

Emma Selin

SELVITYS DIESELTRUKKIEN KORVAAMISESTA
SÄHKÖTRUKEILLA JA VAIHDON KANNATTAVUUS SEKÄ
YMPÄRISTÖHYÖDYT

Energia- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma
2019

SELVITYS DIESELTRUKKIEN KORVAAMISESTA SÄHKÖTRUKEILLA JA VAIHDON KANNATTAVUUS SEKÄ YMPÄRISTÖHYÖDYT

Selin, Emma
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Energia- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma
Marraskuu 2019
Sivumäärä: 40
Liitteitä: 1

Asiasanat: ympäristötekniikka, sähköenergia, ympäristöhyödyt

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä selvitys Euroports Rauma Oy:lle dieselkäyttöisten vastapainotrukkiin vaihtamisesta vastaaviin sähköisiin. Selvityksestä käy ilmi vaihdon kannattavuutta sekä ympäristöhyötyjä.

Työ painottuu kahteen paperirullavarastona toimivaan satamahalliin, sen toimintoihin sekä käytössä oleviin nostokyvyltään 16 tn. trukkeihin. Työssä on tutkittu nykyisten trukkiin käyttöä sekä prosessia. Vastaavien trukkiin valinta on tehty tarjouspyynnön perusteella.

Samaan aiheeseen liittyen toteutetaan kaksi muutakin opinnäytetyötä aihepiirin laajuudesta johtuen. Toinen työ käsittelee satamahalleissa toimivia pienempiä 3,5 tn. ja 5 tn. trukkeja, toinen sisältää selvityksen sähkötrukkiin lataamiseen tarvittavasta infrastruktuurista ja välineistöstä.

REPLACING DIESEL POWERED FORKLIFTS WITH ELECTRIC FORKLIFTS AND FEASIBILITY AND ENVIRONMENTAL BENEFITS OF THE CHANGE

Selin, Emma

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Energy and Environmental Engineering

November 2019

Number of pages: 40

Appendices: 1

Keywords: environmental engineering, electric power, environmental benefits

The purpose of this thesis was to make a survey to Euroports Rauma Oy about switching diesel powered counterbalanced trucks to similar electrics. The report shows the profitability of the exchange as well as the environmental benefits.

The work focuses on two paper roll storages, its functions and the 16 tons. forklifts. In this thesis the use of existing forklifts and the process have been studied. The selection of the corresponding trucks is based on a call for tenders.

Because of the large topic, two other theses will be carried out on the same topic. Another work deals with the smaller 3.5 tn and 5 tn. forklifts, the other includes a description of the infrastructure and equipment needed to charge the electric forklift.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	LYHENTEET.....	7
3	EUROPORTS.....	8
3.1	Konserni.....	8
3.2	SataMari -projekti	9
4	TAVOITTEET JA TOTEUTUS	10
4.1	Tavoitteet	10
4.2	Toteutus.....	10
4.2.1	Lähtötietojen kerääminen	10
4.2.2	Tarjouspyyntö	11
4.2.3	Tarjous	11
4.2.4	Kustannuslaskenta ja leasingsopimus.....	11
4.2.5	Ympäristöhyödyt	12
5	LÄHTÖTIEDOT JA PERUSTEET	13
5.1	Lähtötiedot	13
5.2	Prosessi	14
6	VERROKKITRUKIT.....	19
6.1	Dieseltrukki Kalmar DCG 160-12.....	19
6.2	Sähkötrukki Kalmar ECG160-12.....	22
7	KUSTANNUSLASKENTA.....	23
7.1	Polttoaineiden hintojen vertailu	23
7.2	Leasing-hintojen vertailu	24
7.3	Sähkötrukin latauspaikan kustannukset	25
8	VAIHDON YMPÄRISTÖHYÖDYT	26
8.1	Polttomoottorin päästöt.....	26
8.2	Sähkomoottorin päästöt	28
8.3	Vertailutruckien päästöt.....	29
8.3.1	Dieseltrukin päästöt	29
	Dieseltrukin hiilidioksidi päästöt saadaan laskemalla seuraavalla kaavalla	29
8.3.2	Sähkötrukin päästöt	29
8.4	Työkoneiden CO2 päästölainsäädäntö nyt ja tulevaisuudessa.....	32
8.4.1	Stage V:n vaikutukset moottoriin.....	35
9	TULOKSET	38
9.1	Kustannukset.....	38
9.2	Ympäristöhyödyt.....	38

10 JOHTOPÄÄTÖKSET	40
LÄHTEET	41
LIIKTEET	

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tuottaa Euroports Rauma Oy:lle selvitys, jossa selvitetään nykyisten dieseltrukkien vaihdon kannattavuutta vastaaviin sähköisiin trukkeihin. Kannattavuutta arvioidaan vertaamalla uusien sähkötrukkien leasingvuokrauksen hintoja nykyisten dieseltrukkien kustannuksiin. Selvityksessä on myös arvioitu ympäristöhyötyjä.

Selvitys tehdään osana SataMari- hanketta, joka on Euroopan aluekehitysrahaston sekä Satakunnan Ammattikorkeakoulun rahoittama hanke. Hankkeen tavoitteena on Satakunnan meriklustereiden energiatehokkuuden nykytilanteen selvittäminen sekä sen mahdollinen parantaminen. Selvitys palvelee hanketta sillä tulevaisuudessa sähkökäyttöiset kulkuneuvot ja koneet ovat yhä suuremmassa osassa liikennettä ja työnte-koa. Diesel-käyttöisten koneiden korvaaminen sähköisillä on energiatehokasta sekä vastaa tarvetta siirtyä vähäpäästöisempään teknologiaan.

Paperirullien käsittelyyn Euroports Rauma Oy:llä on käytössä kolmea erilaista trukkia. Tässä työssä keskitytään paperirullia siirtelevään, nostokyvyltään 16 tn. olevaan trukkiin ja sen vaihtoon sähköiseksi. Opinnäytetyön kanssa yhteistyössä on toteutettu toinen opinnäytetyö, joka käsittelee halleissa olevia muita pienempiä trukkeja, nostokyvyltään 3,5 tn. sekä 5 tn.

Opinnäytetyö on rajattu koskemaan vain itse trukkeja eikä työssä käsitellä mahdollista trukkien tarvitsemaa latausinfraa. Trukkien tarvitsemaa infraa varten tullaan toteuttamaan oma selvityksensä toisen opiskelijan toimesta. Tutkimus on rajattu koskemaan yrityksen varastohalleja 18 ja 20, joissa käsitellään ja varastoidaan paperirullia. Paperirullat voidaan toimittaa varastoon joko junalla tai rekalla, josta ne lähetetään meri-
konteissa eteenpäin.

2 LYHENTEET

Tässä osiossa käydään läpi opinnäytetyössä käytettävät lyhenteet.

AEO= Tullin turvallisuustodistus

Ah= Ampeeritunti

CO= Hiilimonoksidi

CO₂= Hiilidioksidi

DOC= Hapetuskatalysaattori

DPF= Hiukkassuodatin

EGR= Pakokaasujen kierrätysjärjestelmä

ELV= Kansainvälinen romuajoneuvo -direktiivi

H₂O= Vesi

HC= Hiilivety

kWh= Kilowattitunti

N₂= Typpi

NO_x= Typen oksidit

O₂= Happi

tn= 1000 kilogrammaa

V= Voltti

VTT= Teknologian tutkimuskeskus

3 EUROPORTS

3.1 Konserni

Euroports on logistiikka- ja kuljetuspalveluita tuottava konserni, joka palvelee ympäri maailmaa. Ydinpalveluita ovat muun muassa kuljetukset, terminaalitoiminnot sekä sopimuslogistiikka. (Euroports www-sivut 2019.)

Konserni on yksi suurimmista satamaoperaattoreista Manner-Euroopassa, sen kautta kulkee jopa 46 miljoona tonnia tavaraa vuodessa. Konsernilla on 25 satamaterminaalialia, joista 22 on Euroopassa ja 3 Kiinassa. Konsernilla on sertifikaatit ISO 9001 (Laadunhallintajärjestelmä), ISO 14001 (Ympäristöjärjestelmä), OHSAS 18 001 (Työterveys ja -turvallisuusjärjestelmä) sekä AEO (Tullin turvallisuustodistus). (Euroports www-sivut 2019.)

Suomessa Europortsilla on kaksi satamaa, joista toinen on Pietarsaarella ja toinen Raumalla. Pietarsaaren satama on erikoistunut sellun ja sahatavaran vientiin. Satama työllistää 40 henkilöä. (Euroports www-sivut 2019.)

Työn tilaajana toimii Euroports Rauma Oy, joka on suomen suurin paperivientisatama sekä Länsi-Suomen suurin konttisatama. Raumalta tavaraa lähtee niin Pohjois-Afrikkaan kuin Englantiinkin. Euroports Rauman vienti ja tuonti on noin 6 miljoona tonnia vuodessa. (Euroports www-sivut 2019.)

Yhteensä Euroports työllistää suomessa lähes 600 ammattilaista, joista Raumalla heistä työskentelee noin 550. Yhtenä sataman avaintekijöistä on turvallisuus ja Rauman satama on vuonna 2015 valittu Suomen turvallisimmaksi satamaksi. (Euroports www-sivut 2019.)

3.2 SataMari -projekti

Satakunnassa on vuoden 2018 alusta toiminut SataMari -projekti, jonka tavoitteena on selvittää merisektorin energiatehokkuutta ja pilotoida kohteita energiatehokkailla ratkaisuilla. Projektilla keskitytään erityisesti energiatehokkuuden parantamisen toimiin meriklusterissa, mutta pyritään myös lisäämään alueen kilpailukykyä vastaamaan kiihkeyttä ympäristösääntelyyn. (Smart Urban Business www-sivut 2019.)

Euroports Rauma Oy on projektissa yhtenä pilottikohteena. Tämä työ toteutetaan osana projektia ja yrityksen tavoitetta kohti ympäristöystävällisempää toimintaa.

4 TAVOITTEET JA TOTEUTUS

4.1 Tavoitteet

Tavoitteena on tuottaa Euroports Rauma Oy:lle selvitys dieseltrukkien sähköisiin vaihtamisen kannattavuus ja ympäristöhyödyt. Työssä kartoitetaan leasing-vuokrauksen hinta sekä uusille sähkökäyttöisille, että vastaaville dieselkäyttöisille vastapainotrukeille, käytönaikaisten kustannusten vertailut sähkö- ja dieselkäyttöisille sekä sähköisen trukin tarvitseman latauslaitteiston koko ja arvioitu kustannus. Tavoitteena on myös leasing- sopimuksen sisällön kartoittaminen.

