisältämä elektrolyytti on palavaa ainetta, joka voi aiheuttaa vaaratilanteita. Lämpötilan nousu litiumioniakuissa saattaa johtaa vikatiloihin, jotka puolestaan tuottavat lisää lämpöä ja voivat johtaa lämpöryntäykseen sekä lopulta aiheuttaa tulipalon. Akkukenno palaa aggressiivisesti ja sitä on vaikea sammuttaa reaktiosta syntyvän hapen vuoksi. Ilman akunhallintajärjestelmää akku on herkkä ylilatautumaan tai ylipurkautumaan, jolloin akku vahingoittuu pysyvästi. (Linja-Aho 2022, 19-20.)

3.3.3 Vetytrukki

Yleisimmät trukeissa käytettävät akut ovat siis lyijy- tai litiumakku, mutta näiden lisäksi on olemassa uudempaa teknologiaa, joka on mullistamassa materiaalin käsittelyä. Kysyntä tehokkaille ja kestäville ratkaisulle on kasvussa ja yritykset pyrkivät jatkuvasti keksimään keinoja lisätä prosessien tehokkuutta vähentämällä hiilijalanjälkeään. Yritysten tarpeisiin yksi ratkaisu on esimerkiksi

vetytrukki polttokennoteknologialla. Vetyä voidaan käyttää täysin päästöttömän sähkön luomiseen, jolloin trukkien synnyttämät päästöt ovat nollassa. Polttokennojen toiminta perustuu vedyn ja hapen kemialliseen reaktioon, josta syntyy sähköä, vettä ja lämpöä. Tästä reaktiosta saadaan trukkien vaatimaa sähköä. (Polttokennoteknologia ja vetytrukit n.d; Hydrogen fuel-cell forklifts: The impacts of Fuel Cells in material handling 2024.)

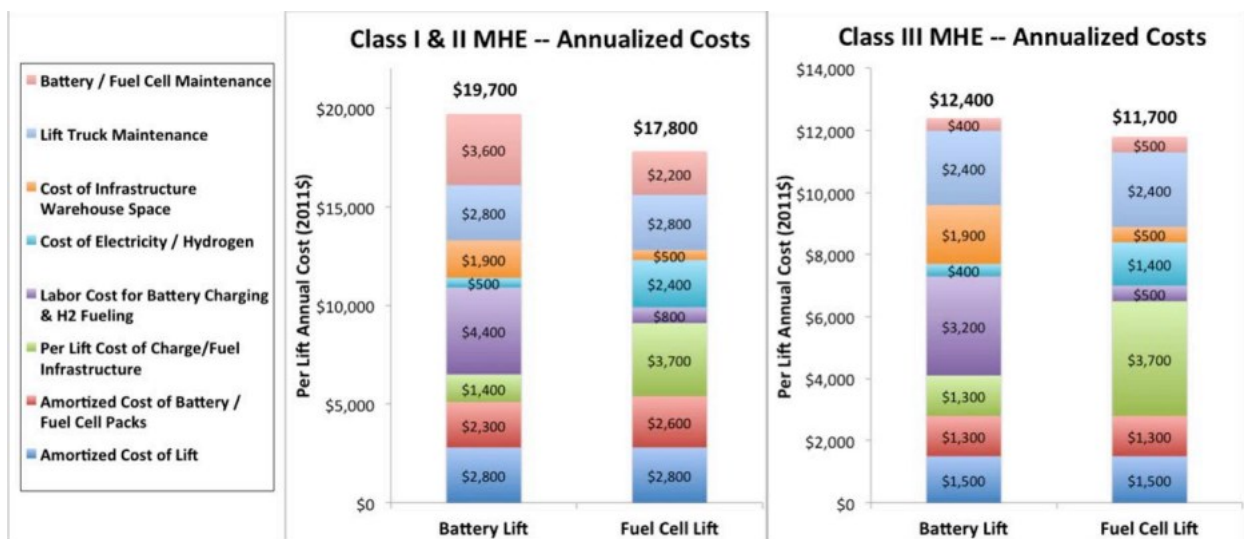
Vetyakun etuna on myös sen erittäin nopea latausaika. Vetyakun saa ladattua täyteen 2-3 minuutissa, kun taas vastaavasti litiumioniakku vaatii vähintään 80 minuuttia ja märkälyijyakku kahdeksasta kahteentoista tuntiin latausaikaa. Vetyakkujen avulla voidaan saavuttaa huomattavasti pienempi odotusaika ja tätä kautta myös parempi tuottavuus. Vetytrukkeilla on myös vähemmän liikkuvia osia verrattuna muihin sähkötrukkeihin, mikä johtaa väljempiin huoltoväleihin. Perinteisiin polttoaineella toimiviin trukkeihin verrattuna vetytrukkien ainoa päästö on vesihöyry. (A definitive list of electric sources for forklifts 2023.) Kuviossa 4 on esitetty vetyakun toimintaperiaate.



Kuvio 4. Vetyakun toimintaperiaate (How does the Fuel Cell Work? n.d)

Polttokennoilla toimivista trukeista on tehty muutamia tutkimuksia, joiden mukaan polttokennoilla toimivien trukkien käytöstä voidaan saavuttaa taloudellisia ja operatiivisia hyötyjä verrattuna perinteisiin polttomoottori- ja sähkötrukkeihin. Nämä hyödyt näkyvät erityisesti sellaisten suurten yritysten kohdalla, joissa on korkea työkuorma ja korkeat operatiiviset kustannukset, kuten esimerkiksi teollisuuden alalla usein on. Polttokennojen avulla trukit saadaan käyttövalmiiksi nopeasti, niiden huoltoväliä voidaan pidentää ja tila niiden ympärillä hyödyntää tehokkaammin kuin perinteisissä ratkaisuisissa. Nämä tekijät puoltavat polttokennovoimalan ja muiden tukitoimintojen rakennuttamista. Renquistin, Dickmanin ja Bradley'n (2012) mukaan niiden takaisinmaksuaika olisi alle 15 vuotta. (Renquist, Dickman & Bradley 2012.)

Yhdysvaltojen NREL:n (The National Renewable Energy Laboratory) tutkimuksen mukaan polttokennotrukien kustannukset voivat olla huomattavasti alhaisemmat kuin akulla toimivien trukkien. Luokkien 1 ja 2 trukkien (kolmi- ja nelipyöräiset istuttavat vastapainotrukkit) kokonaiskustannukset ovat 10 % alhaisemmat, kun ne ovat polttokennolla toimivia verrattuna akkukäyttöisiin. Vertailu perustuu tilanteeseen, jossa yrityksellä käytössään 60 trukkia, jotka tekevät työtä 2–3 vuorossa 6–7 päivää viikossa. (Ramsden 2013.) Kuviossa 5 vertaillaan polttokennotrukien ja akkutrukien vuosittaisia kustannuksia kustannuslajeittain. Kuvion 5 mukaan esimerkiksi polttokennotrukien latausinfrastruktuuri on huomattavasti kalliimpaa, mutta toisaalta käyttövoiman kustannukset ovat matalammat.



Kuvio 5. Polttokennotrukien ja akkutrukien kustannukset vuosittain. (Ramsden 2013.)

Vetytrukkien haasteena nykypäivänä on se, että vedyllä on esimerkiksi Suomessa hyvin haastava saatavuus. Vetytrukkien tekniikan käyttöönotto vaatisi muun muassa oman jakelupisteen vedylle. Tästä syystä vetytrukkien käyttö ei ole saavuttanut suurta suosiota, vaan tekniikkaa ovat hyödynneet lähinnä ne yritykset, joille ympäristöarvoilla on strategista merkitystä. (Trukkien uudet energiamuodot – litiumioni-akku yleistyy n.d.)

4 Vastuullinen logistiikka

Viimeisten 10–15 vuoden ajan kuluttajien ja yhteiskunnan kasvava huoli ympäristöstä on aiheuttanut yrityksille suurta painetta vähentää logististen toimintojen vaikutusta ympäristöön. Logistiikkayritysten pitää entistä enemmän ottaa vastuuta omista päästöistään myös ilmaston lämpenemisen kannalta. Tieturvallisuuteen ja saasteiden hallintaan liittyvät haasteet on saatu paremmin hallintaan, jolloin logistiikalta vaaditaan muutakin kuin ainoastaan hiilidioksidipäästöjen vähentämistä. Vastuullisuus kattaa ekologisuuden lisäksi ekonomisen eli taloudellisen ja sosiaalisen ulottuvuuden. (McKinnon, Browne, Piecyk & Whiteing 2015, 3-4.)

Viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana kasvihuonekaasupäästöt ovat kasvaneet huomattavasti ja useiden kansainvälisten kokousten, kuten esimerkiksi Pariisin ilmastokokouksen aiheena on ollut ilmastonmuutos ja siihen liittyvät toimet ja hiilijalanjäljen vähentäminen. Logistiikalla on keskeinen osuus, sillä sen vaikutus ympäristöön on merkittävä. Logistiikan operaatioista syntyy vuosittain 5,2 miljardia tonnia hiilidioksidipäästöjä ja logistiikan osuus maapallon kasvihuonekaasuista on peräti 5,5 %. (Modica, Perotti & Melacini 2021, 1.) McKinnonin ja muiden mukaan vuonna 2010 on tutkittu, että maailman energiankulutuksesta kuljetuksiin sitoutuu jopa 12 % kokonaisenergiankulutuksesta. Tämä vastaa noin kymmentä prosenttia energiaan liitettävistä hiilidioksidipäästöistä. Materiaalin käsittelyn ja varastoinnin lisäys, jotka molemmat mielletään yleensä osaksi logistiikkaa, nostaa lukua noin kahdella prosenttiyksiköllä. (McKinnon ym. 2015. 4.)

Logistiikan vastuullisuuden ajureita on nykypäivänä erilaiset asetukset, sopimukset ja lait. Euroopan Unionilla on ollut vuodesta 2019 alkaen voimassa yksi kaikkien aikojen suurimmista EU:n päästöasetuksista ei-tiellä käytettävien kulkuvälineiden päästöihin liittyen. Asetuksessa säädetään, että kaikki polttomoottorikoneet, jotka on hankittu vuoden 2019 tammikuun jälkeen, täytyy noudattaa uusia päästöstandardeja ja moottorivaatimuksia. (Stage V moottorit- tulevaisuutta ja tehokkuutta 2021; European Stage V non-road emission standards 2016.) Näillä vaatimuksilla halutaan hallita moottoreista syntyviä pienhiukkasia ja estää niiden pääsyä ilmaan. Säädöksellä pyritään vähentää päästöjä sekä parantaa käyttövoimaa ja polttoainetehokkuutta. (Stage V moottorit- tulevaisuutta ja tehokkuutta 2021.)

4.1 Vihreää varastointia

Varastoinnin osuus toimitusketjun vastuullisuudesta on tuntematonta ja uutta tutkimusaluetta. McKinnonin ja muiden mukaan (2015, 194) toimitusketjujen vastuullisuudessa suurin osa huomiosta kohdistuu usein kuljetuksiin, esimerkiksi liikenteen aiheuttamiin hiilidioksidipäästöihin. Varastointi jää tällöin usein takaa-alalle, vaikka sen vastuullisuus tulisi olla osa toimitusketjujen vastuullisuutta. Tätä väitettä tukee myös Modican ja muiden (2021, 13) väite siitä, että varastoinnin huomioiminen vastuullisuudessa on vielä suurilta osin tutkimatonta aluetta ja ansaitsee huomiota. Modican ja muiden (mts. 13) mukaan varastoinnilla on noin 11 % osuus logistiikan kasvihuonekaasupäästöistä. Logistiikan kasvihuonepäästöt ovat noin 5,5 % koko maailman päästöistä (ks. luku 4 Vastuullinen logistiikka), jolloin varastoinnin osuus koko maailman kasvihuonekaasupäästöistä on noin 0,5 %. Varastoinnissa voitaisiin hyödyntää esimerkiksi ekoystävällistä materiaalikäsittelykoneistoa, jonka käyttöönotto voi parantaa energiatehokkuutta. (Mts. 1.)

Yritykset tavoittelevat tehokasta ja taloudellisesti kannattavaa energian käyttöä, joka on nykypäivänä tyypillisesti fossiiliperäistä. Tätä energiaa käytetään erilaisten koneiden, kuten trukkien voimalähteenä, sekä lämpötilan ja valaistuksen säätelyyn. (McKinnon ym. 2015, 200.) Varaston operaatioiden, kuten keräily, varastoinnin ja materiaalin käsittelyn vaikutukset ympäristöön on vielä tuntematon tutkimusala. Aiheesta löytyy kuitenkin tutkimuksia, joissa on esimerkiksi tutkittu varastoinnissa käytettävää kalustoa. Tutkimuksissa on havaittu, että valittavalla kalustolla on keskeinen osa, kun halutaan minimoida päästöjä tilausten keräilyssä. (Facchini, Mummolo, Mossa, Digiesi, Boenzi & Verriello 2016.) McKinnon ja muut (2015, 2007) kuitenkin väittävät, että yrityksillä välineistön valintaprosessi alkaa tyypillisesti koneelta vaadittavista ominaisuuksista, sen sijaan että pohdittaisiin koneen energianlähdettä. (McKinnon ym. 2015, 207.)

Fuc, Kurczewski, Lewandowska, Nowak, Selech & Ziolkowski (2016) ovat tutkineet trukkien käyttövoiman vaikutusta syntyviin päästöihin. Trukin energialähteellä on suuri merkitys trukista syntyviin päästöihin. Kuvioista 6 nähdään, että esimerkiksi vinyylikloridi (C₂H₃Cl) karsinogeeniä syntyy dieseltrukilta 1,92 kilogrammaa tonnikilometriltä ja sähköiseltä trukilta 0,0020 kg per tonnikilometri. Tutkimuksen mukaan sähköisen trukin käyttäminen yhden tonnin siirtoon yhden kilometrin matkan verran aiheuttaa huomattavasti vähemmän ympäristöllisiä vaikutuksia, kuin jos käyttäisi polttomootorilla toimivaa trukkia. (Fuc, Kurczewski, Lewandowska, Nowak, E, Selech, J. & Ziolkowski 2016, 1438-1439.)

Myös ilman taakkaa ajamalla saatiin samankaltaiset tulokset, jossa sähköllä toimiva trukki on päästöiltään alhaisin. Vaikka sähkö olisi peräisin fossiilisista polttoaineista, on sillä selvä etu verrattuna polttoaineeseen. Puhtaana tuotetulla sähköllä ympäristövaikutukset olisivat vielä alhaisemmat. (mts. 1438-1439.)