Vaihdon kannattavuus arvioidaan leasing-vuokrauksen hintojen ja käytönaikaisten kustannusten kannalta. Latauslaitteiston laajuudesta ja kustannuksista esitetään arvio, jonka perusteella voidaan arvioida laitteiston hankintaa omaksi tai mahdollisuutta hankkia laitteisto myös leasingsopimuksella.

Ympäristöhyödyt kartoitetaan vertaamalla dieseltrukin käytönaikaisia päästöjä sähkötrukin akkujen lataamisen vaaditun sähköön tuottamisen aiheuttamiin päästöihin. Selvityksessä esitetään myös pääpiirteittäin päästölainsäädäntöä työkoneiden osalta.

4.2 Toteutus

4.2.1 Lähtötietojen kerääminen

Lähtötietojen kerääminen aloitettiin haastattelemalla Euroports Rauma Oy:n yhteys henkilöä Simo Kuperista. Kuperinen toimitti runsaasti tietoja, joita yrityksellä oli valmiina hallussaan, esimerkiksi trukkien ajotiedot sekä polttoaineenkulutukset. Myös tiedot nykyisistä dieseltrukeista saatiin yritykseltä. Tarvittavat lisätiedot ja työssä käytettävät kuvat saatiin muutamalla vierailukerralla kohde halleihin 18 ja 20. Lähtötietojen avulla pystyi aloittamaan teorian työstämisen.

4.2.2 Tarjouspyyntö

Kartoituksessa havaittiin, että tällä hetkellä on luultavasti vain yksi yritys, jolla on markkinoilla työssä käytettävän kokoluokan trukkia myös sähköisenä. Yritys on Kalmar, joka on osa Cargotec Oyj:tä. Yrityksen palveluihin kuuluvat niin lastinkäsittelyratkaisut kuin palvelut satamiin sekä raskaalle teollisuudelle. (Kalmar [www](http://www.kalmar.com)-sivut 2019.)

Yritykselle lähetettiin tarjouspyyntö, jossa pyydettiin tarjousta sähkötrukista, jonka nostokyky olisi 16 tonnia. Tarjous pyydettiin leasingsopimuksella, joka sisältäisi sekä määräaikaista että tarvittavat lisähuollot. Tarjouksen toivottiin myös sisältävän latauslaitteen sekä mahdolliset tarvittavat ylimääräiset akustot. Koko tarjouspyyntö on liitteenä 1.

Paperirullien käsittelyyn tarkoitettuja lisälaitteita tarjouksessa ei tarvitsisi huomioida, sillä ne yritykseltä löytyy jo ennestään. Valmius lisälaitteiden käyttöön tulisi kuitenkin trukissa olla. Trukkien varustetasosta esitettiin toivomus, että se olisi samanlainen kuin nykyisissäkin yrityksen trukeissa.

4.2.3 Tarjous

Tähän työhön emme saaneet Kalmarilta sähkötrukin hintatietoja. Kalmar toimitti työtä varten kuitenkin teknistä tietoa työhön soveltuvasta trukista ja sen latauslaitteistosta. Trukin ja latauslaitteiston tekniset tiedot löytyvät otsikon verrokkitrukit alta. Kalmar on luvannut toimittaa tarjouksen hinnat suoraan työn tilaajalle Euroports Rauma Oy:lle.

4.2.4 Kustannuslaskenta ja leasingsopimus

Sähkötrukin hintojen puuttuessa työhön pystyttiin laskemaan ainoastaan polttoaineiden hintojen vertailu. Vertailussa verrattiin vuodessa sähkötrukin lataukseen kuluvaan sähkön hintaa vuodessa kuluvaan dieselin hintaan.

Leasingsopimus tarkoittaa käyttöomaisuuden vuokraamista. Sopimuksessa on mukana kolme osapuolta: laitteen myyjä, rahoitusyhtiö vuokranantajana sekä yritys vuokraajana. Sopimuksella kone saadaan hankintahetkellä käyttöön edullisemmin kuin ostamalla eikä kone siirry käyttäjän omaisuudeksi. Sopimukseen voidaan sisällyttää myös erilaiset huollot tai tarkastukset. Vuokraava yritys maksaa yleensä kuukausi vuokraa vuokraamastaan laitteesta. (Minilex www-sivut 2019.)

4.2.5 Ympäristöhyödyt

Kalmarin toimitettua tekniset tiedot sähkötrukista oli mahdollista laskea ympäristöhyödyt vaihdolle. Molemmille, sekä diesel- että sähkötrukille laskettiin hiilidioksidi päästöt. Muiden partikkeleiden osalta päästöjä ei tarvinnut laskea sillä niitä ei sähkötrukin käytöstä tai lataamisesta synny. Ympäristöhyötyihin kirjattiin myös ympäristölainsäädännöstä koskien dieselyökoneiden päästöjä.

5 LÄHTÖTIEDOT JA PERUSTEET

5.1 Lähtötiedot

Tutkimuksen aluksi ja avuksi on kartoitettu selvityksessä käytettävän trukin ajomääriä, polttoaineen kulutusta sekä huoltokustannuksia. Tässä osiossa on trukin lisäksi tarkasteltu varastohalleissa tapahtuvaa prosessia, tutkimuksen pohjatietoja sekä perusteluja tutkimuksen tueksi.

Käytössä olevista trukeista tiedot on saatu suoraan yritykseltä. Yrityksellä on käytössä seurantajärjestelmä, josta nähdään työkoneiden kuukausittaiset polttoainekulutukset, ajomäärät sekä mahdollisten korjaus- ja huoltotoimenpiteiden hinta. Jokaisella trukilla on oma tunnisteensa, jolloin trukkien ajo- ja kulutustiedot on helppo yksilöidä.

Työ keskittyy kahteen hallivarastoon, joissa nostokyvyltään suuria trukkeja käytetään paperirullapinojen käsittelyyn. Halleissa trukkeja käytetään vaihdellen, ja esimerkiksi huoltotoimenpiteiden aikana käytössä on varatrucki huollettavan tilalla, näin ollen tiettyihin tiloihin ei ole erikseen määritely omia trukkeja. Juuri näissä kahdessa hallissa käytettävien trukkien määrittely olisi ollut hankalaa, sillä trukkeja olisi tullut valvoa vähintään vuoden ajomäärien kohdistamiseksi juuri oikeisiin trukkeihin. Työn tilaaja kanssa on tehty päätös käyttää samankaltaisten trukkien ajomääriä sekä kulutustietoja, ilman että tietoja on kohdistettu tiettyihin halleihin tai varastoihin.

Tähän työhön vertailutrukiksi valikoitui kolme vuotta vanha Kalmar DCG 160-12 trucki. Vertailuun päätettiin ottaa mahdollisimman uusi trucki, jotta saadaan mahdollisimman todenmukainen kuva siitä mitä työkoneiden uusiminen sähköiseksi kustannuksellisesti tulisi tarkoittamaan ja mitkä ovat todelliset ympäristöhyödyt. Esimerkiksi vanhempiin trukkeihin verrattaessa ympäristöhyödyt olisivat liian suuret, sillä vanhoissa työkoneissa moottorin teknologia ei ole kehittynyttä ja päästöjä syntyy enemmän.

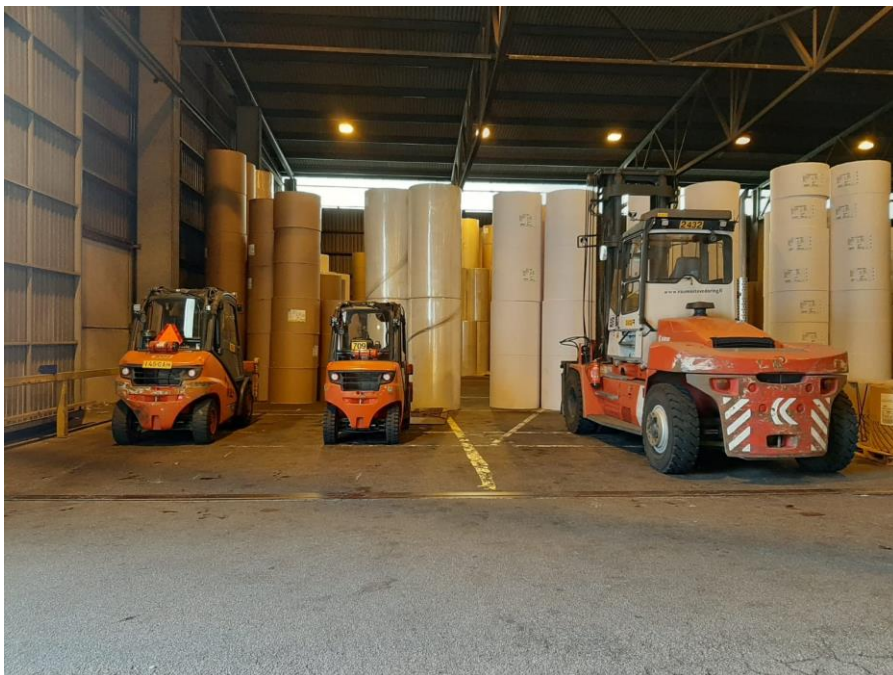
Vertailutruckien käyttötiedot on koottu omiin excel-tiedostoihinsa, joihin on excelin laskentakaavoja hyväksi käyttäen pystytty laskemaan vuosi tasolla truckien polttoainekulutus, polttoainekustannus, huoltokustannukset sekä kustannukset yhteensä sekä kustannukset/ajotunti. Laskennassa käytettävä kevyen polttoöljyn keskiarvo hinta on saatu yritykselle toimitetun polttoaineen tiedoista, joista näkyy toimitetut litrat sekä sen hetkinen litrahinta. Yrityksellä on polttoaineena käytössään Neste Tempera polttoöljy.

5.2 Prosessi

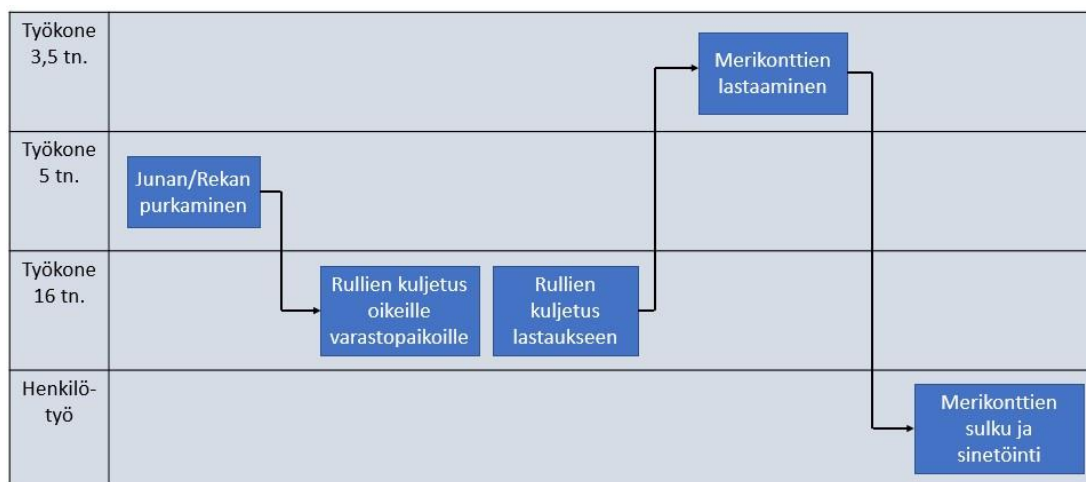
Yrityksellä on useita halleja, joissa varastoidaan ja käsitellään paperirullia. Tässä työssä käsitellään hallin 18 ja 20 toiminnassa käytettäviä trukkeja, joten prosessikuvaus on tehty vain näiden hallien prosessista. Hallit ovat identtiset toiminnoiltaan, sillä molemmissa on mahdollisuus purkaa rekkoja ja junavaunuja sekä lastata merikontteja. Paperirullat jatkavat hallista matkaansa maailmalle merikonteissa.

Paperirullajunia saapuu alueelle noin tunnin välein. Rekkoja hieman harvemmin. Lähellä sijaitsevalla UPM Metsän Rauman tehtaalla ei ole ollenkaan omia varastotiloja, jolloin paperirullat toimitaan sieltä heti satamaan varastoitavaksi. Tämä lisää runsaasti paperirullaliikennettä satamassa. (Vieno M-M., henkilökohtainen tiedonanto 1.10.2019.)

Halleissa on käytössä kolme erikokoista trukkia ja jokaisella trukilla on oma tehtävänsä prosessissa. Vaikka tämä työ käsittelee vain suurinta trukkia, on tässä prosessikuvauksessa käsitelty myös muita trukkeja prosessin ymmärtämisen helpottamiseksi. Kaikki kolme erikokoista trukkia on nähtävissä kuvassa 1.



Kuva 1. Kolme erilaista hallissa toimivaa trukkia. Vasemmalla 5 tn., keskellä 3,500 tn. ja oikealla 16 tn.



Kuva 2. Prosessikaavio

Kuvassa 2 on havainnollistettu prosessia uimaratakaaviolla. Ainoastaan junan ja rekan purussa työskentelevä 5 tn. trukki toimii kahdessa vuorossa, eli aamu- sekä iltavuorossa. Trukki toimii myös muissa halleissa, mikäli halleissa 18 tai 20 ei juuri ole purettavaa.

3,5 tn. ja 16 tn. trukit toimivat viisivuorossa ja työskentelevät ympäri vuorokauden. Vuoronvaihto tapahtuu kuitenkin aina kahdeksan tunnin välein. 16 tn. trukin tehtävä on pääsääntöisesti kuljettaa paperirullia oikeille varastopaikoille sekä varastopaikoilta lähemmäs merikonttien lastausaluetta. Trukki pystyy nostokykynsä ansiosta kuljetta-
maan useampaa rullaa kerrallaan. Yksi paperirulla painaa noin 1 – 3 tn. Kokonsa puo-
lesta trukki pystyy myös nostamaan rullat korkeampiin pinoihin, näin rullia saadaan
varastoitua runsaasti myös korkeussuunnassa. Kuvassa 3 on 16 tn. trukki kuljettamassa
kerralla kahdeksaa paperirullaa.

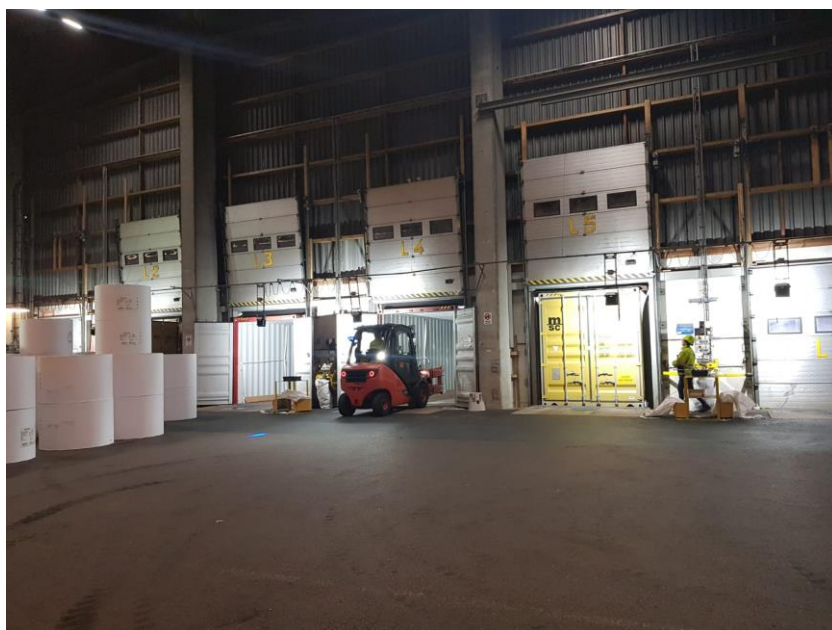


Kuva 3. 16 tn. trukki kuljettamassa kerralla useampaa rullaa.

Pienin 3,5 tn. trukki toimii merikonttien lastaamisessa. Kokonsa puolesta se mahtuu hyvin merikonttiin sisälle ja saa pakattua rullat tiiviisti perältä asti. Trukki kuljettaa

kerralla maksimissaan kahta rullaa. Prosessikaaviossa näkyvä henkilö, joka toimii merikonttien sulkijana sekä sinetöitsijänä, on yleensä pienen trukin kuljettaja (Vieno M-M., henkilökohtainen tiedonanto 1.10.2019).

Prosessia ohjaa toiminnanohjausjärjestelmä, jonka avulla työntekijät tietävät millä varastopaikalla pakattavat tuotteet sijaitseva tai mille paikalle ne tulee sijoittaa purettaessa. Järjestelmän avulla saadaan tietoon myös paljonko ja minne tavaraa tulee pakata. (Vieno M-M., henkilökohtainen tiedonanto 1.10.2019.)



Kuva 4. 3,5 tn. trukki lastaamassa merikonttia sekä merikonttien lastaus alue. (Henna Puromäki 2019)



Kuva 5. Junan purkulaituri.

6 VERROKKITRUKIT

6.1 Dieseltrukki Kalmar DCG 160-12

Kalmar DCG 160-12 on nelipyöräinen diesel- käyttöinen vastapainotrukki, joka on nostokyvyltään 16 tn. Maksimi nostokorkeus täydellä kuormalla trukilla on 1,2 metriä. Trukissa on käytössä Cummins QSB 6.7l diesel- moottori, joka täyttää EU:n Stage 4:n vaatimukset. Moottorin nimellisteho on 168 kilowattia. (Kalmar DCG160-12 esite 2019.) Työssä käytettävä vertailutrukki on otettu käyttöön vuonna 2015.

Taulukossa 1 on listattuna vuoden 2018 jokaiselta kuukaudelta trukin ajotunnit, huoltokustannukset sekä polttoaineen kulutus. Taulukon yksi tiedoista voidaan laskea kokonaisajotunnit vuodelta 2018, jotka ovat olleet 1081 tuntia.

Taulukko 1. Kalmar DCG 160-12 trukin käyttödata vuodelta 2018

Kone	Ajotunnit	ajotunnit	Huolto- kustannukset	Polttoaine- kulutus
kk	h/kk	tot	€/kk	l/kk
Tammikuu	0	1725	0	0
Helmikuu	79	1804	0	866
Maaliskuu	155	1959	436	1709
Huhtikuu	167	2126	1514,9	1841,16
Toukokuu	216	2342	0	2370
Kesäkuu	213	2555	0	2329
Heinäkuu	100	2655	1050,9	1094
Elokuu	0	2655	0	0
Syyskuu	30	2685	1653,65	337
Lokakuu	44	2729	18,8	481
Marraskuu	31	2760	382,53	346
Joulukuu	46	2806	97,29	496

Taulukossa 2 on laskettuna vuodelta 2018 trukin polttoaineenkulutus yhteensä, huoltokustannukset sekä polttoainekustannukset, joka on saatu laskettua kaavalla 1.

$$\begin{aligned} & \text{polttoaineen kulutus vuodessa} \times \text{polttoaineen keskihinta} \\ & = \text{polttoainekustannukset vuodessa} \end{aligned}$$

Kaava 1 Polttoainekustannukset vuodessa

Polttoaineen keskihinta saatiin yrityksen tarjoamista tiedoista ja se oli vuonna 2018 0,744 euroa litraa kohden. Taulukossa on myös kustannukset yhteensä, josta on pystytty laskemaan kustannukset yhtä ajotuntia kohden kaavalla 2.

$$\frac{\text{kokonaiskustannukset vuonna 2018}}{\text{ajetut ajotunnit vuonna 2018}} = \text{kustannus yhtä ajotuntia kohti}$$

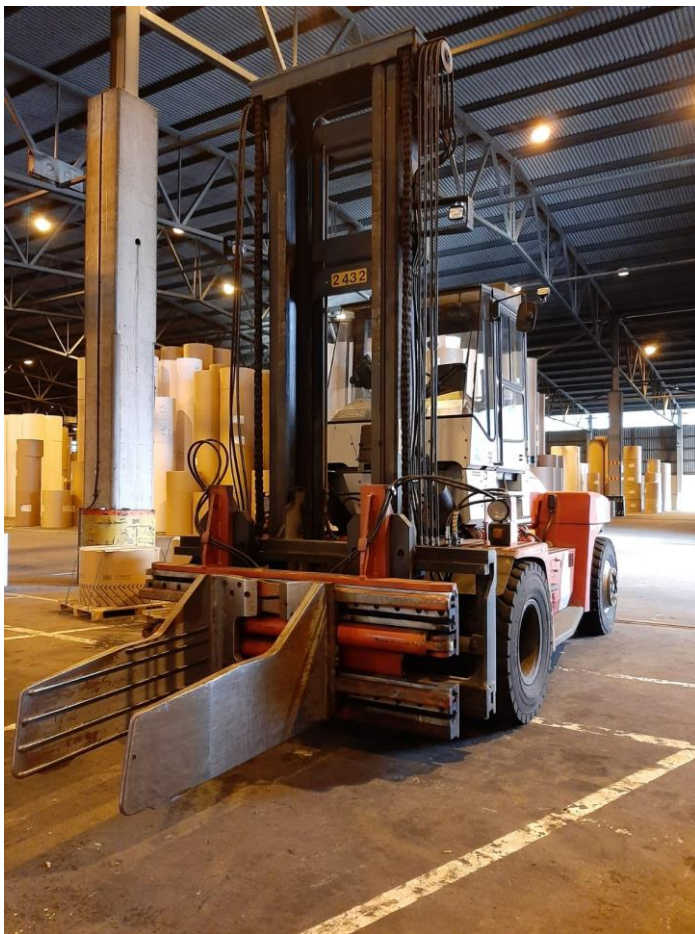
Kaava 2 kustannus yhtä ajotuntia kohti

Taulukko 2. Kalmar DCG 160-12 trukin kustannus laskelmat vuodelta 2018

Polttoaine-kulutus	Polttoaine-kustannus	Huolto-kustannukset	Kustannukset tot	Kustannus /ajotunti
l/vuosi	€/vuosi	€/vuosi	€	€
11869,16	8834,7	5154,07	13988,77	12,94



Kuva 6. Kalmar DCE 160-12.