Impact category	Unit	DSL 1	DSL 2	DSL 3	DSL average
Carcinogens	kg C2H3Cl eq	1.92	0.85	0.57	1.10
Non-carcinogens	kg C2H3Cl eq	0.005	0.005	0.004	0.005
Respiratory inorganics	kg PM2.5 eq	0.003	0.005	0.001	0.003
Ionizing radiation	Bq C-14 eq	4.32	5.09	3.37	4.26
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	0.0000003	0.0000004	0.0000002	0.0000003
Respiratory organics	kg C2H4 eq	0.002	0.001	0.001	0.002
Aquatic ecotoxicity	kg TEG water	95.33	111.17	73.65	93.37
Terrestrial ecotoxicity	kg TEG soil	20.44	24.05	15.93	20.14
Terrestrial acid/nutri	kg SO2 eq	0.12	0.19	0.05	0.12
Land occupation	m2org.arable	0.002	0.003	0.002	0.002
Aquatic acidification	kg SO2 eq	0.018	0.027	0.009	0.018
Aquatic eutrophication	kg PO4 P-lim	0.0002	0.0003	0.0002	0.0002
Global warming	kg CO2 eq	2.49	2.93	1.93	2.45
Non-renewable energy	MJ primary	36.93	43.45	28.79	36.39
Mineral extraction	MJ surplus	0.0016	0.0018	0.0012	0.0015
Forklifts with electric drive					
Impact category	Unit	ELE1	ELE 2	ELE 3	ELE average
Carcinogens	kg C2H3Cl eq	0.0020	0.0011	0.0008	0.0013
Non-carc inogens	kg C2H3Cl eq	0.0151	0.0083	0.0059	0.0098
Respiratory inorganics	kg PM2.5 eq	0.0006	0.0003	0.0002	0.0004
Ionizing radiation	Bq C-14 eq	1.06	0.58	0.42	0.69
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	0.00000001	0.00000003	0.00000002	0.00000004
Respiratory organics	kg C2H4 eq	0.000029	0.000016	0.000011	0.000019
Aquatic ecotoxicity	kg TEG water	22.06	12.11	8.65	14.28
Terrestrial ecotoxicity	kg TEG soil	8.08	4.44	3.17	5.23
Terrestrial acid/nutri	kg SO2 eq	0.009	0.005	0.004	0.006
Land occupation	m2org.arable	0.0023	0.0013	0.0009	0.0015
Aquatic acidification	kg SO2 eq	0.0039	0.0022	0.0015	0.0025
Aquatic eutrophication	kg PO4 P-lim	0.000002	0.000001	0.000001	0.000001
Global warming	kg CO2 eq	0.67	0.37	0.26	0.43
Non-renewable energy	MJ primary	7.96	4.37	3.12	5.15
Mineral extraction	MJ surplus	0.0012	0.0007	0.0005	0.0008

Kuvio 6. Trukkien päästövertailua (Fuc ym. 2016. (muokattu))

Sisäisen liikenteen kustannukset, joihin trukkien liikkuminen lasketaan, ovat yrityksille tyypillinen osa kirjanpitoa, mutta näiden kustannuksien tuomat ekologiset vaikutukset yleensä helposti sivuutetaan. Varsinkin pienissä ja keskisuurissa yrityksissä ei olla tietoisia sisäisten kuljetusten aiheuttamista ympäristömaksuista ja niiden maksuvelvollisuudesta. Polttoaineen kulutus ja pakokaasupäästöjen tapahtuminen suoraan yrityksen tiloissa tuo taloudellisia kustannuksia. Saastuttaja maksaa- periaatteen ja EU:n asettamien direktiivien mukaan yrityksen täytyy maksaa ympäristöön aiheutuvista negatiivisista vaikutuksista, kuten hiilidioksidipäästöistä. (Fuc ym. 2016, 1446-1448.)

4.2 Työympäristö

Trukkien sähköistämällä voidaan edistää ympäristövastuullisuuden lisäksi työntekijöiden hyvinvointia sekä työympäristön turvallisuutta. Työympäristöä voidaan tarkastella muun muassa päästöjen, syöpävaarallisille aineille altistumisen sekä fyysistä tekijöistä, kuten esimerkiksi tärinästä. Sähköisestä trukista ei synny pakokaasupäästöjä, jolloin työntekijät eivät altistu hiilidioksidille. Hiilidioksidi on erityisen ongelmallista suljetuissa tiloissa, minkä lisäksi trukkia tankatessa polttoainetta voi roiskua maahan vahingossa. Tankkauksen aikana työntekijät myös altistuvat tankkauksessa syntyville höyryille. Sähköisissä trukeissa näitä ongelmia ei ole, vaan ne ovat yleisesti ottaen terveellisempiä käyttää ja ne edistävät puhtaampaa työympäristöä. (Why electric forklifts are the safe and sustainable choice 2021.)

Vuonna 2020 voimaan tullut asetus sitovista raja-arvoista 25:lle eri syöpävaaralliselle tekijälle asettaa työnantajalle velvollisuuksia. Suomessa yksi yleisin syöpävaarallinen tekijä on dieselmoottorien pakokaasut. Työnantajan velvollisuutena on estää altistuminen tai pyrkiä minimoimaan vaikutuksia. Työsuojeluviranomainen valvoo syöpävaaran torjuntaa ja velvoittaa työnantajaa olemaan tietoinen, miten paljon työntekijät altistuvat syöpävaarallisille tekijöille. Esimerkiksi vuonna 2023 on dieselmoottorien pakokaasuille asetettu raja-arvo, joka on kahdeksan tunnin aikana $0,05 \text{ mg/m}^3$ (keuhkorakkuloihin päätyvä osuus alkuhiilenä mitattuna). (Työnantajan on varmistettava, ettei työntekijä altistu syöpävaaralle 2020.)

Sähköiset trukit ovat luonteeltaan tasaisempia, luotettavampia ja niiden vääntömomentti on vahvempaa alhaisessa nopeudessa. Kiihdytys ja nostaminen tapahtuu viiveettä ja työntekijän ei tarvitse lisätä koneen vauhtia maksimikuorman käsittelyn onnistumiseksi. Tasaisuuden ansiosta kuskit altistuvat vähemmän tärinälle ja erilaisille äkkinäisille liikkeille, mikä on turvallisempaa sekä trukkia operoivan työntekijän että hänen välittömässä läheisyydessään työskentelevien ihmisten kannalta. (Why electric forklifts are the safe and sustainable choice 2021.)

4.3 Melusaaste

Ääni on työntekijöitä kuluttava ja väsyttävä elementti työympäristössä. Dieseltrukeista syntyvä ääni vaihtelee 85 ja 100 desibelin välillä, riippuen taakasta ja kiihdytyksestä. Pitkäaikainen altistu-

minen yli 85 desibelin äänenvoimakkuudelle voi johtaa kuulon vahingoittumiseen tai menettämiseen, minkä takia trukkien läheisyydessä tulee käyttää kuulonsuojausta. Korkea äänentaso voi myös lisätä työntekijöiden stressiä ja väsymystä, mikä johtaa moraalien, jaksamisen ja tehokkuuden laskuun. (What are the noise levels associated with diesel forklifts, and how do they affect workplace environments 2024.) Sähköisissä trukeissa ääni on noin 60 desibelin luokkaa, joka vastaa tavallista kahden ihmisen välistä keskustelua. Sähköisten trukkien kautta voidaan siis merkittävästi vaikuttaa työpaikan viihtyvyyteen ja työssä jaksamiseen.

Korkeat äänentasot voivat johtaa haasteisiin työntekijöiden välisessä kommunikaatiossa. Kommunikaation huonontuessa myös työympäristön riskit lisääntyvät. Väärinymmärrysten todennäköisyys kasvaa ja tehokkuus laskee, jonka lisäksi työssä saattaa tapahtua todennäköisemmin läheltä piti -tilanteita tai onnettomuuksia, joiden juurisyy on epäonnistuneessa kommunikaatiossa. Trukeista syntyvä ääni voi pahimmassa tapauksessa peittää elintärkeitä äänimerkkejä, kuten vaaramerkin tai hälytykset muusta kalustosta. (What are the noise levels associated with diesel forklifts, and how do they affect workplace environments 2024.) Sähköisten trukkien hiljaisuuden ansiosta kuljettajat eivät tarvitse kuulonsuojausta ja he pysyvät valppaampina. (Why electric forklifts are the safe and sustainable choice 2021.)

4.4 Akkujen turvallisuus

Akun valinnalla on myös vaikutusta työntekijöiden terveyteen ja turvallisuuteen. Lyijyakku sisältää lyijyä ja rikkihappoa, jotka ovat molemmat sekä ihmiselle että ympäristölle vaarallisia kemikaaleja. Jos akkujen latausolosuhteet eivät ole kunnossa, ne aiheuttavat räjähdysvaaraa. Akkujen kohdalla ilmanvaihto on erityisen keskeisessä roolissa, muun muassa siitä syystä, että akun latauksessa syntyy herkästi syttyvää vetyä ja mahdollisessa tulipalossa tulen leviämistä edesauttavaa happea. Litiumioniakut ovat kokonaan suljettuja, jolloin käyttäjien ei tarvitse avata latauspaikkaa vesitystä varten. Elektrolyytit eivät pääse läikkymään lattialle eikä latauksessa vapaudu vaarallisia höyryjä. (Lithium Forklift Batteries: The Complete Guide 2024; Lead acid batteries n.d.)

Vetytrukeissa ensisijainen vaaratekijä liittyy vedyn vuotamiseen ja sen palamiseen. Vety on palavaa sekä räjähdysherkkää ilmassa ja staattinen sähkö voi sytyttää vedyn ja ilman yhdistelmän pala-

maan. Kaasullinen vety voi luoda tarpeeksi elektrostaattista varausta sytyttääkseen itsensä palamaan. Vedyn vuotaminen ja palaminen altistaa ihmisiä varsinkin lämpösäteilylle ja räjähdysten aiheuttamalle ylipaineelle. (Al-Douri, Ruiz-Tagle & Groth 2023.)

Litiumioniakkujen pettäminen on suhteellisen harvinaista, mutta rikkoutuessaan tällaiset akut aiheuttavat vakavan paloturvallisuusriskin. Vaikka litiumioniakut ovat turvallisia tuotteita ja ne täyttävät useita standardeja, niihin varastoituu suuri määrä energiaa, joka on erityisen herkkää kuumuudelle ja puristumiselle. Kemiallinen reaktio aiheuttaa lämpökarkauksen, joka johtaa nopeaan ylikuumentumiseen. Paristot syttyvät ja palavat jopa tuhannen celsiusen lämpötilassa ja päästävät ympäristöön kaasua, joka voi syttyä palamaan suljetussa tilassa. Lämmöstä ja kipinöistä syntyy tulipalo ja syntyvä kaasu levittää tulipaloa entisestään (ks. Kuvio 7.) Tämä prosessi tapahtuu nopeammin, kuin minkään muun tyyppinen tulipalo. Litiumioniakkuja on myös todella vaikeaa sammuttaa, sillä suuremmat akut voivat syttyä uudelleen palamaan päiviä palon sammuttamisen ja akun viilennyksen jälkeen. (Humby 2024.)



Kuvio 7. Lämpöryntäyksen aiheuttajat ja vaarat (Humby 2024.)

Toyotan litiumakullisissa trukeissa on käytössä akunhallintajärjestelmä, joka sammuttaa virransyötön akulle pienenkin vian ilmetessä, joka tekee akun ylikuumentumisesta, syttymisestä ja palamisesta mahdotonta. Lyijyakuista poiketen litiumakun latauksessa ei synny kaasua tai kipinöitä. (Mikä on litiumioniakku n.d.)

5 Trukkikaluston hankinnan taloudelliset näkökohdat

5.1 Hankintaprosessi ja kannattavuus

Hankinta tarkoittaa yrityksen ulkoisten resurssien hallintaa. Hankinnan osuus yrityksen kokonaiskustannuksista voi nousta jopa 80 prosenttiin. Suurin osa hankinnoista jää usein piiloon, näitä hankintoja kutsutaan epäsuoriksi hankinnoiksi. Epäsuorat hankinnat eivät suoraan liity tuotteen tai palvelun välittömiin kustannuksiin, mutta niillä on silti voimakas vaikutus yrityksen tehokkuuteen ja kilpailukykyyn. (Iloranta & Pajunen-Muhonen 2018, 22.)

Yrityksen tarpeet ja vaatimukset ohjaavat hankintaprosessia, jossa jokaisen vaiheen tuotos vaikuttaa seuraavaan vaiheeseen ratkaisevasti. Prosessi alkaa tarpeen määrittelystä, joka on prosessin tärkein vaihe (ks. Kuvio 8). Tässä määritellään pakolliset ja merkittävät vaatimukset tuotteelle tai palvelulle, jotta löydetään paras markkinoilla oleva ratkaisu. Jos tarvetta ei määritellä kunnolla, koko prosessin lopputulos saattaa vaarantua. Hankintaprosessin onnistuminen vaatii osaamisen yhdistämistä ja yhteistyötä, sekä rajapintojen, toimintojen ja toimijoiden selkeää määrittelyä. (Niemi 2016.) Tarpeen määrittelyn tärkeys näkyy myös oleellisesti trukin hankinnassa. Trukin täytyy soveltua tehtäviinsä ominaisuuksiensa ja kapasiteettinsa puolesta, tai muuten trukista voi syntyä kustannuspainajainen. (Näin vältät trukien ostossa tuhansien ylimääräiset kulut n.d.)



Kuvio 8. Hankintaprosessi (Niemi 2016.)

5.2 Ostaminen vai vuokraaminen

Yksi tärkeä elementti trukin kustannuksia määriteltäessä on sen hankintamuoto. Trukkia hankkiessa tarkastellaan onko ostaminen vai vuokraaminen kannattavampaa. Ostaminen on hyvä keino käyttää pääomaa ja etuna on trukin omistaminen ja sen jälleenmyynnin mahdollisuus. Ostaminen

vaatii rahaa ja käytetyn trukin jälleenmyyntihinta voikin yllättää omistajan positiivisesti. (Kannattaako trukki vuokrata vai ostaa n.d.)

Vuokraamisella on myös omat etunsa. Trukin vuokraaminen on yleensä mahdollista enintään seitsemän vuoden ajaksi, jonka aikana yritys maksaa trukin käyttämisestä eikä sen omistamisesta. Paperityö on vähäistä ja trukkien kustannukset on helpompi budjetoida. Vuokraaminen mahdollistaa sen, että pääomaa ei tarvitse käyttää trukkeihin ja ostamiseen ei tarvita lainaa. Tällöin yritys voi keskittää pääomansa muihin toimintoihinsa. Varsinkin vuokraaminen pitkällä ajalla voi koitua suureksi eduksi sillä sopimuksen rakenteen mukaan kuukausimaksut voidaan luonnehtia liiketoiminnan kustannuksina, joka tekee niistä verovähennykselpoisia. (Kannattaako trukki vuokrata vai ostaa n.d.)

Takaisinvuokrauksella voidaan optimoida trukkien määrää yhdellä kerralla. Takaisinvuokrauksessa yrityksen nykyinen kalusto lunastetaan ja vuokrataan takaisin. Takaisinvuokrauksen etuna on se, että kalustoa ei tarvitse vuokrata takaisin samanlaisena, vaan osa kalustosta voidaan vaihtaa esimerkiksi uudempaan malliin ja näin yrityksen tarpeisiin pystytään kohtaamaan paremmin. (Trukki- vuokraus on kustannustehokas ja huoleton ratkaisu n.d.)

5.3 Investointilaskenta

Investoinnilla tarkoitetaan tuotantohyödykkeiden hankintaa, joilla halutaan tulevaisuudessa saada tuottoa (Investointien suunnittelu 2024). Investoinnin ovat tyypillisesti pitkä aikaisia, niillä on laajat vaikutukset, niihin sidotaan suuria määriä pääomaa ja niiden päällä leijuu epävarmuutta. (Ikäheimo, Malmi & Walden 2024, 180.)

Investoinnin päätöksenteossa hyödynnetään usein investointilaskelmaa. Tyypillisesti investointilaskelmaa käytetään usein koneinvestoinneissa arvioimaan sen taloudellista kannattavuutta. Päätöksentekotilanteet jaetaan yksittäisen investoinnin arviointiin, toisensa poissulkevien investointien vertailuun ja ostaminen vai itse valmistaminen. Yksittäisen investoinnin arvioinnissa pyritään tunnistamaan investoinnin hyvyteen vaikuttavia tekijöitä ja arvioida onko investointi mielekäs. Toisensa poissulkevassa investoinnissa vertaillaan useita vaihtoehtoja eri toimittajilta, joista valitaan paras ja soveltuvin vaihtoehto. Keskeistä on erottaa tuotteiden tai palveluiden eroavaisuudet keskenään. Ostamisessa vai itse valmistuksessa vertaillaan ulkopuolisen palvelua tai tuotetta omaan

tuotantoon tai investointiin. Päätöksentekotilanne voi olla toisinaan hyvinkin haastava, sillä joudutaan huomioimaan sellaisia tekijöitä, jotka ovat hyvin hankala arvioida ja usein jäävät laskelmien ulkopuolelle. Laskentainformaatiolla on tärkeä rooli investointilaskelmassa, sillä se auttaa ratkaisemaan mitkä investointivaihtoehdot ovat toteuttamiskelpoisia, kuinka paljon rahoitusta ja minkälaisilla ehdoilla investointi toteutuu, miten hyvin investointi toteutettiin projektina ja onko investointi ollut suunnitellun mukainen ja mistä mahdolliset poikkeamat johtuvat. (Ikäheimo ym. 2024, 182.)