Kuva 7. Kalmar DCE 160-12.

Kuvissa 6 ja 7 on Kalmar DCE 160-12 vastapainotrukki. Trukki vastaa lähes täysin vertailuna käytettävää Kalmar DCG 160-12 konetta, ollen sitä edeltävä malli. (Kuparinen S., henkilökohtainen tiedonanto 3.9.2019.)

6.2 Sähkötrukki Kalmar ECG160-12

Kalmarin tämän työn kokoluokkaan soveltuva sähkökäyttöinen vastapainotrukki on malliltaan ECG160-12. Trukin nostokyky on vaadittavat 16 tn. ja nostokorkeus 6 metriä. Trukissa on kaksi moottoria, joiden molempien teho on 37 kilowattia. Virran lähteenä trukissa on kaksi GNB Classic lyijyakustoa, jotka molemmat ovat omissa akkukoteloissaan ja molempien akustojen kapasiteetti on 120 voltia / 2170 ampeerituntia (V/Ah). (Kalmar ECG160-12 2019.) Kaavalla 10 on myöhemmin työssä laskettu akun varakapasiteetti, joka on 260,4 kilowattituntia. Akkujen vaihtamiseksi ja lataukseen viemiseksi koneessa on akunvaihtojärjestelmä, joka tarkoittaa, että akut ovat akkulavalla ja ne voidaan nostaa pois toisella trukilla (Kalmar ECG160-12 käyttöohjekirja 2019, 228). Taulukossa 3 on esitetty teknistä tietoa trukin akustosta sekä laturista.

Taulukko 3. Teknistä tietoa trukin akustosta sekä laturista (Kalmar ECG160-12 2019)

Akku	GNB Classic, 2 kpl lyijyakkuja
Volttimäärä	120V
Kapasiteetti	2170 Ah
Mitat	1638*1150*2300 mm
Paino	7840 kg
Laturi	120 V /200 A 3-vaihe 400V

Yhdellä akun täyteen latauksella akustolla voidaan ajaa noin kymmenen tuntia (Kalmar ECG160-12 2019). Akkujen tyhjästä täyteen lataaminen kestää noin 11 tuntia. Latauksessa on kuitenkin aina häviöitä mukana. Häviöiksi voidaan ottaa noin 20 prosenttia, jolloin latausajaksi saadaan 13 tuntia. (CSGNetwork www-sivut 2019.)

7 KUSTANNUSLASKENTA

7.1 Polttoaineiden hintojen vertailu

Kuten taulukossa 2 on esitetty, on dieseltrukin vuoden 2018 polttoaineiden hinta ollut 8834,70 euroa. Sähkötrukin lataukseen käyttämän sähkön hinta voidaan laskea kertomalla käytettyjen kilowattituntien määrä sähköhinnalla. Kaavalla 13 saatiin laskettua sähkötrukin lataukseen kuluvan vuodessa 87 885 kilowattituntia. Sähkönhinta yrityksellä on 0,05893 euroa kilowattitunnilta, hinta sisältää itse sähköenergian, siirron sekä verot. (Rauman Energia www-sivut 2019). Sähkönoston perusmaksua ei laskuissa tarvitse ottaa huomioon, sillä summa on sama, huolimatta siitä paljonko energiaa kulutettaisiin. Näillä luvuilla saadaan lasku kaavan 3 muotoon.

$$87885 \text{ kWh} \times 0,05892 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 5179,1 \text{ €}$$

Kaava 3 Sähkötrukin latauksien hinta vuodessa

Sähkön hinnassa ei ole huomioitu tehomaksua, jonka hinta on 2,32 euroa kilowattituntia kohden kuukaudessa. Latauksen tehomaksun suuruuden laskemiseen tulee selvittää trukin laturin huipputeho, joka tässä tapauksessa saadaan kaavalla 4.

$$U \times I \times \sqrt{3} = P$$

Kaava 4 Laturin huipputehon kaava

Kuten aiemmin on jo kerrottu, on laturin virta 200 ampeeria ja jännite 120 voltia. Sijoittamalla nämä kaavaan 4 saadaan se kaavan 5 muotoon.

$$120 \text{ V} \times 200 \text{ A} \times \sqrt{3} = 41569,2 \text{ VA} \approx 41569 \text{ W}$$

Kaava 5 Laturin huipputeho

Tulokseksi saadaan 41 569 wattia, joka voidaan muuntaa kilowateiksi jakamalla tuhannella. Näin lopputulos on 41,569 kilowattia. Tehomaksu saadaan kertomalla kilowattien määrä tehomaksun suuruudella.

$$41,569 \text{ kW} \times 2,32 \frac{\text{€}}{\text{kW}} = 96,44 \text{ €}$$

Kaava 6 Tehomaksun suuruus kuukaudessa

Kyseinen tulos on tehomaksu yhtä kuukautta kohden. Vuositasolla tehomaksu saadaan kertomalla tulos 12:sta. Näin vuositasolla hinnaksi saadaan 1157,3 euroa. Tämä summa voidaan lisätä alkuperäiseen sähkön hintaan, joka oli 5179,1 euroa. Vuodessa sähköhinnaksi tulee siis yhteensä 6336,4 euroa.

Sähkötrukin latauksien hinta vuodessa on noin 6336,4 euroa. Hintojen prosentuaalisen eron saamiseksi voidaan 6336,4 euroa jakaa 8834,7 eurolla. Luvuksi saadaan 0,717 eli sähkötrukin lataukseen kuluu vuodessa 28,3 prosenttia vähemmän rahaa, kuin dieseltrukin polttoaineisiin.

7.2 Leasing-hintojen vertailu

Kalmarin tarjouksen puuttuessa vertailua leasing-hinnoista ei voida tehdä eikä voida laskea esimerkiksi trukin hintaa käyttötuntia kohden. Tämän työn rinnalle on tehty toinen opinnäytetyö, joka käsittelee samaa aihetta, trukkien nostokykynä kuitenkin 3,5 tn. ja 5 tn. Työn tekijänä on Henna Puromäki (Selvitys dieseltrukkien korvaamisesta sähkötrukeilla ja vaihdon kannattavuus). Toisesta opinnäytetyöstä voidaan saada osviittaa siitä, millaisia hintaeroja koneiden välille syntyy. Leasing-hintoja vertaillen työssä 3,5 tn. dieseltrukki on 11% halvempi sähkötrukkiin verrattuna. Nostokyvyn noustessa 5 tn. hinnat kääntyvät toisinpäin sähkötrukin eduksi. Ajojuntien hintojen eroja laskettaessa molemmissa kokoluokissa hinnat saatiin sähkötrukin eduksi, sillä mukana laskuissa oli myös polttoaineiden hinnat. Näin ollen onkin mahdotonta päätellä olisiko 16 tn. sähkötrukki edullisempi vai kalliimpi kuin samanlainen dieseltrukki.

7.3 Sähkötrukin latauspaikan kustannukset

Tietoa hallien tämän hetkisestä infrasta ja valmiudesta sähkötrukkien latauspaikkojen rakentamiselle ei ole. Trukkien tarvitseman infran rakentamista arvioidaan toisessa opinnäytetyössä, jonka tekee Joonas Karttunen. Voidaan kuitenkin antaa karkea arvio infran hinnasta, joka on noin 100 000 euroa (Ylinen sähköposti 27.10.2019). Halleissa voidaan arvioida olevan noin kuusi trukkia, yksi jokaista koko luokkaa molemmissa halleissa, joten infran hinnaksi yhtä trukkia kohden tulee hieman alle 17 000 euroa.

Tiedossamme ei myöskään ole hintoja trukin tarvitsemille latureille. Trukin täyteen latausajan ollessa 13 tuntia, tulee latureita sekä akustoja olla kolme kappaletta, jotta trukilla voidaan ajaa ympäri vuorokauden. Laturit ovat kestäviä oikein käytettynä ja voisivat kestää jopa seuraavallekin trukille, näin yhteen trukkiin kohdistuva latauslaitteiston hintarasite pienenesi.

8 VAIHDON YMPÄRISTÖHYÖDYT

8.1 Polttomoottorin päästöt

Polttomoottorissa tapahtuva palaminen on kemiallinen reaktio, jossa polttoaineseoksen hiili C ja vety H kiinnittyvät happeen O. Täydellisen palamisen seurauksena syntyy lämmön lisäksi ainoastaan vettä H₂O ja hiilidioksidia CO₂. Pitkästä kehitystyöstä huolimatta palamisprosessi ei ole täydellinen ja tuottaa ihmiselle vaarallisia aineita, jotka palamisprosessissa palavat vain osittain tai eivät ollenkaan. Palamiseen ja sen tuottamiin pakokaasuihin sekä pakokaasujen sisältöön vaikuttavan monet tekijät, kuten moottorin kunto, ikä ja kuormitus sekä luonnollisesti polttoaineen tuotantotapa. Polttoaine voi olla esimerkiksi maaöljystä jalostettua tai biopolttoainetta. (Autotieto www-sivut 2019.)

Dieselmoottorin pakokaasut sisältävät muun muassa seuraavia yhdisteitä:

- Ihmiselle vaarattomia yhdisteitä
 - Typpi N₂
 - Vesi H₂O
 - Hiilidioksidi CO₂
 - Happi O₂
- Ihmisille vaarallisia yhdisteitä eli niin sanotut saasteet:
 - Hiilimonoksidi CO
 - Typen oksideja NO_x
 - Hiilivetyjä HC (Autotieto www-sivut 2019.)
 - Sekä runsaasti kiinteitä ainesosia, kuten hiiltä ja ultrapieniä hiukkasia (Terveystieteiden tutkimuskeskus, www-sivut 2019).