Investointilaskennassa tarkastellaan hankintamenoa, nettokäyttöpääomaa, vuotuista nettokassavirtaa, investoinnin pitoaikaa, jäännösarvoa, laskentakorkokantaa ja kassavirtojen epävarmuutta. Tuloslaskelmassa ei oteta huomioon poistoja tai sellaisia komponentteja, jotka eivät ole kassavirtoja. Laskentamenetelmiä investoinneille on monenlaisia. Menetelmien ominaisuuksissa on huomattavia eroja, jotka vaikuttavat laskelmien lopputuloksiin ratkaisevasti. Menetelmät ovat karkeasti jaettu siten, että otetaanko laskelmassa huomioon rahan aika-arvo vai ei. (Ikäheimo ym. 2024, 185.)

5.3.1 Hankintameno & nettokäyttöpääoma

Hankintamenolla tarkoitetaan yrityksen taloudellista sitoutumista kassavirran saamiseksi. Hankintameno sisältää hyvin paljon erilaisia osia kuten laitteiden hankinta ja henkilöstön koulutus. Hankintameno täytyy hahmottaa riittävän laajasti, jotta voidaan tunnistaa kaikki menoerät ja kustannukset. Hankintaan yritys sitoo pääomaa pitkäksi aikaa ja ajan kuluessa investoinnin arvo laskee, jonka vuoksi tilinpäätöksessä täytyy kuvata arvonalentaminen poistoilla. Nettokäyttöpääoma tarkoittaa niitä muutoksia varastoissa, myyntisaatavissa, kassassa ja ostovelooissa, jotka investointi saa aikaan. (Ikäheimo ym. 2024, 185–187.)

5.3.2 Vuotuiset nettokassavirrat & jäännösarvo

Vuotuiset nettokassavirrat ovat kassatuloja ja menoja investoinnin tuotantovaiheessa. Tuloja syntyy tuotteiden myynnistä tai kustannussäästöistä, menoja puolestaan aiheuttavat erilaiset käytetyt resurssit kuten polttoaineet, raaka-aineet, sekä laitteiston huolto ja korjaus. Jäännösarvolla tarkoitetaan sitä investoinnin osuutta, joka jää investoinnin palveluksen loputtaessa. (Ikäheimo ym. 2024, 187.)

5.3.3 Investoinnin pitoaika

Investoinnin pitoaika kuvaa ajanjaksoa, kun investointi on tuottavassa toiminnassa ja arvioidaan syntyvän nettotuottoja. Pitoajan pituuteen vaikuttaa laitteiston fyysinen-, tekninen- ja taloudellinen ikä. Fyysisellä iällä tarkoitetaan laitteiston kulumista, mitä enemmän laitteistoa käytetään ja kulutetaan, sitä useammin tarvitaan huoltoa ja korjausta ja tuotantoon tulee katkoksia. Teknisellä iällä tarkoitetaan sitä, kuinka kauan laitteisto on teknisesti riittävä tuotantoon. Uudet innovaatiot ja teknologiat sysäyvät vanhaa teknologiaa ja vaikeuttavat sen ylläpitoa esimerkiksi varaosien huollon saatavuuden muodossa. Tuotteen vanheneminen ja ikä aiheuttaa hankaluuksia kuluttajien kysynnän muuttuessa. Vanha teknologia ei innosta ja se korvataan uudemmalla. Taloudellinen ikä tarkoittaa sellaista aikaa, jonka yritys arvioi kaikkein parhaimmalta jaksolta pitää investointi toiminnassa. (Ikäheimo ym. 2024, 186-187.)

5.4 Laskentamenetelmät

5.4.1 Takaisinmaksuaika & laskennallinen pääomantuotto

Takaisinmaksuaika, se ajanjakso, jolloin investointi on tuottanut saman verran kassavirtaa, kuin siihen on investoitu. Tällä halutaan korostaa sitä, kuinka nopeasti investointi maksaa itsensä takaisin ja yleensä tämä on tärkeä seikka sellaisille yrityksille, joille kassavirta voi olla rajoite. Jos ympäristö on epävarmaa ja ei tiedetä minkälaiset tulevaisuuden kassavirrat ovat, niin voi olla hankalaa investoida niiden perusteella. Hyvin usein yrityksillä on valmiiksi mietitty mikä on sallittu maksimiaika, kun investoinnin pitää maksaa itsensä takaisin. Takaisinmaksuaika kuitenkin kuvaa kannattavuutta huonosti, sillä siinä ei oteta huomioon takaisinmaksuajan jälkeisiä kassavirtoja tai investointien tuottovaatimuksia. (Ikäheimo ym. 2024, 189.)

Laskennallinen pääomantuotto kertoo investointiin sitoutuneen pääoman tuoton. Investoinnin pitoajan nettokassavirrat jaetaan investointikustannuksella. Menetelmän käyttö voi olla harhaanjohtavaa, sillä koko investoinninajan syntyneitä kassavirtoja verrataan ottamatta huomioon rahan aika-arvoa. (Ikäheimo ym. 2024, 189.)

5.4.2 Sisäinen korkokanta & nykyarvomenetelmä

Sisäisen korkokannan menetelmä kertoo ne kustannukset, joilla investointi on vielä kannattava. Jos sisäinen korkokanta on suurempi kuin tuottovaatimus, on investointi kannattava. Tässä menetelmässä otetaan huomioon rahan aika-arvo. Kuviossa 9 on esitelty sisäisen korkokannan laskentamenetelmä. Nykyarvomenetelmässä, maksut diskontataan tavallisesti investoinnin alkuun, jos kassavirrat ovat positiiviset, investointi on kannattava. Menetelmän vahvuus on se, että se kertoo rahamääränä investoinnin lisäarvon yritykselle. Menetelmässä asetetaan investoinnit vertailuun toisiinsa nähden ottamatta huomioon niiden sitomia pääomia. Ajatus rahoituksen rajattomasta saatavuudesta johtaa suhteettomaan vertailuun, jolloin ei saada todellista kuvaa investointien kannattavuudesta suhteessa toisiin investointeihin, jos pääomaa ei ole saatavilla kaikkiin investointeihin. Ongelma voidaan ratkaista suhteuttamalla nykyarvo ja investoitu pääomasumma investoituun pääomaan. (Ikäheimo ym. 2024 190.)

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{\text{kassavirta}}{(1 + \text{IRR})^t} + \frac{\text{jäännösarvo}}{(1 + \text{IRR})^n} - \text{hankintameno}$$

Kuvio 9. Sisäisen korkokannan menetelmä (Ikäheimo ym. 2024, 190.)

5.5 Kokonaiskustannusanalyysi

Perinteisessä ostomallissa perustetaan päätökset usein pelkästään hankintahintaan, vaikka hankinnan vaikutus muihin kustannuksiin on mittava. Etenkin pitkällä aikavälillä hankintapäätöksen kokonaiskustannuksien vaikutukset täytyy huomioida. Etenkin myöhemmistä työvaiheista syntyvät kustannukset vaikeuttavat hankintakustannuksien arvioimista ja mittaamista, jolloin myös yrityksen järjestelmien on vaikeaa tukea kokonaiskustannusajattelua. Hankintapäätökset vaikuttavat loppuasiakkaalle näkyviin kustannuksiin ja päätökseen. Väärällä hinnan ja ominaisuuksien yhdistelmällä yritys voi menettää myyntiä. (Iloranta & Pajunen-Muhonen 2018, 152.)

Kokonaiskustannusajattelu perustuu siihen, että jokaiselle toiminnolle, tehtävälle ja työvaiheelle lasketaan aika ja kustannus. Lopuksi nämä summataan yhteen ja saadaan lopputuotteen kokonaiskustannus. Tätä kutsutaan myös toimintolaskennaksi. Omistamisen kokonaiskustannukset perustuvat hankinnasta aiheutuviin suoriin ja epäsuoriin kustannuksiin koko sen elinkaaren aikana. Tavoitteena on ymmärtää tuotteen tai palvelun kokonaiskustannuksia vaihtoehtoisia tuotteita, palveluita tai toimittajia verratessa. Iloranta ja Pajunen-Muhonen (2018) kertoo, että Ellram (1993) jaottelee kokonaiskustannukset kolmeen osaan, ennen hankintaa, hankintaan liittyvät ja hankinnan jälkeiset kustannukset. (Iloranta & Pajunen-Muhonen 2018, 152–153.)

Hankinnan ammattilaisten mielestä merkittävin hyöty kokonaiskustannuslaskennassa on syvämpi ymmärrys toimittajien tehokkuudesta ja tuotteen tai palvelun elinkaaren vaikutuksista omalle organisaatiolle ja asiakkaalle. Laskenta ohjaa systemaattiseen kustannusten tarkastelutapaan ja pakottaa ottamaan huomioon kaikki todelliset hankinnan kustannukset. Tällä kustannustiedolla ohjataan kohti järkevämpiä päätöksiä. (Iloranta & Pajunen-Muhonen 2018, 153–156.)

Kokonaiskustannuslaskennan hyödyn lisäksi on sillä paljon haasteitakin. Laskenta on vaativa prosessi, joka vie paljon aikaa. Kokonaiskustannusajattelun hyötyjä ja panoksia täytyy tasapainotella tapauskohtaisesti tavoitteiden pohjalta. Hankintahinnan vaikutus välittömiin kustannuksiin ja sen arviointi on yksinkertainen asia tarkastella, kun taas välillisten ja elinkaaren aikaisten kustannusten laskeminen on vaikeaa. Laskennassa täytyy huomioida, että hinnat perustuvat analyysin työstämishetken saatavilla oleviin arvoihin, joka tarkoittaa, että suuret muutokset kuten kansainväliset kriisit voivat aiheuttaa huomattavaa kustannustason nousua. Haasteena on myös yrityksen sisäinen viestintä. Laskenta vaatii aina yrityksen organisaatioiden välistä yhteistyötä ja usein myös uudenlaista osaamista. (Iloranta & Pajunen-Muhonen 2018, 166–168.)

Yrityksille on tärkeää ymmärtää mistä trukkien kokonaiskustannukset koostuvat, jotta voidaan tehdä kannattavia investointeja. Vaikkakin trukkien alkuhankintahinta on tärkeä komponentti, trukkien kustannukset ulottuvat hankintahintaa pidemmälle. Lisäkustannuksiin varustautuminen on tärkeää, sillä hyvällä suunnittelulla voidaan optimoida trukkilaluston arvoa pitkällä juoksulla. (King 2024.) Henkilöstökulut vastaavat jopa 80 % trukkien elinkaaren aikaisista kokonaiskustannuksista (Mitä trukki maksaa n.d). Sähkötrukin kunnossapitokustannukset ovat dieseltrukkia alemmat,

koska sähkötrukissa on vähemmän liikkuvia osia. Kustannukset voivat olla jopa 50 % pienemmät (Kevyet sähkötrukit 5–9 tonnia n.d.)

Henkilöstökulujen lisäksi trukeissa kuluja syntyy esimerkiksi huoltamisesta, korjaamisesta, kuljettajan virheistä, lisävarusteista ja polttoaineesta. Korjauskuluja syntyy, kun trukilla kolaroidaan, trukin ikääntyessä ja kuluessa. Kolarista aiheutuvien vaurioiden syntyessä niiden korjaaminen aina maksaa jotain. Jokainen trukin korjaamiseen käytetty euro, tarkoittaa noin kymmentä euroa ympäristön korjaamiseen. Myös kolaroinnissa tapahtuvien kuormien vahingoittumiset synnyttävät oman menoeränsä. (Näin vältät trukkien ostossa tuhansien ylimääräiset kulut n.d.)

	Electric	Propane (LPG)	Gasoline	Diesel
Life Expectancy	9 years	6.5 years	6.5 years	7 years
Initial Cost (mfg. suggested list price)	\$29,739	\$21,200	\$20,107	\$22,263
Annual Fuel Costs	\$585	\$2,917	\$3,463	\$2,115
Annual Maintenance Cost	\$1,655	\$2,800	\$2,800	\$2,800
Total Life Cost	\$49,512	\$58,364	\$60,814	\$56,671
Annual Average Cost	\$5,570	\$8,979	\$9,357	\$8,096

Kuvio 10. Trukkien elinkaarikustannuksia. (Gellings 2020, 87.)

Trukin energiamuoto vaikuttaa elinkaarikustannuksiin huomattavasti. Sähkötrukin käyttövoimakustannukset ovat noin kolmasosa diesel-, tai kaasutrukista (ks. kuvio 10.) Riippuen vuorotyön määrästä ja tarkasteluvuosista, on mahdollista saada tuhansien eurojen säästöjä pelkästään polttoaineesta. Sähkökoneita tarkasteltaessa täytyy ottaa huomioon akkujen ylläpitoon käytetty aika. Märkälyijyakun lataamisessa kestää 8–10 tuntia ja akun varaus riittää yhteen työvuoroon, jonka jälkeen akku täytyy vaihtaa, jos halutaan jatkaa työntekoa saman päivän aikana. Litiumioniakut eivät vaadi vaihtoa ja niillä voidaan ajaa 24/7 taukojen aikana lataamista hyödyntämällä. Akun vaihtamiseen käytetty työaika ja sen hinta kaksivuorotyössä viiden vuoden aikana on noin 4000–5000 euroa. (Näin vältät trukkien ostossa tuhansien ylimääräiset kulut n.d.)

Lisävarusteilla tuodaan trukeille ja työntekijöille turvallisuutta ja mukavuutta. Trukkien hyvä varustelutaso tarkoittaa korottunutta hankintahintaa, mutta myös turvallisuutta ja säästöjä muista kustannuksista. Parantuneen turvallisuuden ansiosta esimerkiksi voidaan säästää korvauskuluissa

huomattavasti, sillä kolareita ja vahinkoja sattuu myös vähemmän mitä parempaa laitteistoa on käytettävissä. (Näin vältät trukkien ostossa tuhansien ylimääräiset kulut n.d.)

6 Aineiston keruu ja analysointi

Tutkimusta varten aineistoa kerättiin haastattelemalla toimeksiantajayrityksen logistiikan ammattilaisia ja teettämällä kysely työntekijöille. Lisäksi trukkitoimittajan nettisivuilta hyödynnettiin tuotekatalogeja. Toimeksiantajayrityksen logistiikkainsinööriltä saatiin dokumentteja tarkoista kustannuksista, trukkkikalustosta ja muista tarvittavista teknisistä tiedoista.

6.1 Haastattelut

Haastatteluilla tarkoituksena oli saada vastaukset tutkimuskysymykseen 1 ”voidaanko trukkkikalustoa sähköistää kokonaan tai osittain” ja kysymykseen 3, ”onko sähköistäminen taloudellisesti kannattavaa”. Haastattelut toteutettiin puolistrukturoituneina teemahaastatteluina, joissa kysymyksiä on mietitty etukäteen, mutta haastateltavalle annetaan mahdollisuus vastata vapaasti. Haastattelumalliksi valittiin puolistrukturoitu teemahaastattelu, koska haluttiin tuoda esille haastateltavien kokemusta ja ammattitaitoa esille rajatussa aiheessa. (ks. Luku 2.3 Aineistonkeruumenetelmät ja data). Haastattelujen lisäksi dieselkoneiden vastuullisuutta tutkittiin teettämällä tuotevarastojen työntekijöille kysely, jossa kartoitettiin mahdollisia terveysvaikutuksia dieseltrukkien päästöjen altistumiseen liittyen, sekä trukeista aiheutuvan melun ja värinän vaikutuksista työturvallisuuteen. Haastateltaviksi valittiin kaksi henkilöä, toimeksiantajayrityksen logistiikkapäällikkö ja logistiikkainsinööri. Haastattelujen teemat ja kysymykset ovat esitelty liitteissä 1 ja 2.

Haastateltavia lähestyttiin sähköpostitse, jossa kerrottiin haastattelun tavoite ja aihe. Näin haastateltavat saivat aikaa varustautua tulevaan haastatteluun. Haastattelukysymykset suunniteltiin etukäteen tutkimalla teoriaa trukkien hankinnasta. Kerätyn tiedon avulla saatiin hahmoteltua haastatteluiden kysymykset. Haastattelujen edetessä kysymyksiä saatettiin jättää kysymättä tai se kysyttiin eri muodossa kuin alkuperin ajateltu, sillä laajojen vastauksien takia saatiin jo tarvittava vastaus tai haluttiin vain tarkennusta. Kysymykset aseteltiin niin, että niihin saatiin mahdollisimman laajat vastaukset eikä niihin voinut vastata ”kyllä” tai ”ei”.

Haastattelut toteutettiin etäyhteydellä ja ne tallennettiin ääninauhoitteena. Nauhoite ensin muunnettiin tekstiksi hyödyntäen Wordin sanelinta, jonka jälkeen teksti korjattiin kuuntelemalla nauhoite ja kirjoittamalla virheelliset kohdat uusiksi. Haastattelut kirjoitettiin ensin ylös sanasta sanaan, jonka jälkeen se muokattiin helppolukuisemmaksi poistamalla puhekielen ilmauksia.

Haastatteluista syntyi aineistoa yhteensä yhden tunnin ja 20 minuutin verran ääninauhoitetta, sekä 13 sivua muistiinpanoja (ks. Taulukko 2. Tietovarastotaulukko.) Haastattelujen teemat pohjautuivat tutkimuskysymysten mukaan, mutta kysymykset toisaalta perustuivat ennalta tutkittuun tietoihin trukkien ominaisuuksista ja kustannusrakenteesta.

6.2 Kysely ja dokumentit

Tutkimuksen toista tutkimuskysymystä, miten sähkötrukkien vastuullisuus eroaa dieseltrukeista, lähdettiin tutkimaan tuotevaraston työntekijöille teetetyllä kyselyllä trukkikaluston vaikutuksesta terveyteen ja työympäristöön. Kyselyssä kartoitettiin työntekijöiden kokemuksia dieseltrukeista syntyvään meluun, värinään ja päästöihin. Tarkoituksena oli saada tietoa työntekijöiden kokemuksesta työympäristön ja työvälineiden vaikutuksista työturvallisuuden sekä terveyden kannalta. Kysely on esitetty liitteessä 4.

Kysely kohdistettiin Imatran Tehtaiden tuotevarastojen työntekijöille. Kysely luotiin Google- formilla. Kysely luotiin anonyymisti ja niin, että monivalinta-kysymykset olivat pakollisia ja tarkempaa tietoa sai kertoa vapaaehtoisesti. Toisin sanoen kysely oli suljetun ja avoimen kyselyn yhdistelmä. Vapaaehtoisuus tekee kyselyyn vastaamisesta helpompaa. Haluttiin mitattavaa dataa, mutta myös tutkimuksen kannalta oli oleellista, että kyselyyn vastaajat saavat halutessaan tuoda omia mielipiteitään esille. (ks. Luku 2.3 Aineistonkeruumenetelmät ja data.) Kyselyn tavoitteena oli saada tietoa työntekijöiden kokemuksista työympäristöstä ja dieseltrukkien vastuullisuudesta mahdollisimman laajasti. Kysymykset pohjautuivat ennalta tutkittuun teoriaan dieseltrukkien haittavaikutuksista työntekijöiden terveyteen, kuin myös työympäristöön. Kyselyyn saatiin kokonaisuudessaan 11 vastaajaa ja vastausprosentti oli 20 %.

Haastattelun lisäksi logistiikkainsinööritä pyydettiin tarkempia tietoja trukkien päästöistä, polttoaineen kulutuksesta ja hinnoista sähköpostitse, jotta saatiin mahdollisimman tarkat luvut eikä haastateltavan tarvinnut luottaa pelkästään omaan ulkomuistiin. Lisäksi tutkittiin trukkitoimittajan tuotekatalogeja, josta saatiin lisää teknistä tietoa trukkien päästöistä ja soveltuvuudesta työntekijöiden koon. Dokumenttien avulla saatiin tarkat kustannus- sekä päästötiedot erilaisista trukeista, jonka avulla niitä pystyy luotettavasti vertaamaan toisiinsa. Sähköpostiviesteistä saadut kustannus- ja päästötiedot vietiin Exceliin, jossa ne jaoteltiin eri trukeille erikseen, jolloin trukkien kustannuksia voitiin helposti verrata toisiinsa.

Taulukko 2. Tietovarastotaulukko

Tietotyyppi	Määrä
Ääninauhoite	1h 20min
Muistiinpanot	13 sivua
Kysely	11 vastausta
Tuotekatalogit	6 kpl
Sähköpostiviestit	8 kpl

7 Tutkimuksen tulokset

Haastatteluissa selvitettiin kohdeyrityksen trukkien erilaisia vaatimuksia työnteen suhteen, sekä kohdeyrityksen dieseltrukkien kustannuksia ja päästötietoja. Haastateltavaksi valittiin tutkijan ennakoon tuntema kohdeyrityksen logistiikkapäällikkö, sekä logistiikkainsinööri.

7.1 Logistiikkapäällikön haastattelu

Haastattelun teemana oli trukkipalaston vaatimukset. Varsinaisen haastattelun ensimmäinen kysymys koski tehtaalla trukkipalastoa, minkälaista kokoluokkaa tehtaalla käytetään ja kuinka paljon. Tehtaalla käytettävien trukkien kokoluokkien haara vaihtelee 1,5 tonnista 16 tonniin. Tuotevarastoilla on käytössä polttomoottoritrukkeja kolmen tonnin kokoluokasta 16 tonniin. Tuotannossa sekä materiaalityyppien kanssa on käytössä pieniä sähkötrukkeja. Tuotevarastoilla suurin osa trukkipalastosta koostuu kahdeksan ja viiden tonnin trukeista, joille tulee ajotunteja vuodessa noin 2500 tuntia per trucki. Tuotevarastojen toimiessa yöstä päivään vuoden jokaisena päivänä, jos tuotantoseisokkeja ei lasketa, tämä tarkoittaa, että trukilla ajetaan yhden vuorokauden aikana noin seitsemän tuntia.

Haastattelussa selvisi, että tärkeimmät rajoitteet ja vaatimukset trukeille ovat niiden nostokyky, koko, ajoaika ja turvallisuusvarustus. Kahdeksan tonnin kokoisia trukkeja käytetään pääosin liukuhinnan tyhjentämiseen ja junavaunujen lastaukseen. Kartonki- tai paperirullan koko ja lastauskohde yleensä määrittää lastauksessa minkälaista työkoneita käytetään. Varsinkin autojen ja konttien perästä lastaukseen vaaditaan koneita, jotka ovat minimissään 3,5 tonnin koneita.

Junavaunujen lastauksessa maksimikorkeus koneella saa olla junavaunun tyypin mukaan noin 3–4 metriä ja konteissa 2,3 metriä. Kuvioon 11 on koottu tärkeimmät vaatimukset

Vaatimukset

- Nostokyky isoimmilla 8000 kg, pienemmillä 3000-5000 kg
- Käyttötunteja vuodessa 2500-3000, täytyy pystyä toimimaan 24/7
- Korkeus junavaunuissa 3-4 metriä, trailerit ja kontit 2,3-2,6 metriä

Kuvio 11. Trukkien vaatimuksia

Myös työntekijöiden tottumukset ovat yksi rajoittava tekijä. Eri varastoilla on esimerkiksi totuttu erilaiseen lisävarusteisiin, ja työntekijät ovat tottuneet tekemään samoja tehtäviä erilaisella kalustolla, vaikka olisikin parempaa ja turvallisempaa vaihtoehtoa tarjolla.

Muita vaatimuksia trukeille lisävarusteista on asetettu niin EU-direktiivien mukaan, mutta myös yrityksen omien linjojen mukaisesti. Trukeissa täytyy olla niin sanottu BlueSpot- valo, eli alaspäin suunnattu sininen valo, joka syttyy trukilla peruuttaessa. Tämän lisäksi tarvitaan myös kirkas valo taaksepäin, joka näkyy kattopeileistä paremmin muilla alueella liikkuville trukeille. Jokaiseen truckiin on myös asennettava Innotrafikin Välkky- järjestelmä. Järjestelmä toimii niin että alueella liikkuvilla henkilöillä on hälytinkapula mukana, ja kun henkilö on 15 metrin päässä trukista, kapula alkaa hälyttämään valolla, tärinällä ja piippauksilla. Trukin hyttiin kuuluu samaan aikaan piippausta. Myös pakollisena polttomoottoritrukeissa on automaattinen sammutusjärjestelmä palon sattuessa. Kaasutrukit ovat olleet mietinnässä mutta niissä on ilmennyt kaksi ongelmaa. Ajojunteja tulee niin paljon, että trukkien tankkaus veisi liikaa työaika ja vastapainon päälle ei voida laittaa kaasutankkeja koska ne haittaisivat näkyvyyttä liikaa.

7.2 Logistiikkainsinöörin haastattelu

Haastattelussa selvisi, että Imatran Tehtaiden tuotevarastoilla käytettävien trukkien polttoainekustannukset vuosittain ovat isojen 8 tonnin koneiden kohdalla noin 13 500 euroa per trucki. 5 tonnin koneiden kohdalla kustannus on noin 12 500 euroa. Trukeilla, joille tulee vähemmän ajoa, kuten konttikoneet, kustannukset ovat muutamia tuhansia euroja vuodessa. Trukkien kustannukset koostuvat vuokra- ja polttoainehinnan lisäksi huolto- ja kunnossapitokustannuksista, sekä vakuutusmaksuista. Kolarit ja rengaskulumakustannukset eivät kuulu näihin, vaan ne ovat erillisiä kustannuksia.

Toimeksiantajan saamien tarjouksien perusteella sähköiset trukit ovat noin 30 % kalliimpia hankintahinnaltaan, mutta maksaisivat noin kahdessa vuodessa itsensä takaisin, kun säästetään polttoainekustannuksissa. Vuokrahinnaltaan 8 tonnin sähkötrukit olisivat 11 % kalliimmat kuin dieseltrukit. 5 tonnin sähköinen versio olisi taas vuokrakustannukseltaan samanhintainen. Huolto- ja kunnossapitokustannuksista ei ole tietoa sähkötrukkien osalta.

Aikaisemmin on ollut kokeilussa sähkötrukkeja, mutta on todettu, että niillä ei voida tehdä 37-vuorojärjestelmän mukaisesti työtä. Tämä johtuu lyijyakun latausajan pituudesta. Tämän lisäksi litiumakuilla varustetuille koneille ei saada lupaa niiden paloturvallisuusriskien takia. Litiumakulliset koneet vaatisivat investointeja erillisiin lataustiloihin, jotta tulipalon syntyessä ne eivät olisi tuotevarastossa varastoitavien paperi- ja kartonkirullien läheisyydessä. Kysymysmerkeiksi on myös muodostunut se, millaiset investointikustannukset latausinfra ja sähköverkon rakentaminen toisi.

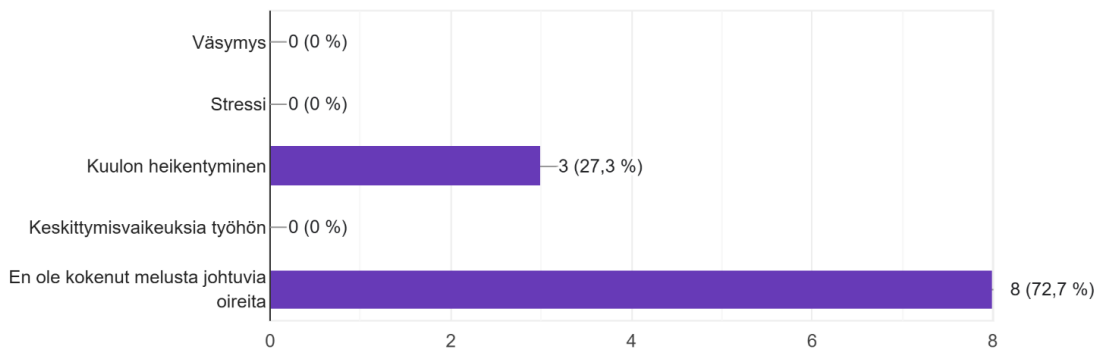
Trukit koetaan päästöiltään puhtaiksi tuotevarastoilla. Nykyaikaisissa trukeissa olevat pienhiukkasuodattimet suodattavat tehokkaasti pahimmat päästöt ja hiukkaset pakokaasuista. Trukkien sekä varaston tehokas ilmastointi vaikuttaa paljon ilman puhtauteen. Suurimmaksi ongelmaksi tuotevarastoilla koetaan taas dieselveurit, jotka kuljettavat junavaunuja varastolta saastuttaen työympäristön ilmaa.

7.3 Kysely ja dokumentit

Kyselyssä ilmeni, että 27 % vastaajista on kokenut kuulon heikentymistä trukeista aiheutuvasta melusta (ks. Kuvio 12). Työympäristöön trukit aiheuttavat vaikeuksia muun muassa kommunikaatioissa. Vastaajista 45 % kertoivat, että melun takia kommunikaatio on ollut hankalaa muiden työntekijöiden kanssa. Melun takia työntekijät eivät kuule radiopuhelinta kunnolla, mutta myös muita tärkeitä ympäristön ääniä peittyi. Melun takia myös yhdellä vastaajalla keskittyminen on heikentynyt ja johtanut vahinkoon tai läheltä piti tilanteeseen (ks. Kuvio 13.)