Työssä käytettävää vertailutruckia käytetään suurimmaksi osaksi hallien sisätiloissa, joissa pienhiukkasten määrä saattaa kasvaa jopa satakertaiseksi ulkoilmaan verrattuna. Hiukkasten määrä laskee ilmassa ajon loputtuakin hyvin hitaasti. Tehokaskaan ilmanvaihto ei yleensä ratkaise kokonaan pakokaasuongelmaa, mutta pienhiukkasten määrä

vähenee merkittävästi. Rakennuksen korkeudella saadaan myös säädettyä pienhiukkasten määrää, mitä korkeampi rakennus, sitä paremmin pakokaasut pääsevät laimeen. (Lönnberg 2016.)

Pakokaasujen puhtauteen voidaan vaikuttaa usealla eri jälkikäsittelyjärjestelmällä. Nykypäivänä dieselmoottoreissa käytetään usean eri pakokaasujen puhdistusmenetelmän yhdistelmää, jotka koostuvat seuraavanlaisista komponenteista:

- DOC-katalysaattori (Diesel Oxidation Catalyst), joka on hapettava katalysaattori ja nimensä mukaisesti se hapettaa moottorissa syntyviä myrkyllisiä kaasuja, kuten typpimonoksidi, vähemmän myrkyttömämpään ja vaarattomampaan muotoon
- DPF-suodatin (Diesel Particulate Filter) eli hiukkassuodatin, joka vähentää nokihiukkasten pääsyä ilmaan
- SCR-katalysaattori (Selective Catalytic Reduction) pelkistää typpioksideja pelkäksi typeksi ja vedeksi 32,5% urea liuoksen avulla. Pakokaasujen lämpö saa urean hajoamaan ammoniakiksi ja hiilidioksidiksi. Ammoniakki reagoi typen oksidien kanssa.
- ASC (Ammonia Slip Catalyst) on suodatin, jonka avulla SCR:stä jäävä ylijäämä ammoniakki muutetaan typeksi ja vesihöyryksi.
- EGR-venttiili (Exhaust Gas Recirculation) kierrättää osan pakokaasuista takaisin moottorin imusarjaan, jolloin se sekoittuu imuilman kanssa ja pienentää näin palamislämpötilaa. Lämpötilan laskun vaikutuksesta typenoksidipäästöt vähenevät merkittävästi

Kaikilla edellä mainituilla komponenteilla on oma tärkeä tehtävänsä pakokaasujärjestelmässä ja niiden avulla voidaan eliminoida ilmastolle ja ihmiselle haitallisia kaasuja ja hiukkaspäästöjä. (EKO DPF www-sivut 2019.)

Pakokaasun puhtauteen ja sen sisältämiin vaarallisiin aineisiin vaikuttaa myös käytettävä polttoaine sekä erityisesti sen setaaniluku. Setaaniluku ilmaisee dieselin syttymisherkkyyttä. Luvun ollessa pieni, syttyy diesel hitaasti kuormittaen moottoria sekä tuottaen ylimääräisiä päästöjä. Siksi polttoaineessa pyritään mahdollisimman korkeaan setaanilukuun. (Shell www-sivut 2019.) Yrityksen nykyisissä käytössä olevissa ko-

neissa käytettävässä Neste Tempera polttoöljyssä on korkea setaaniluku ja se on riki-töntä, jolloin pakokaasut ovat puhtaammat (Neste www-sivut 2019). Diesel poltto-moottorissa voidaan käyttää pääasiallisena polttoaineena dieselöljyä tai polttoöljyä, muita mahdollisia polttoaineita ovat teollisuusliottimet tai esimerkiksi biodiesel (Au-toWiki www-sivut 2019).

8.2 Sähkömoottorin päästöt

Sähkömoottori on ajon aikana täysin päästötön. Sähkö, jota käytetään sähkökäyttöisen työkoneen akuston lataamiseen, tulee kuitenkin tuottaa jollakin tapaa. Käytännössä vain aurinko-, tuuli- ja vesivoimalla tuotettu sähkö on päästötöntä. Muilla keinoilla tuotettu sähkö tuottaa päästöjä. (Turkula, 2017.)

Jos sähköajoneuvon päästöjä tarkastellaan koko sen elinkaaren ajalta, nousevat päästöt merkittävästi. Esimerkiksi sähköauton valmistaminen kuluttaa melkein puolitoista kertaisen määrän energiaa tavallisen auton valmistamiseen nähden. Ympäristön kuor-mittumiseen ja päästöihin vaikuttaa myös akusto ja sen valmistaminen. Litiumin ja koboltin kaivaminen on ympäristöongelma. Sähköauton akusto tulee vaihtaa kerran auton käyttöiän aikana. Työkoneissa akusto tulee vaihtaa vähintäänkin myös kerran. (Sjöström, 2018.)

Vaikka akkujen hävittäminenkin on suuri ympäristö ongelma, on autojen ja ajoneuvo-jen kierrätystä säätelemässä ELV- lainsäädäntö, jonka avulla ajoneuvon elinkaaren ai-kaisia päästöjä on saatu vähennettyä. Lainsäädännön avulla romuajoneuvoista saadaan lähes kaikki materiaali talteen ja valtaosa voidaan käyttää uudelleen tai kierrättää. (Autoalan tiedotuskeskus www-sivut 2019.)

Tässä työssä ei käsitellä sähkökäyttöisen ajoneuvon ympäristöpäästöjä koko elinkaa-ren osalta, sillä trukit, joilla vertailua tehdään, on tarkoitus ottaa yritykseen leasing-sopimukselle ja näin ollen tarkasteluun otetaan vain käytön aikaiset päästöt.

8.3 Vertailutrukkien päästöt

8.3.1 Dieseltrukin päästöt

Dieseltrukin hiilidioksidi päästöt saadaan laskemalla seuraavalla kaavalla

$$\begin{aligned} & \textit{nimellisteho} \times \textit{käyttötunnit} \times \textit{päästökerroin} \times \textit{kuormitusaste} \\ & = \textit{hiilidioksidi päästöt} \end{aligned}$$

Kaava 7 hiilidioksidi päästöt

Tässä tapauksessa vertailuna olevan dieseltrukin nimellisteho on 168 kilowattia. Käyttötunnit ovat vuonna 2018 olleet 1081 tuntia. Päästökertoimella tarkoitetaan käytettävälle polttoaineelle laskettua omaa päästökerrointa. Polttoaineena koneessa käytetään Neste Tempera polttoöljyä, jonka päästökerroin on 261 grammaa kilowattituntia kohden. (Neste Tempera 2019). Kuormitusaste diesel käyttöiselle haarukkatrukille on 0,3 (Opasnet www-sivut 2019).

Näillä tiedoilla lasku saadaan muotoon

$$168 \text{ kW} \times 1081 \text{ h} \times 261 \frac{\text{g}}{\text{kWh}} \times 0,3 = 14\,219\,906,4 \text{ g}$$

Kaava 8 Verrokki dieseltrukin hiilidioksidipäästöt

Vastaukseksi dieseltrukin vuotuisille hiilidioksidi päästöille saadaan 14 219 906,4 grammaa eli 14 220 kilogrammaa vuodessa.

8.3.2 Sähkötrukin päästöt

Sähkötrukki ei tuota päästöjä käytön aikana, mutta akkujen lataaminen ja sen vaatiman energian tuottaminen synnyttää päästöjä. Euroports Rauma Oylle sähkö tulee Rauman Energialta (Kuparinen, henkilökohtainen tiedonanto, 6.9.2019). Rauman

Energia ilmoittaa vuoden 2018 sähkötuotantonsa CO₂ päästöiksi 87 grammaa kilowattituntia kohden (Rauman Energian vuosikertomus, 2018).

Tarkasteltavassa sähkötrukissa on kaksi akustoa, joiden molempien kapasiteetti on 120 voltia / 2170 ampeerituntia. Näitä tietoja käyttäen voidaan seuraavalla kaavalla laskea lataukseen kuluvan energian määrä

$$U \times Q = E$$

Kaava 9 Energian kaava

Kaavassa U tarkoittaa jännitettä, Q tarkoittaa sähkövarausta akussa. Tässä tapauksessa jännite (U) on 120 voltia ja akun kapasiteetti (Q) 2170 ampeerituntia. (Kalmar ECG160-12 2019). Laskun tulos saadaan voltti ampeeritunteina, joka voidaan suoraan vaihtaa wattitunneiksi. (Ylinen sähköposti 18.10.2019). Sijoitetaan arvot kaavaan.

$$120 \text{ V} \times 2170 \text{ Ah} = 260\,400 \text{ VAh} = 260\,400 \text{ Wh}$$

Kaava 10 Latauksen vaatima energia

Latauksen yhteydessä syntyy häviöitä, jotka tulee ottaa huomioon. Juurikin tämän trukin laturin häviöitä emme pystyneet selvittämään, mutta voimme käyttää laskuissa 20 prosentin häviöitä, joka on häviöiden normaalisti käytetty standardi. (CSGNetwork www-sivut 2019). Latauksen vaatima energia tulee vielä siis jakaa luvulla 0,8, jotta todellinen energiamäärä saadaan.

$$\frac{260\,000 \text{ Wh}}{0,8} = 325\,500 \text{ Wh}$$

Kaava 11 Latauksen vaatima todellinen energia

Wattitunnit voidaan muuttaa kilowattitunneiksi jakamalla luvulla 1000, jolloin tulokseksi saadaan 325,5 kilowattituntia. Yhden akun täyteen lataaminen siis kuluttaa

kyseisen määrän energiaa. Seuraavaksi tulee selvittää latauskertojen määrä. Trukin ajotunnit vuodessa ovat noin 1081 tuntia. Yhdellä latauksella akustolla ajaa kymmenen tuntia. (Kalmar ECG160-12 2019). Akun täysin tyhjäksi ajaminen ei kuitenkaan ole akun käyttöikää ajatellen järkevää. Akkuun kannattaa jättää noin 20 prosenttia virtaa ennen latausta (Tuominen, henkilökohtainen tiedonanto 21.10.2019). Näin ollen täyteen ladatuilla akuilla voi ajaa kahdeksan tuntia. Latauskertojen selville saamiseksi tulee vuoden ajotunnit jakaa tunneilla, joita yhdellä latauksella ajaa.

$$\frac{1081 \text{ tuntia}}{8 \text{ tuntia}} \approx 135$$

Kaava 12 Vuodessa tarvittavat latauskerrat

Jos yhden akuston lataus täyteen kuluttu 325,5 kilowattituntia ja trukissa on kaksi akustoa, voidaan energia määrä kertoa kahdella. Molempien akustojen täyteen lataaminen kuluttaa siis 651 kilowattituntia. Latauskertojen määrän ollessa 135, voimme kertoa yhden latauksen kulutuksen tällä ja saamme koko vuodessa tarvittavan energian määrän.