Oletko kokenut trukkien aiheuttamasta melusta seuraavia oireita:

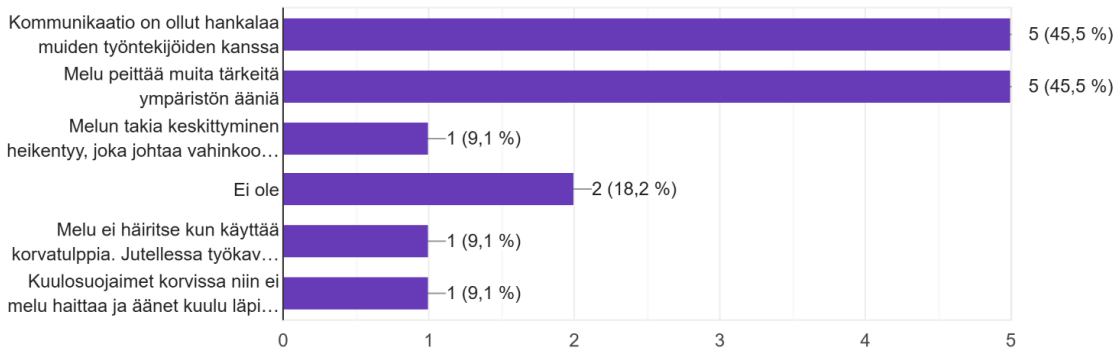
11 vastausta



Kuvio 12. Työntekijöiden oireita trukkien melusta

Onko trukkimelu aiheuttanut tilanteita jossa

11 vastausta

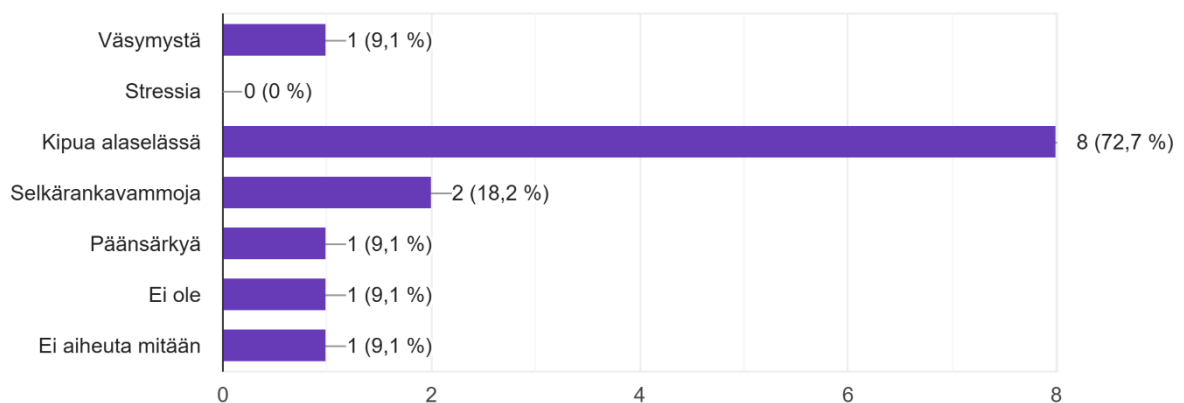


Kuvio 13. Melun vaikutusta työympäristöön

Trukeista syntyy ajaessa myös tärinää, jonka takia 72 % vastaajista kokee kipua alaselässä. Tämän lisäksi 18 % on saanut selkärankavammoja. Tärinästä koetaan myös väsymystä ja päänsärkyä (ks. Kuvio 14.) Vastaajat myös kertovat, että varaston lattiassa on korkeuseroja, jotka aiheuttavat välillä trukin hyppimistä ja teräviä iskuja. 73 % prosenttia vastaajista kokee, että ilmanlaatu on heikkoa, mutta toisaalta vastaajat eivät koe, että trukit olisivat suuri tekijä ilmanlaadun epäkohdissa. Asteikolla 1–5 koettiin että trukit ovat heikentävä tekijä työalueen ilmanlaatuun keskiarvolla 1,9. Vastaajista 36 % kokee, että työalueen ilmanlaatu heikentää omaa hyvinvointia ja terveyttä.

Onko trukilla ajaessa syntyvä tärinä aiheuttanut

11 vastausta



Kuvio 14. Työntekijöiden kokemuksia tärinästä

Kyselyn vastauksista ilmenee, että työympäristöä eniten pilaa pöly, lika ja dieselveureiden pakokaasut. Trukit ovat kehittyneet vuosien saatossa suuresti, sillä osa vastaajista muistaa kuinka ennen trukeista lähti mustaa savua, nykyään trukkien päästöjä ei aisti ollenkaan.

Vastaajista kaksi sanoo kokeneensa hengitystieoireita vapaa-ajalla, ilman että olisi ollut mitään muita erillisiä tulehdusoireita kuten flunssaa. Yksi vastaajista kertoo, että vaikka trukeissa on hyvät suodatinjärjestelmät, huomaa, että työpäivän päätyttyä olo on aina selkeästi tukkoinen. Pakokaasuille altistuminen on jaottunut vastaajien keskuudessa huomattavasti. 54 % kokee altistuvansa vähintään 7 tunnin ajan, kun taas 27 % kokee altistuvansa alle tunnin ajan. Vastaajat ovat työskennelleet tuotevarastoilla Imatralla vaihtelevasti 5–30 vuoden ajan.

8 Johtopäätökset

8.1 Voidaanko trukkikalustoa sähköistää kokonaan tai osittain?

Tähän tutkimuskysymykseen haettiin vastaus haastatteleamalla toimeksiantajayrityksen logistiikan asiantuntijoita sekä tutkimalla trukkitoimittajien esitteitä erilaisista trukkimalleista, jolloin vaatimuksia ja ominaisuuksia voitiin verrata. Haastatteluissa saatiin tietoa trukkien vaatimuksista, joista tärkeimmät ovat tämän työn kannalta nostokapasiteetti, fyysiset mitat ja ajotunnit. Tuotevarastojen nykyisellä trukkitoimittajalla on olemassa jokaista kokoluokkaa vastaava sähköinen versio. Näillä sähköisillä vaihtoehtoilla on fyysisesti samanlaiset mitat, nostokyky, nostokorkeus ja turva-, sekä lisävarusteet.

8.1.1 Työaika

Tuotevarastojen trukkien ajotunneiksi vuodessa on ilmoitettu 2500–3000 tuntia. Tämä tarkoittaa, että keskimääräisesti vuorokauden aikana trukilla ajettaisiin vähintään hieman alle seitsemän tuntia. Maksimissaan taas ajotunnit olisivat vähän päälle kahdeksan tuntia. Tuotevarastoilla työvuoro vaihtuu 12 tunnin välein, jolloin yhden vuoron aikana ajetaan keskimääräisesti noin 4–5 tuntia. Ottaen nämä luvut huomioon, voidaan päätellä, että yhdellä varauksella ei voida työtä tehdä lyijyakullisella trukilla pitkien latausaikojen ja akun viilentymiseen vaadittavan ajan takia.

Akun vaihtaminen ja tyhjän akun lataaminen mahdollistaa sen, että trukeilla voidaan toimia ympäri vuorokauden. Olemassa olevan toimittajan sähköisiin trukkeihin voidaan helposti vaihtaa akku, joko toisella trukilla tai akunvaihtokalustolla. Tulevaisuudessa, jos litiumakuille saadaan lupa, investointeja vara-akkuihin ei tarvita ja lataaminen voidaan hoitaa taukojen puitteissa. Taulukossa 3 käydään läpi käyttövoimien mahdollisuuksia ja haasteita.

Taulukko 3. Käyttövoimavertailu

Vetytrukki	Ominaisuuksiltaan paras, haasteena vedyn saatavuus. Ainoa päästö vesihöyry. Akun käyttöikä ei kärsi latauksesta. Toimittajalta saatavilla 5 tonnin kokoluokkaan asti
Litiumakku	Ihanteellinen vaihtoehto sähköistämiseen, mutta ei ennen kuin saadaan lupa käyttöön. Teoriassa ei vaadi erillisiä lataustiloja, latauksessa ei synny höyryä tai kemikaaleja. Saatavilla 18 tonnin kokoluokkaan asti
Lyijyakku	Mahdollistaa sähköistämisen, mutta vaatii vara-akut trukeille ja erillisen lataustilan akun lataamisesta syntyvän höyryn takia. Saatavilla 18 tonnin kokoluokkaan asti

8.1.2 Käyttövoimat

Trukkikaluston sähköistämistä tutkittiin kolmen eri käyttövoimateknologian kannalta. Lyijy-, ja litiumakku sekä polttokennoilla toimiva vetytrukki. Kun tarkastellaan litiumakkua trukin käyttövoimana, on se ominaisuuksiltaan täydellinen vaihtoehto. Litiumakulla saataisiin koko trukkikalusto vaihdettua sähköisiin versioihin. Suurin este litiumakussa se, että sen käyttöön ei olla saatu lupaa. Luvan saanti vaatisi erillisiä lataustiloja litiumakullisille trukeille, sillä tuotevarastontilat ovat vanhanaikaisia ja liian suuren paloriskin omaavia. Teoriassa litiumakut eivät vaadi erillisiä tiloja ja luotettavan akunhallintajärjestelmän avulla ne ovat täysin paloturvallisia (ks. Luku 4.4 Akkujen turvallisuus.)

Tutkimuksessa nousi esille myös polttokennoilla toimivat vetytrukit varteenotettavaksi vaihtoehdoksi. Nykyisellä toimittajalla on tällaisia trukkeja toistaiseksi 5 tonnin kokoluokkaan asti. Näillä on akkuteknologioihin etu verrattuna siinä, että niiden lataaminen on huomattavasti nopeampaa ja niiden ainoa päästö on vesihöyry. Polttokennojen teho ei laske käytön seurauksena ja kennojen huoltotarve on hyvin vähäistä. Vety on kannattavaa varsinkin suurella trukikalustolla, joka sijaitsee yhdessä paikassa. Ongelmana tällä hetkellä on vedyn saatavuus, mutta viimeaikaiset uutiset vetytalouteen investoinneista luovat toivoa tulevaisuuteen.

Sähköistämiseen soveltuu tässä tilanteessa lyijyakku. Akun kelpoisuutta rajoittaa akun kestävyys ja latauksen vaatima aika. Tuotevarastoilla käytettävässä 37- vuorojärjestelmässä työtä tehdään ympäri vuorokauden koko vuoden ajan. Lyijyakun lataaminen vaatii vähintään 8 tuntia aikaa ja viilentymisen 6–8 tuntia. Toimittajan 5 tonnin sähköisessä trukissa akun ilmoitettu energiasisältö on 59.52 kWh ja sen energian kulutus on 10 kWh/h, tällöin yhdellä akulla voidaan toimia noin 6 tunnin ajan ennen kuin se täytyy ladata. Yhdellä akulla ei voida työtä tehdä, sillä akun lataaminen ja viilentymisen veisi liikaa aikaa. Tämän takia työvuoron aikana akun vaihtaminen on tarpeellista työnteon jatkuvuuden kannalta.

8 tonnin koneelle kulutus on 18,3 kWh/h. Akun sisältämää energian määrää ei tiedetä, mutta nimelliskapasiteetiksi on ilmoitettu 80 v/1240ah. Tästä saadaan laskettua energiasisältö akulle (ks. Luku 3.3 Akkuteknologiat). Akun kapasiteetiksi saadaan 99,2 kWh. Laskelman avulla voidaan päätellä, että yhdellä varauksella voidaan ajaa noin 5,5 tuntia ennen latauksen tarvetta. Tämä aika teoriassa riittää vähintään yhdelle 12 tunnin työvuorolle, jolloin isommatkin koneet voidaan sähköistää.

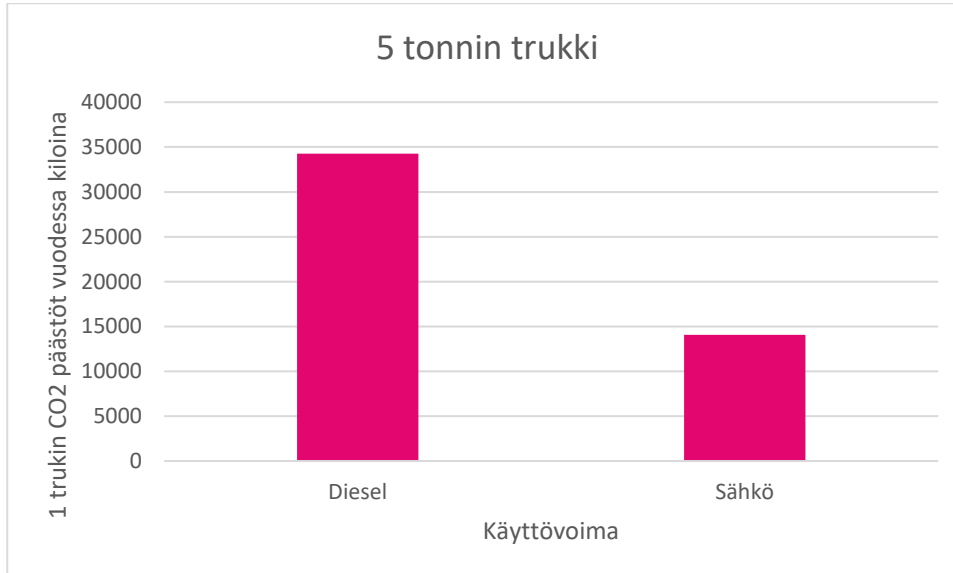
Sähköistämistä kannattaisi harkita 20 trukin osalta, kun trukkeja on tällä hetkellä yhteensä 36. Teoriassa koko trukkaluston sähköistäminen on mahdollista, mutta käytännössä se on haastavaa ja riskialtista. 8 tonnin trukeista kannattavaa olisi sähköistää kaikki ja 5 tonnin luokassa kolme kappaletta. Pienempien kokoluokkien koneissa suurimman osan käyttötunnit ovat niin alhaiset, että säästöt kustannuksissa ovat todella minimaaliset verrattuna siihen riskiin, että akun loppumisen takia konetta ei voitaisi käyttää. Vara-akkua tai ylimääräisiä trukkeja ei ole kannattavaa näille koneille hankkia, sillä akku maksaa niin paljon, että takaisinmaksuaika olisi liian pitkä, ja varatrukin vuosittaiset kustannukset ovat suuremmat kuin säästöt.

8.2 Millä tavalla sähkötrukkien vastuullisuus eroaa dieseltrukeista?

Trukkien vastuullisuutta tutkittiin kirjallisuuskatsauksella ja teettämällä tutkimus tuotevarastojen työntekijöille työympäristöstä ja terveydestä. Sähkötrukin hiilijalanjälkeen vaikuttaa se, miten sähkö on tuotettu. Mitä puhtaammin sähkö on tuotettu, sitä vähemmän päästöjä käytöstä syntyy.

8.2.1 Päästöt

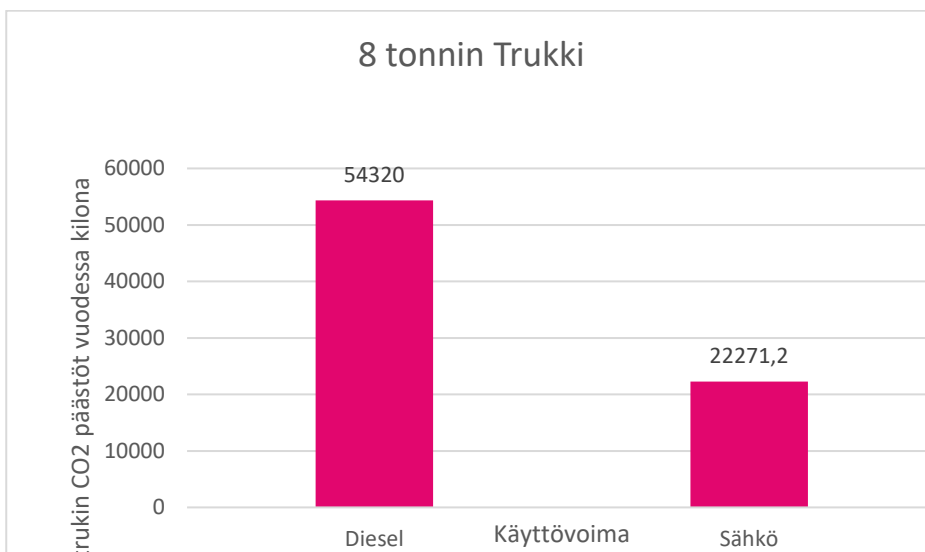
Trukkien teknisistä tiedoista selviää, että 5 tonnin trukeilla päästöt ovat dieselversiossa 13,7 kg/h ja sähköisessä vastaava luku on 5,6 kg/h, eli sähköisen trukin hiilidioksidipäästöt ovat 41 % diesel trukin päästöistä. Tämä perustuu trukkien energiatehokkuutta mittaavaan EN 16796 standardiin. Kuviosta 15 nähdään, että 5 tonnin trukeilla sähköisen version päästöt ovat noin kolmasosa diesel-versiosta. Ottaen huomioon eri varastojen käyttötunnit, 5 tonnin koneiden päästöt ovat yhteensä 143 850 kg, kun taas sähköisillä versioilla vastaava luku on 59 010 kg, jolloin hiilidioksidipäästöjä säästettäisiin vuodessa 84 840 kg. Täysin vihreästi tuotettu sähkö tarkoittaa, että trukeista ei tule ollenkaan haitallisia päästöjä (ks. luku 3.3.2 Litium-ioniakku).



Kuvio 15. 5 tonnin trukin päästöt vuosittain

Teknisistä tiedoista selviää myös 8 tonnin koneiden CO2 päästöt. Dieselversioilla luku on 19,4 kg/h. Kuvion 16 mukaan yhdellä trukilla vuotuiset päästöt ovat 54 320 kg, tämä luku vastaa keskivertoisella uudella dieselautolla 300 000 kilometrin ajoa. Kaikki trukit yhteen laskettuna tämä on siis

923 440 kg per vuosi. Luku vastaa 0,01 prosenttia vuoden 2023 kotimaisen liikenteen päästöistä. Isompien 8 tonnin koneiden sähköisten versioiden hiilidioksidipäästöjen vertailua ei ole ilmoitettu teknisissä tiedoissa, mutta jos oletetaan, että suhdeluku on sama kuin 5 tonnin trukeissa, niin yhden trukin päästö olisi 22 271 kg per vuosi ja kaikki sähköistettynä se olisi 378 610 kg. Säästöä tulisi silloin 544 830 kg per vuosi. Kaikki trukit sähköistämällä päästöt olisivat vuosittain noin 630 000 kiloa pienemmät (ks. Taulukko 4. Trukkien CO₂- päästöt). CO₂ päästöjen lisäksi sähköisillä trukeilla monet muut päästöt ovat pienemmät kuin dieseltrukeilla, kuten vinyylidikloridi karsinogeeni (ks. Luku 4.1 Vihreää varastointia.)



Kuvio 16. 8 tonnin trukin päästöt vuosittain

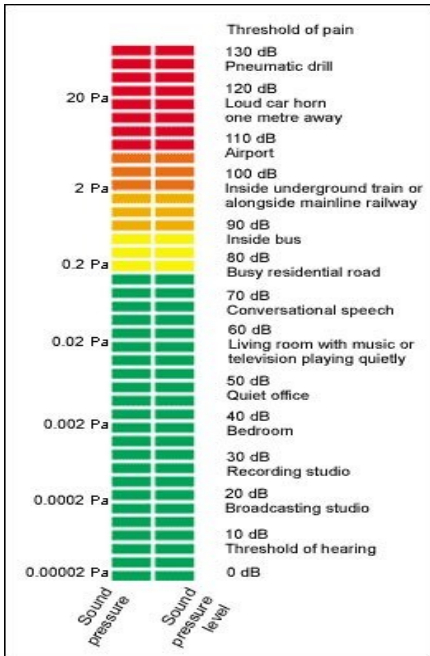
Taulukko 4. Trukkien CO2- päästöt

Trukkityyppi	CO2 päästöt/v	Vastaa päästöjen osalta
8t Diesel	923 440 kg	0,01% kotimaisen liikenteen päästöistä
8t Sähkö	378 610 kg	647 meno-paluu lentoa Helsingin ja Münchenin välillä
5t Diesel	143 850 kg	13 000 sähkösaunan lämmitystä
5t Sähkö	59 010 kg	30 000 litraa bensaakulutusta
Säästöä	629 670 kg	82 keskiverron suomalaisen vuotuiset CO2 päästöt

8.2.2 Melu

Trukkimelu vaikuttaa työympäristöön haitallisesti ja joissain tilanteissa jopa vaarallisesti. 45 % kyselyn vastaajista oli sitä mieltä, että melun takia muiden työntekijöiden kanssa kommunikointi on haastavaa ja melu peittää tärkeitä ympäristön ääniä. Tällainen työympäristö on vaarallinen ja saattaa johtaa vahinkoihin, kuten kolareihin tai tuoterikkoihin. Dieseltrukista lähtevä ääni on 85–100 desibelin välillä ja sähköisellä trukilla taas 60 dB (ks. Luku 4.3 Melusaaste). Kuviosta 17 nähdään

että 60 desibeliä vastaa olohuoneessa soivaa hiljaista musiikkia ja 90 desibeliä vastaa bussissa matkustamista. Sähköisellä versiolla voidaan ennalta ehkäistä melun takia syntyviä vahinkoja ja kuulovammoja.



[This Photo](#) by Unknown Author is licensed under [CC BY](#)

Kuvio 17. Desibeliskaala

Sähköisillä trukeilla voi myös olla vaikutusta työntekijöiden hyvinvointiin. Kyselyssä ilmeni, että suurimmalla osaajalla on trukista aiheutuvan tärinän vuoksi selkäkipuja, ja muutamalla myös selkärankavammoja. Teorian mukaan sähkötrukki on tasaisempi ja stabiilimpi ajaessa, jolloin selkävai-vojen syntymistä voidaan ennaltaehkäistä (ks. Luku 4.2 Työympäristö.)

8.2.3 Terveys ja hyvinvointi

Työntekijöiden mielestä ilmanlaadun heikkouteen ei dieseltrukeilla ole juurikaan vaikutusta. Suurimmiksi ongelmiksi koetaan varaston pöly ja junavaunuja kuljettavat dieselveurit. Työntekijät ko-kevat, että trukien suodattimet ovat niin tehokkaat, että trukin päästöjä ei aisti. Toisaalta muut tekijät kuten dieselveurit todennäköisesti peittävät trukien päästöjä työympäristössä, jolloin

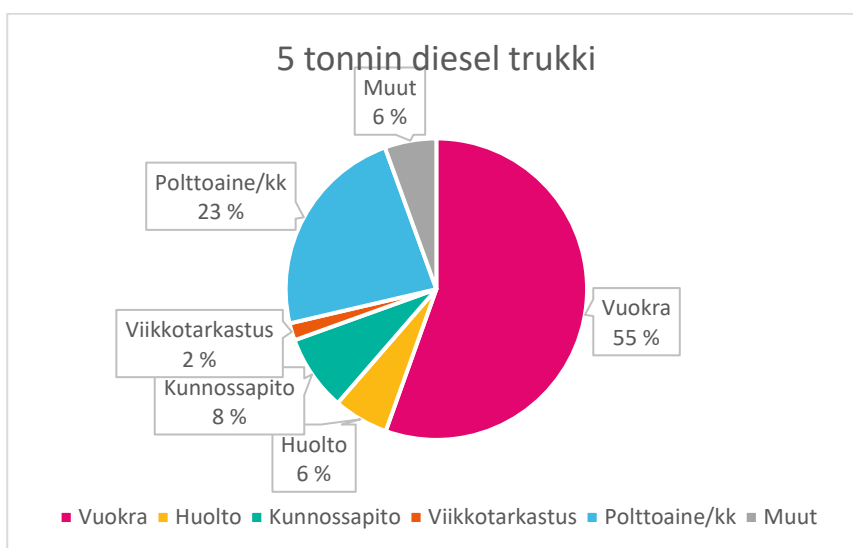
niitä on vaikea havaita. Teoriassa nousi esille työnantajan velvollisuus turvata työntekijöiden terveys poistamalla tai vähentämällä altistuminen vaaratekijälle niin alhaiseksi kuin teknisesti mahdollista. Dieseltrukkien pakokaasuille altistuminen on syöpävaarallinen tekijä, jolloin työnantajan tulisi pyrkiä tutkimaan kaikki keinot, joilla on mahdollista alentaa tätä riskiä (ks. Luku 3.2 Sähköistäminen).

8.3 Onko sähköistäminen taloudellisesti kannattavaa?

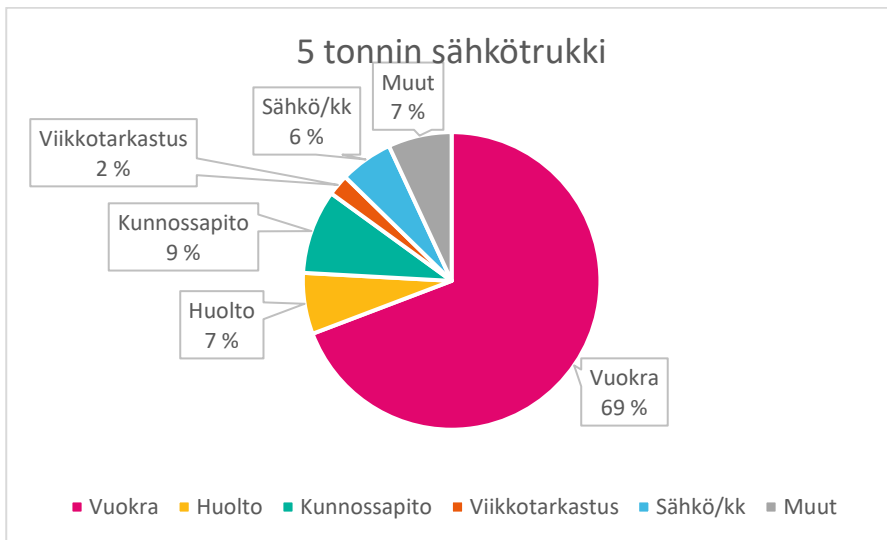
Taloudellista kannattavuutta on arvioitua lyijyakallisille trukeille, sillä muista akkuteknologioista ei saatu tarkkaa kustannustietoa. Trukkikaluston sähköistäminen vaatii investointeja latausinfrastruktuuriin ja ymmärrystä kokonaiskustannuksista. Sähköistämällä saadaan huomattavia käyttökustannussäästöjä, jonka takia se olisi taloudellisesti kannattavaa ja kannattavuus tulisi näkymään hyvinkin nopeasti. Työssä tutkittiin 8 tonnin ja 5 tonnin kokoluokan trukkien kustannuksia, sillä ne ovat huomattavasti suuremmissa käytössä verrattuna muihin pienempiin yksittäisiin koneisiin. Tuotevarastoilla on käytössä 8 tonnin trukkeja 17 kappaletta ja 5 tonnin trukkeja 9 kappaletta.

8.3.1 5 tonnin trukit

Tutkimuksessa selvisi, että varsinkin 5 tonnin kokoluokan koneissa säästöä syntyy huomattavia määriä. Kuvioissa 18 ja 19 on esitelty 5 tonnin trukkien kustannusrakenteet käyttövoimien



Kuvio 18. 5 tonnin dieseltrukin kustannusrakenne



Kuvio 19. 5 tonnin sähkötrukin kustannusrakenne

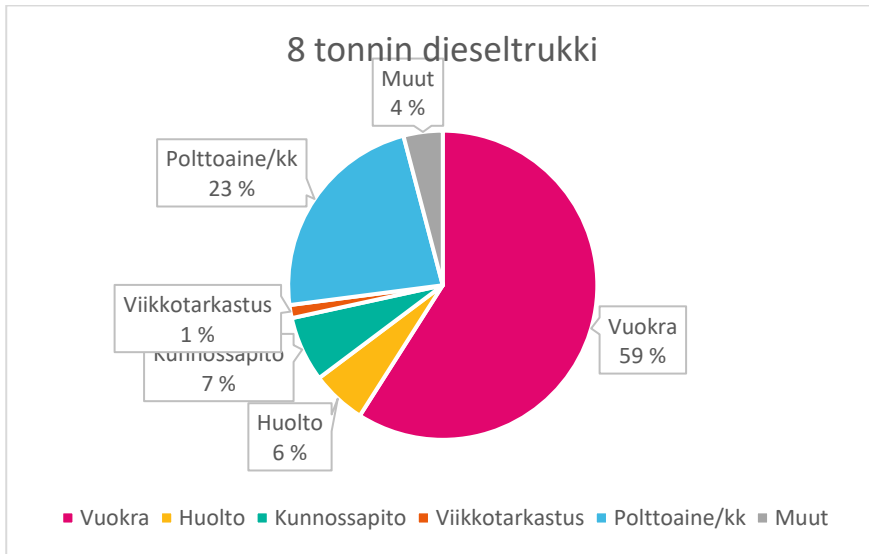
Sähköisen trukin käyttökustannukset ovat 20 % pienemmät kuin dieselversiolla, tämä voi myös nousta riippuen minkälaisella prosentilla saadaan huolto- ja kunnossapitokustannuksia alennettua. Laskelmissa on käytetty maltillisesti 10 % pienempiä huolto- ja kunnossapitokustannuksia verrattuna dieseltrukkeihin, vaikka teoriassa nämä kustannukset voivat olla jopa 50 % pienemmät (ks. luku 5.5 Kokonaiskustannukset). Sähköisissä trukeissa on paljon isoja kulumis- ja huoltovapaita osia, jonka takia huoltoa ei tarvita yhtä usein ja huolto on usein halvempaa. Myös sähkön hinta vaikuttaa laskelmiin. Ei ollut tietoa paljonko trukin sähköllä lataaminen maksaa, joten laskelmissa on käytetty 0,1 €/kWh hintaa, koska sillä hinnalla saadaan sähköautoa ladattua tehtaalla.

Kaikkia 5 tonnin koneita ei ole järkevää sähköistää, sillä kuudella niistä on niin alhaiset ajotunnit vuosittain, että säästöä ei tule kuin pari tuhatta euroa vuodessa kappaleelta. Näille trukeille kannattavaa olisi uusittaessa vaihtaa sähköisiin versioihin, jos voidaan ottaa käyttöön litiumakulliset trukit, koska vara-akkujen hankinta ei ole kannattavaa. Kolmella 5 tonnin trukeilla vuosittaiset ajotunnit ovat 2500 luokkaa, jonka takia sähköistämistä kannattaa näiden osalta harkita.

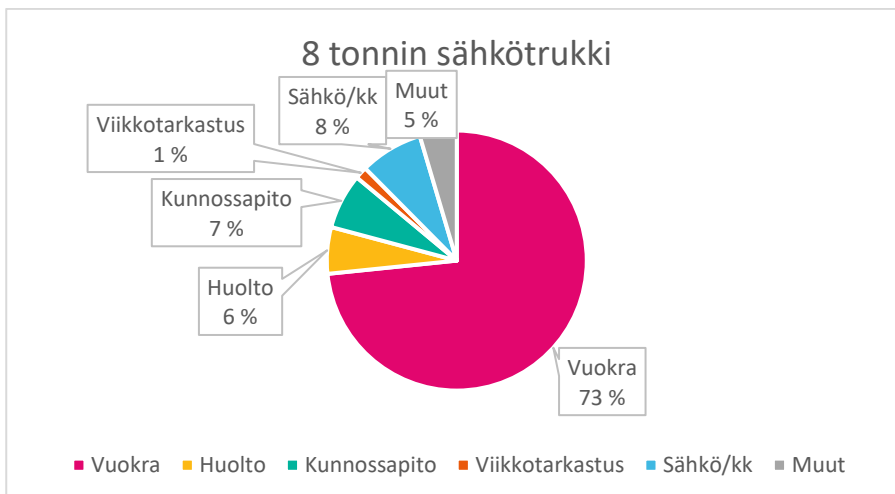
8.3.2 8 tonnin trukit

8 tonnin kokoluokan trukeilla myös saadaan huomattavia kustannussäästöjä. Sähköisen version kustannukset kuukaudessa ovat 11 % pienemmät kokonaisuudessaan. Kaikki 8 tonnin trukit säh-

köistettynä toisivat säästöjä sadan tuhannen euron luokassa. 8 tonnin koneiden vara-akkujen hintaa ei tiedetä varmaksi, trukkien valmistajan tuotekatalogeista selviää, että niille on saatavilla helppo akunvaihto, joten voimme olettaa, että vara-akkuja on olemassa. Tarkat kannattavuustiedot saataisiin, jos tiedettäisiin vara-akun hinta, mutta oletetaan että vara-akun hinta nousee suhteessa trukin vuokrahintaan, eli 11 % kalliimpi kuin pienemmän 5 tonnin versio (ks. Luku 7.2 logistiikkainsinöörin haastattelu.)