$$651 \text{ kWh} \times 135 = 87\,885 \text{ kWh}$$

Kaava 13 Latauksen vuodessa kuluttama energia

Kuten edellä jo mainittiin, on Rauman Energia ilmoittanut sähkön tuotantonsa päästöiksi 87 grammaa hiilidioksidia kilowattituntia kohden. Vuoden hiilidioksidi päästöt ovat siis:

$$87\,885 \text{ kWh} \times 87 \frac{\text{g}}{\text{kWh}} = 7\,645\,995 \text{ g}$$

Kaava 14 Sähkötrukin tuottama vuoden hiilidioksidi päästö

Tulos voidaan muuttaa vielä kilogrammoiksi jakamalla se tuhannella, tällöin tulokseksi saadaan pyöristettynä 7 646 kilogrammaa hiilidioksidia vuodessa. Kaavassa

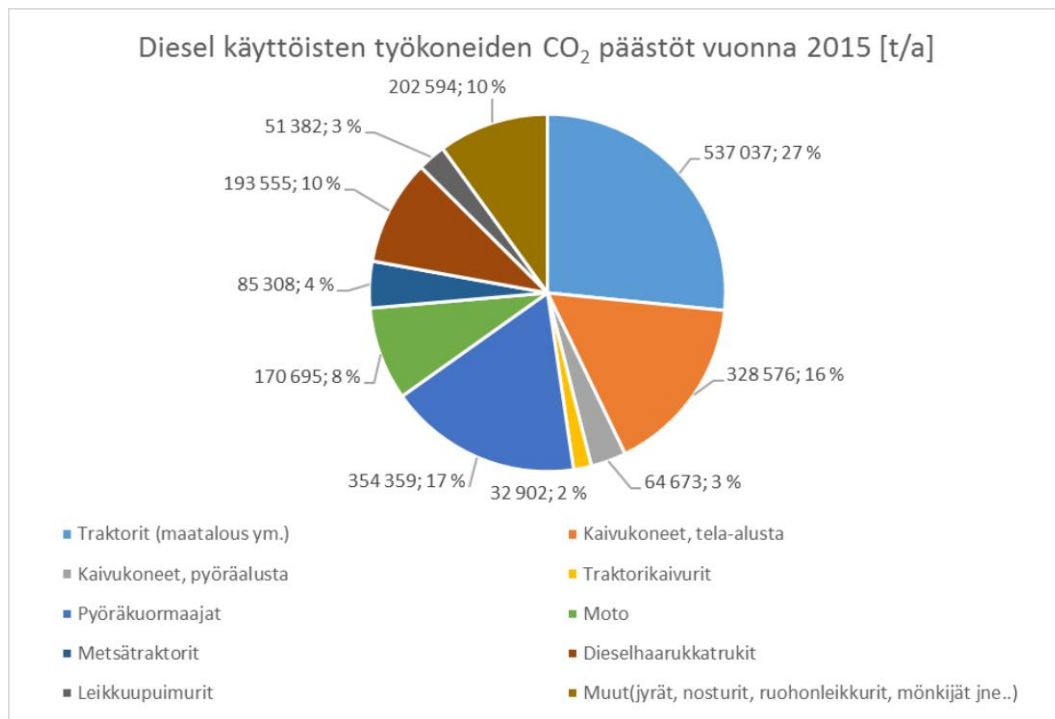
neljä dieseltrukin päästöiksi saatiin 14 220 kilogrammaa vuodessa. Jakamalla sähkötrukin päästöt dieseltrukin päästöillä saadaan 0,537, joka tarkoittaa sähkötrukin päästöjen olevan 46,3 prosenttia dieseltrukin päästöistä.

Hiilidioksidin lisäksi dieseltrukista tulee muitakin päästöjä, jotka syntyvät polttoaineen palamisesta. Näitä yhdisteitä ei sähkötrukin käymisen aikana tai sähköntuotannossa synny, joten näiden päästöjen osalta sähkötrukin päästöt ovat 100 prosenttia pienemmät.

8.4 Työkoneiden CO₂ päästölainsäädäntö nyt ja tulevaisuudessa

Vuonna 2015 diesel- käyttöisten haarukkatrukkien CO₂- päästöt olivat koko Suomen tasolla 193 555 tonnia vuoden aikana, määrä vastaa noin kymmentä prosenttia koko Suomen diesel- käyttöisten työkoneiden CO₂- päästöistä (Nylund, Söderena, Rahkola, 2016, 9). Kaaviossa 1 näkyy diesel- käyttöisten haarukkatrukkien lisäksi myös muiden työkoneiden CO₂- päästöt vuodelta 2015.

Kaavio 1. Työkoneiden CO₂- päästöt vuodelta 2015. (Nylund, Söderena, Rahkola, 2016, 9)



2015 keväällä Suomessa voimaan tullut ilmastolaki asettaa pitkän aikavälin kasvihuonekaasujen päästövähennystavoitteeksi vähintään 80 prosenttia vuoden 1990 vuoden tasosta, vuoteen 2050 mennessä. Pitkän aikavälin tavoite koskee kaikkia kasvihuonepäästöjä, mutta keskipitkän aikavälin tavoite koskee lähinnä EU:n päästökaupan ulkopuolelle jääviä sektoreita, joihin muun muassa työkoneet kuuluvat. Keskipitkän aikavälin päästökehityksiä tullaan seuraamaan vuoteen 2030 saakka. (Huttunen, 2017, 11.)

Työkoneiden kannalta merkittävin linjaus Energia- ja Ilmastostrategiassa on keskipitkän aikavälin toteutuksessa oleva linjaus, jonka tavoitteena on ottaa käyttöön 10 prosentin bionesteen sekoitusvelvoite työkoneissa käytettävään kevyeen polttoöljyyn. Työkoneiden päästöt ovat pysyneet verrattain samalla tasolla viime vuosina.

Työkoneisiin kohdistuva EU- sääntely koskee tällä hetkellä lähinnä perinteisiä ilmaansaasteita mutta ei esimerkiksi energiatehokkuutta tai CO₂päästöjä. EU- sääntelyn laajentaminen tulevaisuudessa koskemaan myös työkoneiden energiatehokkuutta ja

CO₂päästöjä mahdollistaisi työkonekannan uusiutumisen yhteydessä alenevan päästötason ja EU:n työkonesektorilla toimivien valmistajien kehitystyön. (Huttunen, 2017, 53.)

Näin ollen suurta painostusta ei ole vielä toistaiseksi lainsäädännön kannalta työkooneiden CO₂- päästöjen radikaalille vähentämiseksi tai esimerkiksi kaluston sähköistämiseksi. Liikkuvien työkooneiden muita päästöjä säädelään Stage- luokituksella, josta kerrotaan lisää seuraavassa luvussa.

Työkooneiden CO₂ päästöjen vähentämismahdollisuuksista on olemassa tutkimus vuodelta 2016, jonka on toteuttanut VTT, osana Suomen vuoden 2030 energia- ja ilmastostrategian valmisteluja. Tutkimuksessa CO₂päästöjen vähentämisen vaihtoehdot ja energiatehokkuuden parantamiset jaetaan karkeasti neljään osaan;

1. Energiatehokkuuden parantaminen moottoritasolla
 - CO₂ emissiovähennyspotentiaali noin 15 prosenttia
2. Vähähiiliset polttoaineet
 - CO₂ emissiovähennyspotentiaali noin 0-90%, riippuen korvaussuhteesta ja käytetyn biopolttoaineen ominaisuuksista
3. Energiatehokkuuden parantaminen ajoneuvotasolla
 - Esimerkiksi työlaitteiden kehittäminen, työkooneiden hybridisointi, voimansiirron kehittäminen, CO₂ emissiovähennyspotentiaali jopa 50%.
4. Työkoneen käytön tehostaminen
 - Käyttötapojen ja operoinnin tehostaminen, automatisointi. CO₂ vähennyspotentiaali jopa 35%.

Tutkimuksessa eritellään eri keinoja CO₂ päästöjen vähentämiseen ja todetaan lupaavimman säästöpotentiaalin olevan koneiden käytön tehostamisessa esimerkiksi kuljettajan työskentelyä tukevien älykkäiden järjestelmien avulla. (Nylund, Söderena, Rahkola, 2016, 14-18.)

Työkooneiden sähköistämisestä ei juuri löydy tehtyjä tutkimuksia aiheen ollessa verrattain uusi tutkimuskohde, mutta päästöjen suhteen erilaisia vähennysvaihtoehtoja pohdittaessa voidaan katsoa osittain suuntaa sähköautojen näkökulmasta. ”Valtioneuvoston

selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030'' linjaa sähköau-
tojen olevan tämän hetken teknologioista ainoa, jolla tieliikenteen päästöjä ja energi-
ankulutusta voi vähentää merkittävästi. (Valtioneuvoston selonteko kansallisesta ener-
gia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030, 2017, s60) Ensimmäiset työkoneiden sähköis-
tysininvestoinnit onkin jo toteutettu Suomessa, kun Toyota Material Handling Oy toi-
mitti syksyllä 2018 Valmet Automotive Oy; lle sähkötrukkeja sisälogistiikan käyttöön.
(Toyota Material Handling www-sivut 2019).

Suomen sähköntuotannon CO2 ominaispäästöt ovat myös jo hyvin matalat ja ne ale-
nevat entisestään päästökaupan ohjaamana. (Huttunen, 2017, 60). Esimerkiksi Rau-
man Energia Oy ilmoittaa vuoden 2018 vuosikertomuksessaan yhtiön sähkön tuotan-
non CO2- ominaispäästöjen olevan 87 g/kWh. Rauman Energian sähköntuotannosta
sertifioidun vihreän sähkön osuus on 83 prosenttia ja Rauman Energia tuottaa 39 pro-
senttia Rauman Energian sähköverkkoalueen kulutuksesta. (Rauman Energian vuosi-
kertomus, 2018)

Tässä tutkimuksessa on tarkemmin tutkittu sähköisten työkoneiden lataukseen kulu-
van sähkön CO2 päästöjä verrattuna aiempiin dieselkoneiden päästöihin tutkimuksen
myöhäisemmässä osuudessa; ''Vaihdon ympäristövaikutukset''.

8.4.1 Stage V:n vaikutukset moottoriin

Liikkuvien työkoneiden muita kuin CO2 päästöjä säädellään Stage- luokituksella,
jossa säänneltyihin päästöihin kuuluvat häkä, typenoksidit, pienhiukkaset ja hiilivedyt
ja viimeisimmissä luokitusversioissa myös ammoniakkipäästöt. Nykyinen luokitus
Stage IV tuli voimaan vuonna 2014 ja se koskee työkoneita, joiden moottoriteho on
56-130 kW. (Motiva www-sivut 2018.) Stage IV; n mukaiset päästörajat nähtävissä
kuvassa 8.

Table 3
Stage IV emission standards for nonroad diesel engines

Cat.	Net Power	Date	CO	HC	NOx	PM
	<i>kW</i>					
Q	130 ≤ P ≤ 560	2014.01	3.5	0.19	0.4	0.025
R	56 ≤ P < 130	2014.10	5.0	0.19	0.4	0.025

Kuva 8. Stage IV:n päästörajat työkoneille. (Dieselnet www-sivut 2019)

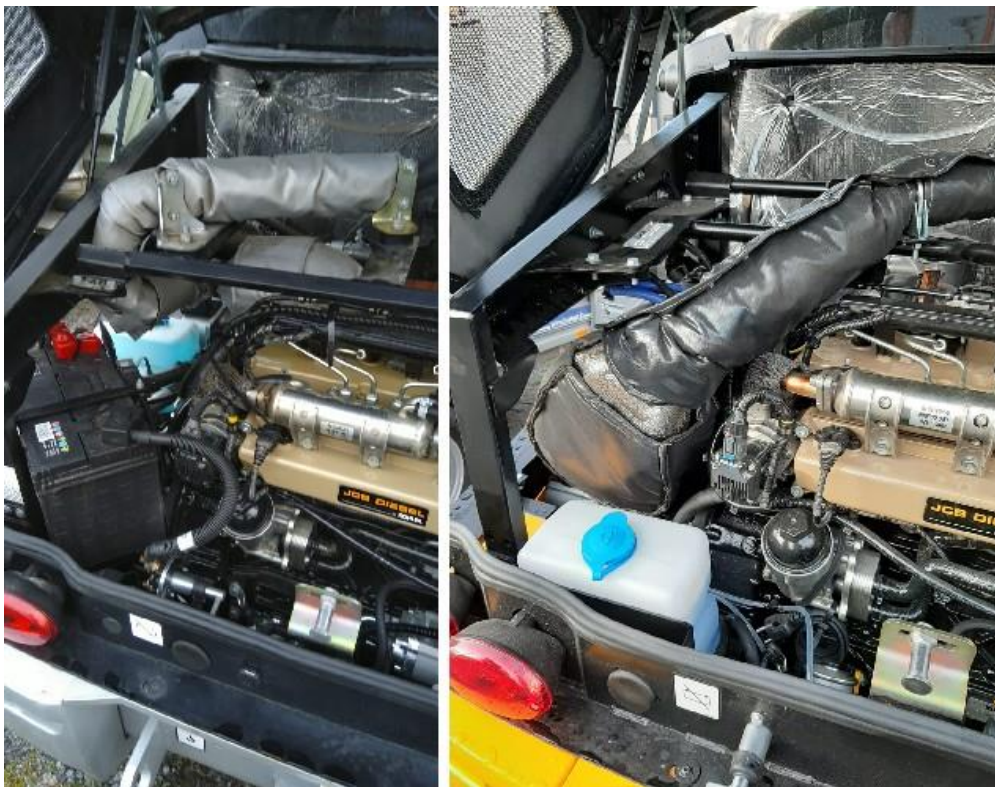
Vuosina 2018 ja 2019 käyttöön otettavassa Stage V lainsäädännössä uutena sääntelynä tulee hiukkaslukumäärä yhdeksi päästökomponenteista. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että moottorivalmistajien tulee käyttää 90 kW-560 kW moottoreissa hiukkas-suodattimia. (Nylund, Söderena, Rahkola, 2016, 12-13.) Kuvassa 9 nähtävissä Stage V:n mukaiset päästörajat jokaiselle päästökomponentille, jossa näkyvissä myös uudet hiukkaslukumäärän säännökset.

Table 4
Stage V emission standards for nonroad engines (NRE)

Category	Ign.	Net Power	Date	CO	HC	NOx	PM	PN
		<i>kW</i>						
NRE-v/c-1	CI	P < 8	2019	8.00	7.50 ^{a,c}		0.40 ^b	-
NRE-v/c-2	CI	8 ≤ P < 19	2019	6.60	7.50 ^{a,c}		0.40	-
NRE-v/c-3	CI	19 ≤ P < 37	2019	5.00	4.70 ^{a,c}		0.015	1×10 ¹²
NRE-v/c-4	CI	37 ≤ P < 56	2019	5.00	4.70 ^{a,c}		0.015	1×10 ¹²
NRE-v/c-5	All	56 ≤ P < 130	2020	5.00	0.19 ^c	0.40	0.015	1×10 ¹²
NRE-v/c-6	All	130 ≤ P ≤ 560	2019	3.50	0.19 ^c	0.40	0.015	1×10 ¹²
NRE-v/c-7	All	P > 560	2019	3.50	0.19 ^d	3.50	0.045	-

^a HC+NOx
^b 0.60 for hand-startable, air-cooled direct injection engines
^c A = 1.10 for gas engines
^d A = 6.00 for gas engines

Kuva 9 Stage V:n mukaiset päästörajat. (Dieselnet www-sivut 2019)



Kuva 1. Vasemmalla JCB:n työkonen moottoritila ilman hiukkassuodatinta ja oikealla hiukkassuodattimella. (Laitinen 2019)

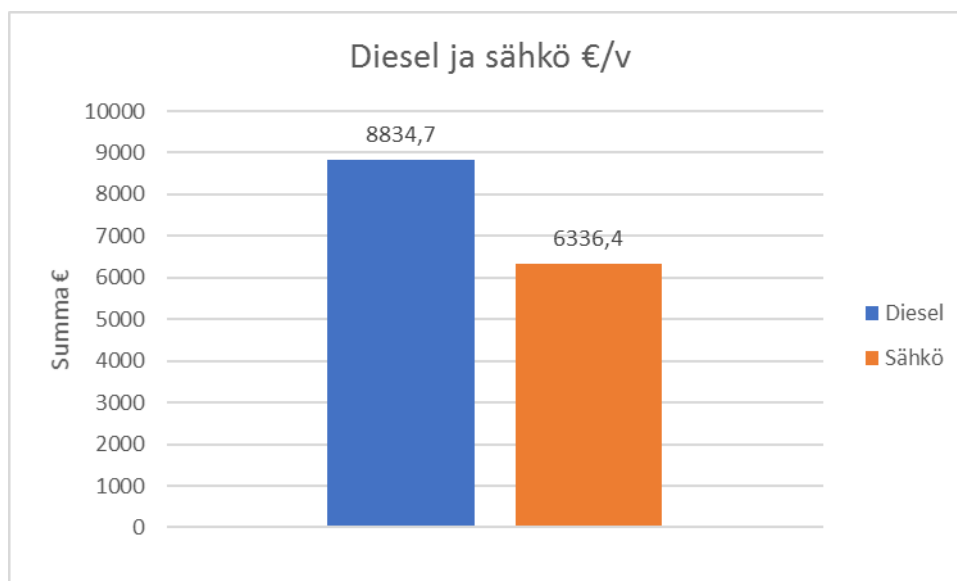
Hiukkassuodattimen lisääminen koneen moottoriin ei tuo suuria vaikutuksia käyttöön tai huoltoihin. Suodattimen vaihtoväli on valmistajan mukaan noin 4 000 – 6 000 ajotuntia tai sitten, kun on tarve vaihdolle. (Tuominen J., henkilökohtainen tiedonanto 10.9.2019.)

9 TULOKSET

9.1 Kustannukset

Tähän työhön ei pystytty laskemaan tuloksia kustannusten osalta muuten, kuin vertailemalla vuoden sähköön ja dieseliin kulutettuja summia. Tulokseksi saatiin sähköön kuluvat 28,3 prosenttia vähemmän rahaa vuodessa kuin dieseliin. Dieselin hinta vuodessa on saatu kertomalla kulutetun dieselin määrä dieselin hinnan keskiarvolla vuodelta 2018. Sähköön kuluva summa saatiin selvittämällä ensin yhteen lataukseen kuluviin kilowattituntien määrä, joka kerrottiin vuodessa tarvittavien latauskertojen määrällä. Tulos kerrottiin vielä sähköhinnalla.

Kaavio 2. Dieseliin ja sähköön kuluvat summat vuodessa

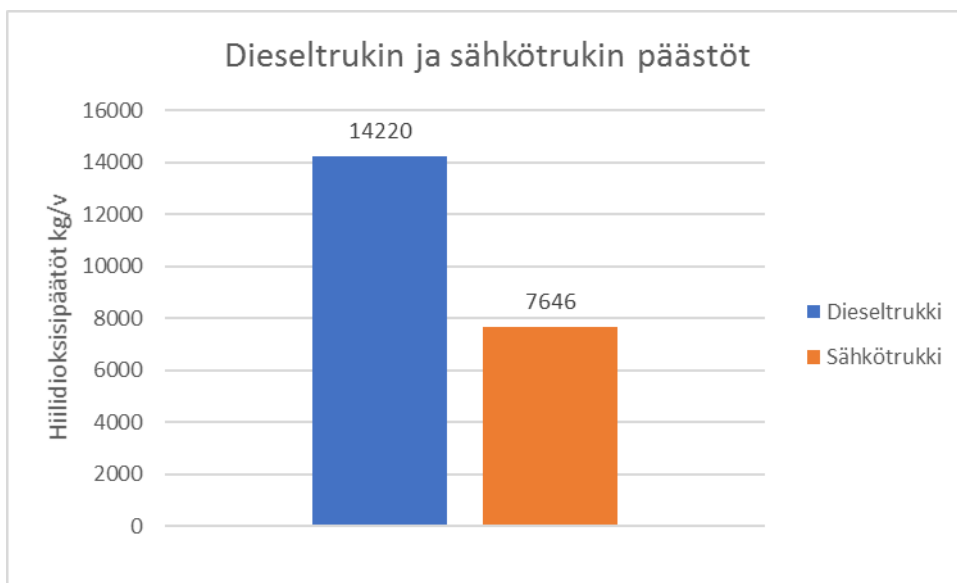


9.2 Ympäristöhyödyt

Dieseltrukin vaihtamisella sähköiseen on suuret vaikutukset sekä ilmaston, että paikallisen työympäristön kannalta. Paikalliset päästöt häviävät kokonaan, sillä sähkömoottori ei tuota päästöjä. Sähkötrukin akuston lataamiseen käytettävän sähkön tuottaminen tuottaa hiilidioksidi päästöjä. Päästöt ovat kuitenkin 46,3 prosenttia pienemmät kuin dieseltrukin aiheuttaman hiilidioksidi päästöt. Päästöjen määrät on esitetty

kaaviossa 3. Dieseltrukin päästöt saatiin käyttämällä kaavaa, jossa otettiin huomioon käyttöaste, ajotunnit vuodessa, koneen teho sekä käytettävän polttoaineen päästökerroin. Sähkötrukin päästöt saatiin kertomalla vuodessa latauksiin kuluneen energian määrä Rauman Energian ilmoittamalla hiilidioksidipäästökertoimella.