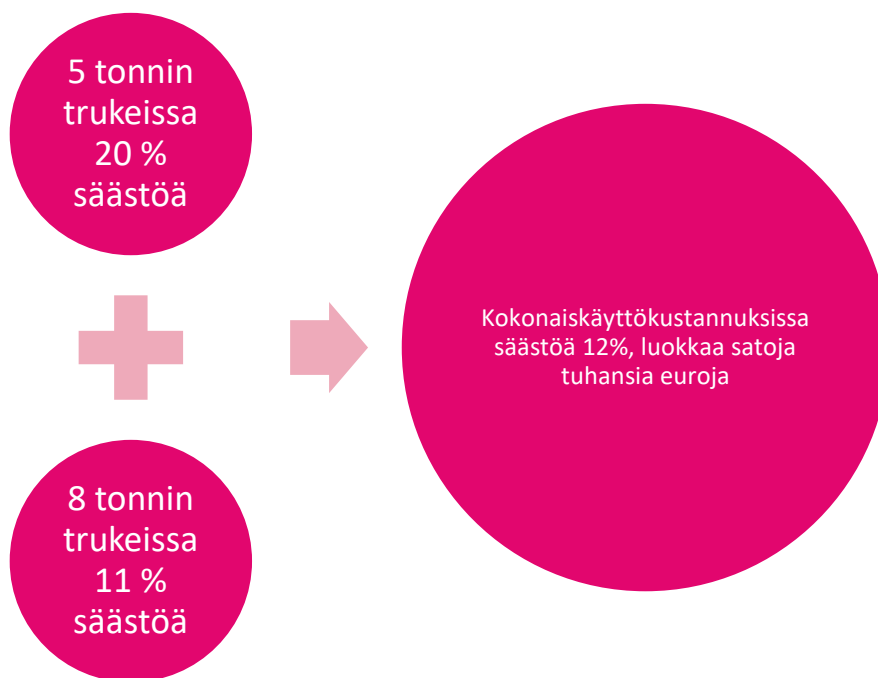
Kuvio 20. 8 tonnin dieseltrukin kustannusrakenne



Kuvio 21. 8 tonnin sähkötrukin kustannusrakenne

Jos olisi saatavilla litiumakullisia trukkeja, vuokrahinta saisi ylimmillään olla 4803 €, jotta kustannukset eivät mene miinuksen puolelle. Vuokra-hinnan ollessa esimerkiksi 4400 euroa, vuosittaiset säästöt olisivat noin 63 000 euroa, olettaen että huolto- ja kunnossapitokustannukset ovat 10 % pienemmät kuin dieselversiolla. Etuna olisi, että akkujen vaihtoa ei tarvitse miettiä ja lataus saadaan tehtyä taukojen puitteissa (ks. Luku 3.3.2 Litium-ioniakku.)

Yhteenvedona trukikaluston sähköistäminen olisi taloudellisesti varsinkin pitkällä aikavälillä kannattavaa. Lyijyakullisten trukkien kannattavuutta laskee vara-akkujen tarve, joten suurin mahdollinen hyöty saataisiin litiumakullisista. Vara-akut maksavat 9–10 tuhatta euroa per kpl, jolloin niiden takaisinmaksuaika on noin vuoden verran. Toimenpitosuosituksina toimeksiantajalle olisi selvittää latausinfrastruktuuriin investointia, sillä trukkien sähköistämällä saataisiin huomattavat säästöt käyttökustannuksista ja vähennettyä yrityksen hiilijalanjälkeä. Kokonaisuudessaan 20 trukin sähköistämällä vuosittaiset käyttökustannukset olisivat 8 tonnin trukkien kohdalla 11 % pienemmät ja 5 tonnin trukkien kohdalla 20 % pienemmät, yhteensä 12 % pienemmät (ks. Kuvio 22.) Säästöluokka on satoja tuhansia euroja. Tarkat luvut ja laskelmat ovat esitetty liitteessä 3.



Kuvio 22. Sähköistämisen kustannusvaikutus

9 Pohdinta

Tutkimuksen tavoitteena oli tehdä selvitys trukkikaluston sähköistämisen mahdollisuuksista, vastuullisuudesta ja kannattavuudesta. Tuloksena aikaiseksi saatiin selvitys sähköistämisen tuomista säästöistä käyttökustannuksista, mahdollisista työympäristön parannuksista, sekä päästöjen vähentämisestä.

9.1 Opinnäytetyön merkitys

Tutkimustulokset ovat käyttökelpoisia toimeksiantajalle ja toimivat suuntaa antavina lukuina ja tietona siitä millaisia hyötyjä sähköistamisellä voidaan saada käyttökustannuksissa. Toisaalta toimeksiantajan tulisi tutkia vielä investointia latausinfraan, jotta sähköistämisen todellista kannattavuutta ja vaatimuksia voidaan arvioida paremmin.

Tutkimuksen tulokset eivät ole suoraan yleistettävissä, koska selvitys nojautuu suuresti toimeksiantajan toimintojen suuruusluokkaan ja trukkien käyttötietoihin, joten tulokset pätevät ainoastaan toimeksiantajayrityksen toimintoihin. Tutkimuksen tavoitteena ei ollutkaan yleistettävyys vaan haluttiin arvioida toimeksiantajayrityksen mahdollisia hyötyjä käyttökustannuksiin trukkien sähköistämisestä.

Tutkimuksella on suuri merkitys sisälogistiikan kustannustehokkuuteen, hiilijalanjäljen pienentämiseen ja työntekijöiden hyvinvointiin. Tutkimuksella on myös merkitystä sähkötrukkeihin syntyneitä negatiivista mielikuvaa vastaan. Teoriassa ilmeni, että sähkötrukkeja kohtaan on ennakkoluuloa niiden tehottomuudesta ja kyvyttömyydestä toimia työympäristössä, jossa kuormat ovat suuria ja työtä tehdään vuorokauden ympäri ulko- ja sisätiloissa (ks. Luku 3.2 Sähköistäminen). Myös haastatteluissa ilmeni, että aikaisemmat kokeilut sähkötrukeilla varastolla ovat osoittautuneet riittämättömiksi akun latauksen vaatiman ajan takia. Tällä tutkimuksella osoitettiin sähköisten trukkien pätevyys sisälogistiikan toimintoihin, vaikka akkuja pitäisi ladata pitkiä aikoja kerralla.

Jatkotutkimuksena voitaisiin tutkia monien erilaisten yritysten varastotoimintoja ja niiden sähköistämistä. Tällöin voidaan vertailla eri alojen ja kokoluokkien toimintojen sähköistämistä tuomaan laajempi kuva sähköistämisen tuomista hyödyistä.

9.2 Luotettavuus

Työssä on käytetty monipuolisesti erilaisia lähteitä kuten kirjoja ja tieteellisiä artikkeleita alan aiheista ja kaikki kirjoitettu teoria liittyy oleellisesti tutkittavaan aiheeseen. Työn tietoperusta tukee hyvin tutkimuksessa tuotettua aineistoa ja johtopäätöksiä. Johtopäätöksissä on hyödynnetty tietoperustassa esille tulleita aiheita ja lukuja. Tutkimuskysymykset ovat rajattu tarkasti ja tarkoituksenmukaisesti niin, että tutkimuksesta ei tule niin laaja, että se olisi ollut hankala toteuttaa yhden opinnäytetyön sisällä.

Tutkimuksen toteuttaminen sujui pääosin hyvin. Tutkimus mittasi sitä mitä haluttiin, jolloin sitä voidaan sanoa validiksi (ks. luku 2.3 Validiteetti ja reliabiliteetti.) Trukkien käyttökustannuksista saatiin toimeksiantajaryitykseltä tarkat tiedot, joiden avulla oli helppo vertailla erilaisten trukkien kustannuksia. Toisaalta kannattavuutta olisi voinut tutkia enemmän, jos olisi saatu tarkat hintatiedot litiumakullisista trukeista, mutta yhteydenotoista trukkitoimittajaan huolimatta näitä ei saatu. Johtopäätöksiin käytettävät luvut, joita ei ollut saatu, oli perusteltu teorian ja tuotekatalogien avulla.

Tutkimuksen luotettavuutta olisi myös lisännyt, jos olisi saatu enemmän vastaajia työntekijöille teetettyyn kyselyyn. Kysely oli testattu etukäteen yhdellä ihmisellä, jotta voitiin olla varmoja, että kysymykset ymmärretään samalla tavalla. Toisaalta kyselyä olisi voitu vielä testata enemmän. Teoriassa myös osa lähteistä oli jo hieman vanhentuneita, mutta niistä käytetty tieto pyrittiin aina varmistamaan, että se on nykypäivänäkin pätevää.

9.3 Eettisyys

Tutkimuksen uskottavuus ja luotettavuus edellyttää tieteen hyvien käytäntöjen noudattamista ja eettisyyden huomioimista (Tutkimuseetiikka n.d). Yleisten eettisten periaatteiden mukaan tutkimuksessa tulee kunnioittaa tutkittavien ihmisarvoa, yksityisyyttä, itsemääräämisoikeutta ja muita oikeuksia. Tutkimuksessa tulee välttää aiheuttamasta tutkittaville ihmisille, yhteisöille ja muille tutkimuskohteille aiheutuvia riskejä, vahinkoja ja haittoja. (Vuori n.d.)

Tutkimus on tehty JAMK:n eettisiä periaatteita ja hyvää tieteellistä käytäntöä noudattaen. Työssä käytettyihin lähteisiin, taulukkoihin ja kuvioihin on viitattu asianmukaisesti, jos ne ovat toisen tekijän teoksesta. Opinnäytetyötä ei ole teetetty toisella henkilöllä tai tekoälyllä. Alkuperäiset havainnot ja tulokset on esitetty sellaisenaan ilman muokkaamista. Toimeksiantajayritykseltä varmistettiin aina tutkimuslupa esimerkiksi kyselyn teettämiseen työntekijöillä.

Tutkimuksessa varmistettiin aina suostumus haastatteluun osallistuvilta nauhoittamiseen, eikä haastattelussa kerätty yksityiskohtaisia henkilötietoja. Työntekijöille teetetyssä kyselyssä ei kerätty myöskään vastaajien nimiä tai yhteystietoja. Osallistuminen kyselyyn oli täysin vapaaehtoista ja kerätty tieto ei ollut sellaista, että vastaajaa voisi tunnistaa vastauksistaan. Vastaajat saivat valita itse mihin avoimiin kysymyksiin vastaavat. Tutkimuksen dataa säilytettiin kahdella laitteella ja niin että dataan ei pääse ulkopuolinen käsiksi. Haastattelujen ja kyselyn data säilytettiin, kunnes sitä ei enää tarvittu, jolloin data poistettiin.

Lähteet

A definitive list of electric fuel sources for forklifts. 2023. Artikkel. Toyota Forklifts. 3.2.2023. Viitattu 10.12.2024 <https://blog.toyota-forklifts.co.uk/a-definitive-list-of-electric-fuel-sources-for-forklifts>

Alasuutari, P. 2012. Laadullinen tutkimus 2.0. [Tampere]: Vastapaino. Viitattu 07.03.2025

Al-Douri, A., Ruiz-Tagle, A. & Groth, K. M. 2023. A quantitative risk assessment of hydrogen fuel cell forklifts. International Journal of Hydrogen Energy. <https://janet.finna.fi>, ScienceDirect

Alexiev, D. 2024. The history and the invention of the forklift. Artikkel. PHL. Julkaistu 21.02.2024. Viitattu 2.12.2024 <https://www.phl.co.uk/blog/the-history-and-invention-of-the-forklift>.

How does the fuel cell work? N.d. Artikkel. Battery University. Viitattu 20.03.2025. <https://batteryuniversity.com/article/bu-210-how-does-the-fuel-cell-work>

Brewer, K., Egyed, M., Huang, L., Ling, B., Matz, C. ja Rouleau, M. 2016. Human health risk assessment for diesel exhaust. Health Canada. Tiedote. Viitattu 2.12.2024. Julkaistu 03.2016 https://publications.gc.ca/collections/collection_2016/sc-hc/H129-60-2016-eng.pdf

Combating Climate Change. N.d. Artikkel. Stora Enso. Viitattu 10.12.2024. <https://www.storaenso.com/en/sustainability/climate>

European Stage V non-road emission standards. 2016. Tiedote. International Council of Clean transportation. 11.2026. Viitattu 20.1.2025. https://theicct.org/sites/default/files/publications/EU-Stage-V_policy%20update_ICCT_nov2016.pdf

Facchini, F., Mummolo, G., Mossa, G., Digiesi, S., Boenzi, F. ja Verriello, R. 2016. Minimizing the Carbon Footprint of Material Handling Equipment: Comparison of Electric and LPG Forklifts. Viitattu 16.12.2024. <https://www.jiem.org/index.php/jiem/article/view/2082/792>

Flowers, P., Theopold, K & Langley, R. N.d. Batteries and fuel cells. Artikkel. LibreTexts. Viitattu 30.02.2025 https://chem.libretexts.org/Courses/Valley_City_State_University/Chem_115/Chapter_6%3A_Redox_Chemistry/6.7%3A_Batteries_and_Fuel_Cells

Fuc, P., Kurczewski, P., Lewandowska, A., Nowak, E., Selech, J. ja Ziolkowski, A. 2016. An environmental life-cycle assessment of forklift operation: a well-to-wheel analysis. The International Journal of Life Cycle Assessment. Viitattu 2.1.2025. Julkaistu 11.04.2016. https://www.researchgate.net/publication/301292525_Environmental_life_cycle_assessment_of_forklifts'_operation_-_a_well-to-wheel_analysis_analysis

Gellings, C. 2020. Saving Energy and Reducing CO2 Emissions with Electricity. 1.p. Rivers Publishing. Viitattu 2.12.2024. <https://janet.finna.fi>, ProQuest.

Heikkilä, T. 2014. Tilastollinen tutkimus. 9. uud. p. Helsinki: Edita. Viitattu 08.01.2025

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2009. Tutki ja kirjoita. 15. uud. p. Helsinki: Tammi. Viitattu 8.02.2025

Humby, M. 2024. Lithium-Ion batteries: a growing fire risk. Artikkele. British Safety Council. Julkaistu 28.06.2024. Viitattu 25.02.2025 <https://www.britsafe.org/safety-management/2024/lithium-ion-batteries-a-growing-fire-risk>

Hydrogen fuel-cell forklifts: The impacts of Fuel Cells in material handling. 2024. Artikkele. PlugPower. 19.06.2024. Viitattu 10.12.2024. <https://www.plugpower.com/blog/hydrogen-fuel-cell-forklifts-the-impact-of-fuel-cells-in-material-handling/>

Ikäheimo, S., Malmi, T. & Walden, R. 2024. Yrityksen laskentatoimi. 9. uudistettu painos. Helsinki: Alma Insights. <https://janet.finna.fi/> Viitattu 23.03.2025

Iloranta, K. ja Pajunen-Muhonen, H. 2018. Hankintojen johtaminen: Ostamisesta toimittajamarkkinoiden hallintaan. Viides, tarkistettu laitos. Tietosanoma, 2018. Viitattu 10.02.2025

Imatran Tehtaat. N.d. Artikkele. Stora Enso. Viitattu 10.12.2024. <https://www.storaenso.com/fi-fi/about-stora-enso/stora-enso-locations/imatra-mill>

Investointien suunnittelu. 2024. Artikkele. Suomi.fi. Julkaistu 27.11.2024. Viitattu 20.03.2025 <https://www.suomi.fi/yritykselle/yrityksen-rahoitus-ja-tuet/rahoituksen-suunnittelu/opas/yritystoiminnan-rahoituksen-suunnittelu/investointien-suunnittelu>

Kannattaako trukki vuokrata vai ostaa? N.d. Toyota Forklifts. Artikkele. Viitattu 13.1.2025 <https://toyota-forklifts.fi/oppaat/osta-vai-vuokraa-trukki/>

Kevyet sähkötrukit 5-9 tonnia. N.d. Artikkele. Kalmar. Viitattu 20.02.2025 <https://www.kalmar.fi/laitteet/haarukkatrukkit/ecg50-90/>

Khabur, M. 2019. Comparing lithium-ion and lead acid batteries. Artikkele. MachineDesign. 6.12.2019. Viitattu 10.12.2024 <https://www.machinedesign.com/mechanical-motion-systems/article/21838346/comparing-lithium-ion-and-lead-acid-batteries>

King, A. 2024. The complete guide to forklift ownership costs: What every business should know. Artikkele. LinkedIn. Julkaistu 31.10.2024. Viitattu 21.1.2025 <https://www.linkedin.com/pulse/complete-guide-forklift-ownership-costs-what-every-business-king-urlwc/>

Lead acid batteries. N.d. Artikkele. Government of South Australia. Viitattu 2.1.2025. <https://safework.sa.gov.au/workplaces/chemicals-substances-and-explosives/lead-acid-batteries>

Lead-acid battery trucks: Everything you need to know. 2022. Artikkele. Toyota. Viitattu 2.1.2025. Julkaistu 16.12.2024 <https://blog.toyota-forklifts.co.uk/lead-acid-battery-forklifts-everything-you-need-to-know>

Linja-Aho, V. 2022. Litiumioniakku- tekniikka. 1.p. Suomen Autoteknillinen liitto ry.