Kaavio 3. Dieseltrukin ja sähkötrukin päästöt



10 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tuloksena saatiin polttoainekustannusten sekä ympäristöhyötyjen vertailu sähkötrukin ja dieseltrukin välille. Työn tavoitteena oli myös selvittää trukkien leasinghinnat ja vertailla trukkien hintoja. Kalmarin leasing-hintojen toimituksen ollessa ongelmallista ei hintoja päästy vertailemaan. Yritys pystyi kuitenkin toimittamaan verkki dieseltrukkia vastaavan sähkötrukin sekä sen laturin tekniset tiedot, joten polttoainekustannusten ja päästöjen laskeminen onnistui.

Ympäristöhyödyt trukkien vaihtamisesta sähköisiin olisi merkittävät. Paikalliset päästöt poistuisivat kokonaan, sillä niitä sähkötrukista ei synny. Sähkötrukin päästöt riippuvat sen lataamiseen käytettävän sähkön tuotantotavasta. Hallien sisäilma ja työturvallisuus paranisisivat. Vaihtamisen jälkeen alueelle ei tarvitsisi toimittaa enää niin runsaasti dieseliä, ja mahdollisuudet esimerkiksi öljyvuotoihin pienenisivät merkittävästi.

Tavoitteiden täyttymättömyydestä huolimatta saatiin selvitettyä sähkötrukkien olevan edullisempia ainakin käyttövoimakustannusten osalta sekä olevan ympäristölle huomattavasti parempi. Lopullisissa laskennoissa vaihtoa miettiessä tulee kuitenkin huomioida myös latauspaikan rakentaminen sekä laturien hankinta, sillä niillä voi olla suurikin merkitys sähkötrukin hintaan. Aikaisemmin mainitussa tämän työn rinnalle tehdyssä toisessa opinnäytetyössä todetaan trukkien hintojen olevan lähes samalla tasolla. Mahdollisesti trukkien hintojen eron jäädessä vähäiseksi, kun mukaan on huomioitu laturit sekä latauspaikka, voidaan miettiä, olisiko asiaa parasta katsella ympäristön näkökulmasta.

LÄHTEET

Autoalan tiedotuskeskus www-sivut. 2019. Viitattu 17.9.2019. http://www.aut.fi/ymparisto/auton_elinkaaren_aikaiset_paastot

Automation Forum www-sivut. 2019. Viitattu 17.9.2019. <https://automation-forum.co/difference-between-the-rotor-and-the-stator/>

Autotieto www-sivut. 2019. Viitattu 3.9.2019. http://www.autotieto.net/pakokaasutkurssi/oppimateriaalit/palaminen_polttomoottorissa.htm

AutoWiki www-sivut. 2019. Viitattu 22.8.2019. <http://www.autowiki.fi/index.php/Polttomoottori>

CSGNetwork www-sivut. 2019. Battery Charge Time Calculator. Viitattu 21.10.2019. <http://www.csgnetwork.com/batterychgcalc.html>

Dieselnets www-sivut. 2019. Viitattu 22.8.2019. <https://www.dieselnets.com/standards/eu/nonroad.php#s3>

EKO DPF www-sivut 2019. Viitattu 2.10.2019. <https://www.ekodpf.fi/jalkikasittely-jarjestelmat-yleisesti/>

Euroports www-sivut. 2019. Viitattu 3.6.2019. <http://www.euroports.fi/index.php>

Huttunen. 2017. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. Työ- ja Elinkeino ministeriö. Viitattu 14.8.2019.

Kalmar DCG 160-12. 2019. Esite. Kalmar. Viitattu 9.9.2019.

Kalmar ECG 160-12. 2019. Esite. Kalmar. Viitattu 17.10.2019.

Kalmar ECG 160-12. 2019. Käyttöohjekirja. Viitattu 17.10.2019.

Kalmar www-sivut. 2019. Viitattu 9.10.2019. <https://www.kalmar.fi/tietoa-kalmarista/kalmar-in-brief/>

Kuparinen S. Tekninen johtaja. Euroports Rauma Oy. Henkilökohtainen tiedonanto. 2.9.2019.

Laitinen J. 2019. Kuva 10. JCB:n työkoneen moottoritila ilman hiukkassuodatinta ja hiukkassuodattimella.

Lönnberg. 2016. Älä kaasuta! Tiedote. Maatalousyrittäjien eläkelaitos. Viitattu 9.9.2019. https://www.mela.fi/sites/default/files/ala_kaasuta.pdf

Minilex www-sivut. 2019. Viitattu 9.10.2019. <https://www.minilex.fi/a/mik%C3%A4-on-leasingsopimus>

Motiva www-sivut. 2019. Viitattu 25.8.2019. https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kestavat_julkiset_hankinnat/tietopankki/ty-okoneet

Neste Tempera. 2019. Esite. Neste. Viitattu 3.9.2019. https://www.neste.fi/static/datasheet_pdf/160360_fi.pdf

Neste www-sivut. 2019. Viitattu 3.9.2019. <https://www.neste.fi/node/6722>

Nylund, Söderena, Rahkola. 2016. Työkoneiden CO₂- päästöt ja niihin vaikuttaminen. Raportti. Valtion Teknillinen Tutkimuslaitos. Viitattu 14.8.2019.

Opasnet www-sivut. 2019. Viitattu 10.10.2019. [http://opasnet.org/fi/Ty%C3%B6koneiden_p%C3%A4%C3%A4st%C3%B6t](http://opasnet.org/fi/Ty%C3%B6koneiden_p%C3%A4%C3%A4st%C3%A4st%C3%B6t)

Puromäki H. 2019. Kuva 4. 3,5 tn. trukki lastaamassa merikonttia sekä merikonttien lastaus alue.

Rauman Energia vuosikertomus. 2018. Viitattu 25.8.2019. <https://raumanenergia.fi/yritystietoa/vuosikertomukset>

Shell www-sivut. 2019. Viitattu 3.9.2019. <https://www.shell.fi/motorists/shell-fuels/shell-diesel.html>

Sjöström, M. Sähköauto voi olla iso saastuttaja. Artikkel. Tekniikka & Talous 14.12.2018. Viitattu 17.9.2019. <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/sahkoauto-voio-olla-iso-saastuttaja-tarkeinta-on-katsoa-koko-energiapalettia-ja-elinkaarta/352fb674-88e9-3d73-bccd-e6ad6e847eeb>

Smart Urban Business www-sivut. 2019. Viitattu 10.10.2019. <https://sub.samk.fi/projects/satamari/>

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos www-sivut. 2019. Viitattu 3.9.2019. <https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/ilmansaasteet/liikenteen-ilmansaasteet/pakokaasut>

Toyota Material Handling www-sivut. 2019. Viitattu 25.8.2019. <https://toyota-for-klifts.fi/tietoa-toyotasta/uutisia-ja-ajankohtaista/suomen-historian-suurin-trukki-investointi-uudenkaupungin-autotehtaalte/>

Tuominen J. Huoltopäällikkö. Mateko Oy. Henkilökohtainen tiedonanto. 10.9.2019.

Turkula T. Onko sähköauto oikeasti päästötön? Artikkel. Länsiväylä 3.12.2017. Viitattu 10.9.2019. <https://www.lansivayla.fi/artikkeli/586500-onko-sahkoauto-oikeasti-paastoton-moottori-selvitti>

Vieno M-M. vartija. Euroports Rauma Oy. Henkilökohtainen tiedonanto. 1.10.2019.

Ylinen M. Sähkötrukkien latauskalusto. Vastaanottaja Selin, Puromäki, Mustonen ja Karttunen. Lähetetty 27.10.2019 klo. 13.32. Viitattu 30.10.2019

Ylinen M. Sähkötrukin latauksen päästöt. Vastaanottaja Selin. Lähetetty 18.10.2019 klo. 11.56. Viitattu 21.10.2019.

LIITE 1

TARJOUSPYYNTÖ TRUKKITOIMITTAJALLE

Hei!

Lähestymme teitä Euroports Rauma Oy; lle tehtävän opinnäytetyön merkeissä. Simo Kuparinen Euroports Rauma Oy;tä on lähestynyt Teitä sähköpostilla asian tiimoilta.

Teemme Euroports Rauma Oy; lle opinnäytetyönä selvityksen nykyisten dieseltrukkien vaihdosta sähköisiin trukkeihin ja sen kannattavuudesta. Tarjoustanne käytetään budjetointi luonteisessa laskennassa.

Yrityksen toiveesta selvitämme mahdollisen sähköisen kaluston hankinnan leasing-tarjouksia Euroports Rauma Oy; n satamatoimintaan.

Leasing- sopimukseen tulisi kuulua kaikki tarvittavat huollot, sekä määräaikais- että tarvittavat lisähuollot. Lisäksi toivomme tarjouksen sisältävän myös latauslaitteen sähkötrukille.

Kaupallisina ehtoina tarjouksessa voidaan pitää samoja, kuin aiemmissa kaupoissanne Euroports Rauma Oy:n kanssa. Toivomme tarjoukset yhden maksuerän periaatteella.

Selvityksen tueksi pyytäisin Teiltä leasing- tarjousta seuraavanlaisten trukkien korvaamiseksi sähköisillä, sekä niille soveltuvista latausratkaisuista;

- Nostokyky 16000kg, nykyinen dieselmoottorin nimellisteho 168 kW

Kukin selvityksessä olevista trukeista on tarkoitettu paperirullien käsittelyyn kahdessa eri ulkovarastossa, joten rullien käsittelyyn tarkoitettujen lisälaitteiden toivotaan olevan huomioituna tarjouksessa. Trukkien varustetaso voisi kaikin puolin olla samanlainen kuin nykyisissäkin yrityksen trukeissa.

Toivomme tarjouksen sisältävän myös teknistä tietoa laitteista.

Mikäli Teillä on kysyttävää kyselystä, annamme Teille mielellään lisätietoja.

Ystävällisin terveisin;

Emma Selin

opiskelija

Satakunnan Ammattikorkeakoulu

emma.selin@student.samk.fi

Puh. 050 400 3733