Lithium Forklift Batteries: The Complete Guide. 2024. Artikkel. Conger. Viitattu 2.1.2025. Julkaistu 29.4.2024. <https://www.conger.com/lithium-forklift-battery/>

Lithium ion battery vs lead acid battery. N.d. Artikkel. Pilot Group. Viitattu 4.12.2024. <https://www.thepilotgroup.co.uk/lithium-ion-battery-vs-lead-acid-battery/>

Litiumioniakku ja litiumakkupalot. N.d. Presto. Artikkel. Viitattu 20.02.2025 <https://www.presto.fi/litiumakku-ja-akkupalot>

M maailman johtava nestepakkauskartongin valmistaja tulee Imatralta. 2023. Uutinen. Stora Enso. Viitattu 2.2.2025. Julkaistu 3.4.2023. <https://www.storaenso.com/fi-fi/news-room/news/2023/4/maailman-johtava-nestepakkauskartongin-valmistaja-tulee-imatralta>

McKinnon, A., Browne, M., Piecyk, M. & Whiteing, A. 2015. Green logistics: Improving the environmental sustainability of logistics. 3.p. London; Philadelphia: Kogan Page.

Mikä on litiumioniakku? N.d. Artikkel. Toyota Forklift. Viitattu 01.04.2025

Mitä trukki maksaa. N.d. Blogi. Toyota Forklifts. Viitattu 21.1.2025 <https://blog.toyota-forklifts.fi/mita-trukki-maksaa>

Mittaaminen: Mittarin luotettavuus. N.d. Artikkel. Kvantimot. Viitattu 08.04.2025 <https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/mittaaminen/luotettavuus.html>

Modica, T., Perotti, S. ja Melacini, M. 2021. Green Warehousing: Exploration of organizational variables fostering the adoption of energy-efficient material handling equipment. MDPI. 29.11.2021. Viitattu 10.12.2024. <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/23/13237>

Näin vältät trukkien ostossa tuhansien ylimääräiset kulut. N.d. Artikkel. Toyota Forklifts. Viitattu 15.1.2025 <https://blog.toyota-forklifts.fi/nain-valtat-trukkien-ostossa-tuhansien-ylimaaraiset-kulut>

Näpäri, L. 2017. Haastattelun lajityypit. Artikkel. Spoken. Julkaistu 12.04.2017. Viitattu 20.03.2025 <https://spoken.fi/haastattelun-lajityypit/>

Nieminen, S. 2016. Hyvä hankinta - parempi bisnes. [Helsinki]: Talentum Pro. <https://janet.finna.fi>

Oppariapu. N.d. Artikkel. Wordpress. Viitattu 21.03.2025 <https://oppariapu.wordpress.com/kyselyt/>

Palonen, M. & Kylmä, J. 2022. Avoin haastattelu ja teemahaastattelu aineistonkeruumenetelminä laadullisessa hoitotieteellisessä tutkimuksessa. Artikkel. Journal. Julkaistu 31.12.2022. Viitattu 20.03.2025

Polttokennoteknologia ja vetytrukit. N.d. Artikkel. Toyota Forklifts. Viitattu 10.12.2024 <https://toyota-forklifts.fi/ratkaisut/trukin-energiaratkaisut/vetytrukit-polttokennoteknologia/>

Ramsden, T. 2013. An evaluation of total cost of ownership of fuel cell powered material handling equipment <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56408.pdf>

Renquist, J. V., Dickman, B. & Bradley, T. H. 2012. Economic comparison of fuel cell powered forklifts to battery powered forklifts. ScienceDirect. Viitattu 16.12.2024. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036031991201453X>

Stage V moottorit- tulevaisuutta ja tehokkuutta. 2021. Artikkel. Simeri. 4.3.2021. Viitattu 16.12.2024 <https://simeri.fi/stage-v-moottorit-tulevaisuutta-ja-tehokkuutta/>

Suljetut ja avoimet kysymykset. N.d. Artikkel. SurveyMonkey. Viitattu 21.03.2025. <https://fi.surveymonkey.com/mp/comparing-closed-ended-and-open-ended-questions/>

Trukin energiaratkaisut. N.d. Artikkel. Toyota Forklifts. Viitattu 8.02.2025 <https://toyota-forklifts.fi/ratkaisut/trukin-energiaratkaisut/>

Trukkiliikennettä koskevat työturvallisuuslainsäädännön määräykset. N.d. Expec. Tiedote trukkipalvelun sivulla. Viitattu 5.3.2025. <https://trukkipalvelu.com/wp-content/uploads/2018/11/trukkiliikennetta-koskevat-tyoturvallisuuslainsaadannon-maryykset-expec-information-systems-oy.pdf>

Trukkivuokraus on kustannustehokas ja huoleton ratkaisu. N.d. Toyota. Artikkel. Viitattu 20.02.2025 <https://kampanja.toyota-forklifts.fi/trukkivuokraus>

Tutkimusetiikka. N.d. Artikkel. Suomen Akatemia. Viitattu 6.4.2025. <https://www.aka.fi/tutkimusrahoitus/vastuullinen-tiede/tutkimusetiikka/>

Työkoneiden tulevaisuuden kehitystä ohjaavat ilmastovaikutukset ja turvallisuus. N.d. Artikkel. Suomen Tieyhdistys. Viitattu 22.1.2025 <https://www.tieyhdistys.fi/tie-ja-liikenne/artikkelit/tyokoneiden-tulevaisuuden-kehitysta-ohjaavat-ilmastovaikutukset-ja-turvallisuus/>

Työnantajan on varmistettava, ettei työntekijä altistu syöpävaaralle. 2020. Tiedote. Työsuojelu.fi. Viitattu 3.1.2025. Julkaistu 20.2.2020. <https://tyosuojelu.fi/-/tyonantajan-on-varmistettava-ettei-tyontekija-altistu-syopavaaralle>

Valkeapää, P. 2021. Akun kapasiteetin valinta ja energian kulutus. Artikkel. Julkaistu 29.01.2021. Viitattu 10.03.2025. <https://pekansahkokiituri.fi/akun-kapasiteetin-valinta-ja-energian-kulutus/>

Valli, E. 2024. Mitkä ovat primääridatan ja sekundääridatan erot hiilijalanjäljen laskennassa? Artikkel. Biocode. Julkaistu 08.01.2024. Viitattu 26.02.2025 <https://biocode.io/fi/mitka-ovat-primaaridatan-ja-sekundaaridatan-erot/>

Vanhala, M. 2023. Litiumakut vesillä ja niiden turvallisuus. Blog. Esconet. Julkaistu 11.12.2023. Viitattu 3.3.2025. <https://www.esconet.fi/blog/ajankohtaista-14/litiumakkujen-teknikka-ja-paloturvallisuus-42>

Vuori, J. N.d. Tutkimusetiikka ihmistieteissä. Artikkel. Tietoarkisto. Viitattu 6.4.2025.
<https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/tutkimuseiikka/tutkimuseiikka-ihmistieteissa/>

Wagh, S. N.d. Public Health Research Guide: Primary & Secondary Data Definitions. Opas. Benedictine University. Viitattu 26.02.2025.

What are the noise levels associated with diesel forklifts, and how do they affect workplace environments. 2024. Artikkel. UNForklift. 28.10.2024. Viitattu 13.12.2024 <https://www.unforklift.com/news/industry-news/what-are-the-noise-levels-associated-with-diesel-forklifts-and-how-do-they-affect-workplace-environments.html>

Why electric forklifts are the safe and sustainable choice. 2021. Artikkel. Konecranes. 14.10.2021. Viitattu 13.12.2024. <https://blog.kcliftrucks.com/why-electric-forklifts-are-the-safe-and-sustainable-choice>

Liitteet

Liite 1. Ensimmäisen haastattelun teema ja kysymykset

Teemana toimi trukkikaluston toiminta-, turvallisuus ja vastuullisuusvaatimukset

1. Millainen on tuotevarastolla käytetyn trukkikaluston määrä ja kokoluokka?
2. Minkälaisissa vuoroissa ja käyttöajoissa trukit toimivat?
3. Kuinka monta trukkia on kerralla samaan aikaan ajossa?
4. Onko eri kokoluokan trukeille luokiteltu omat työtehtävät?
5. Minkälaisia fyysisiä vaatimuksia trukeilla on? Nostokyky, mitat?
6. Mitä lisä- ja turvallisuusvarusteita trukeissa täytyy olla?
7. Muita vaatimuksia?

Liite 2 Toisen haastattelun teema ja kysymykset

Toisen haastattelun teemana oli trukkien kustannusrakenne ja vastuullisuus

1. Mistä tuotevaraston trukkien kustannukset koostuvat?
2. Onko viikkokierroksella sähkö- ja dieseltrukkien tarkastuksessa eroavaisuuksia?
3. Minkälaiset käyttötunnit trukeilla on?
4. Eroaako sähköisten trukkien vuokrahinta kuinka paljon?
5. Onko trukkien tankkaus ja latauskustannuksia eroteltu?
6. Miten litiumakkujen kierto on perusteltu?
7. Paljonko trukit kuluttavat keskimäärin polttoainetta per käyttötunti?
8. Paljonko polttoaine maksaa?
9. Seurataanko tuotevaraston ilmanlaatua?
10. Paljonko syntyy hiilidioksidipäästöjä per käyttötunti?

Liite 3. Kustannustiedot ja laskelmat (salassa pidettävä)

Liite 4. Kysely työntekijöille

<p>30.4.2025 klo 18:53 Dieseltrukkien melu, päästöt ja turvallisuus</p> <h3>Dieseltrukkien melu, päästöt ja turvallisuus</h3> <p>Tutkimus dieseltrukkien vaikutuksesta työympäristöön ja terveyteen</p> <p>* Pakollinen kysymys</p> <p>1. Oletko kokenut trukkien aiheuttamasta melusta seuraavia oireita: *</p> <p>Valitse kaikki sopivat vaihtoehdot.</p> <p><input type="checkbox"/> Väsymys <input type="checkbox"/> Stressi <input type="checkbox"/> Kuulon heikentyminen <input type="checkbox"/> Keskittymisvaikeuksia työhön <input type="checkbox"/> En ole kokenut melusta johtuvia oireita <input type="checkbox"/> Muu: _____</p> <p>2. Halutessasi voit kuvailla melun aiheuttamia oireita</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>3. Onko trukkimelu aiheuttanut tilanteita jossa *</p> <p>Valitse kaikki sopivat vaihtoehdot.</p> <p><input type="checkbox"/> Kommunikaatio on ollut hankalaa muiden työntekijöiden kanssa <input type="checkbox"/> Melu peittää muita tärkeitä ympäristön ääniä <input type="checkbox"/> Melun takia keskittyminen heikentyy, joka johtaa vahinkoon tai läheltä-piti tilanteeseen <input type="checkbox"/> Muu: _____</p> <p>https://docs.google.com/forms/d/1gY5WqQ-vH6t6uJrWc35gvJ5uG4Fnd0qJ_B0uRNWic/edit 1/5</p>	<p>30.4.2025 klo 18:53 Dieseltrukkien melu, päästöt ja turvallisuus</p> <p>4. Halutessasi voit kuvailla tilanteita, joissa melu on vaikeuttanut työntekoa, aiheuttanut vahinkoa tai johtanut vaaratilanteeseen</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>5. Onko trukilla ajaessa syntyvä värinä aiheuttanut *</p> <p>Valitse kaikki sopivat vaihtoehdot.</p> <p><input type="checkbox"/> Väsymystä <input type="checkbox"/> Stressiä <input type="checkbox"/> Kipua alaselässä <input type="checkbox"/> Selkärankavammoja <input type="checkbox"/> Muu: _____</p> <p>6. Halutessasi voit kuvailla värinän aiheuttamia vaivoja terveyteesi</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>7. Koetko, että työalueen ilmanlaatu on *</p> <p>Merkitse vain yksi soikio.</p> <p><input type="radio"/> Puhdasta <input type="radio"/> Likaista <input type="radio"/> Muu: _____</p> <p>https://docs.google.com/forms/d/1gY5WqQ-vH6t6uJrWc35gvJ5uG4Fnd0qJ_B0uRNWic/edit 2/5</p>
--	---

<p>30.4.2025 klo 18:53 Dieseltrukkien melu, päästöt ja turvallisuus</p> <p>8. Asteikolla 1-5, kuinka paljon koet trukkien pakokaasujen olevan heikentävä tekijä työalueen ilmanlaadussa *</p> <p>Merkitse vain yksi soikio.</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p><input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/></p> <p>9. Koetko että ilmanlaatu vaikuttaa heikentävästi terveyteen ja hyvinvointiin *</p> <p>Merkitse vain yksi soikio.</p> <p><input type="radio"/> Kyllä <input type="radio"/> En</p> <p>10. Halutessasi voit kuvailla ilmanlaatua ja sitä heikentäviä tekijöitä tarkemmin</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>11. Oletko kokenut hengitysoireita työssä tai vapaa-ajalla (ilman tuloa-olosuhteita) *</p> <p>Merkitse vain yksi soikio.</p> <p><input type="radio"/> Kyllä <input type="radio"/> En</p> <p>https://docs.google.com/forms/d/1gY5WqQ-vH6t6uJrWc35gvJ5uG4Fnd0qJ_B0uRNWic/edit 3/5</p>	<p>30.4.2025 klo 18:53 Dieseltrukkien melu, päästöt ja turvallisuus</p> <p>12. Jos vastasit kyllä, kuvaile oireitasi</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>13. Alistutko trukkien pakokaasuille työssäsi vuoron aikana *</p> <p>Merkitse vain yksi soikio.</p> <p><input type="radio"/> Alle tunnin <input type="radio"/> 1-2 tuntia <input type="radio"/> 3-4 tuntia <input type="radio"/> 5-6 tuntia <input type="radio"/> 7-8 tuntia <input type="radio"/> 8+ tuntia</p> <p>14. Vapaa sana</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>15. Lopuksi voit halutessasi kertoa kuinka pitkään olet ollut töissä Imatran Tehtaiden tuotevarastolla trukkiyksiköinä</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>Google ei ole luonut tai hyväksynyt tällaisiä sisältöjä.</p> <p>https://docs.google.com/forms/d/1gY5WqQ-vH6t6uJrWc35gvJ5uG4Fnd0qJ_B0uRNWic/edit 4/5</p>
---	--