

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO LUT
LUT School of Energy Systems
Ympäristötekniikan koulutusohjelma
Kandidaatintyö

SÄHKÖPOTKULAUDAN HIILIJALANJÄLKI

Carbon footprint of an electric scooter

Työn tarkastaja: Apulaisprofessori, TkT Ville Uusitalo
Työn ohjaaja: Nuorempi tutkija, DI Elisa Uusitalo

Lappeenrannassa 30.9.2020

Kerli Maiste

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT
LUT School of Energy Systems
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Kerli Maiste

Sähköpotkulaudan hiilijalanjälki

Kandidaatintyö

2020

42 sivua, 1 taulukko, 6 kuvaa ja 3 liitettä.

Työn tarkastaja: Apulaisprofessori, TkT Ville Uusitalo

Työn ohjaaja: Nuorempi tutkija, DI Elisa Uusitalo

Hakusanat: sähköpotkulauta, hiilijalanjälki, päästöt
Keywords: electric scooter, carbon footprint, emissions

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on laskea yhteiskäytössä olevalle sähköpotkulaudalle hiilijalanjälki ja verrata sitä muihin liikkumisvälineisiin. Vertailussa käytettyjä liikkumisvälineitä ovat keskikokoinen henkilöauto, sähköauto, juna, metro, raitiovaunu ja pyörä. Työssä lasketaan sähköpotkulaudalle hiilijalanjälki ottaen huomioon sen kaikki elinkaarivaiheet lukuun ottamatta loppukäsittelyä tiedonpuutteen vuoksi. Työn elinkaarianalyysistä huomataan, että merkittävimmät päästöt sähköpotkulaudan elinkaarenaikana syntyvät sen raaka-aineista sekä sen käytöstä. Nämä muodostavat noin 89-prosenttia koko sähköpotkulaudan hiilijalanjäljestä. Käytön aikaiset päästöt aiheutuvat suurimmaksi osaksi sähköpotkulautojen keräyksestä latausta varten. Työssä laskettu yhteiskäytössä olevan sähköpotkulaudan hiilijalanjälki on liikuttua kilometriä kohden 45,2 g CO_2 -ekv. Vertailussa huomataan, että sähköpotkulauta tuottaa vähemmän päästöjä liikuttua kilometriä kohden kuin keskikokoinen henkilöauto tai sähköauto, mutta enemmän kuin juna, metro, raitiovaunu tai pyörä. Sähköpotkulaudan ei tulisi siis korvata juna-, raitiovaunu-, metro- tai pyörämatkoja, vaan lyhyitä automatkoja jos sen käytöllä tavoitellaan kasvihuonekaasupäästövähennyksiä.

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLILUETTELO	4
1 JOHDANTO	5
2 LIIKENTEEN VAIKUTUS SUOMEN KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖIHIN	8
3 HIILIJALANJÄLJEN LASKENTAPROSESSI	10
4 SÄHKÖPOTKULAUDAN HIILIJALANJÄLKI	12
4.1 Raaka-aineet	12
4.1.1 Akku	13
4.1.2 Moottori	14
4.1.3 Alumiinirunko	15
4.1.4 Renkaat ja teräsosat	16
4.2 Valmistus	17
4.3 Kuljetus	18
4.4 Käyttö	19
4.4.1 Keräys	20
4.4.2 Lataus	21
4.5 Loppukäsittely	22
4.5.1 Li-ion-akun kierrätys	22
4.5.2 Alumiinirungon, teräsosien ja moottorin kierrätys	23
4.6 Kokonaispäästöt elinkaaren ajalta	24
5 SÄHKÖPOTKULAUDAN HIILIJALANJÄLKI VERRATTUNA MUIHIN	
LIIKKUMISVÄLINEISIIN	27
5.1 Vertailussa käytetyt liikkumisvälineet sekä hiilijalanjäljet	27
5.2 Vertailun tulokset	28
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	30
7 YHTEENVETO	32
LÄHTEET	34

LIITTEET

Liite 1. Päästöjen laskenta: Raaka-aineet

Liite 2. Päästöjen laskenta: Kuljetus

Liite 3. Päästöjen laskenta: Keräys ja lataus

SYMBOLILUETTELO

Yhdisteet

CO_2	Hiilidioksidi
N_2O	Dityppioksidi
CH_4	Metaani
NFC	Fluorihiiilivedyt
PFC	Perfluorihiiilivedyt
SF_6	Rikkiheksafluoridi
PAH	Polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä
VOC	Haihtuvia orgaanisia yhdisteitä

Yksiköt

CO_2 -ekv.	Hiilidioksidiekvivalentti
W	Watti
Wh	Wattitunti
kWh	Kilowattitunti
Mt	Megatonni

Lyhenteet

GWP	Global Warming Potential
Li-ioni	Litiumioni
E-jäte	Elektroninen jäte

1 JOHDANTO

Koko maailman kasvihuonekaasupäästöistä noin 14-prosenttia aiheutuu liikenteestä. Yleisin päästöjen aiheuttaja liikenteessä on polttoaineen, kuten bensiinin tai dieselöljyn, palamisreaktio ja siinä syntyvä hiilidioksidi. (IPCC 2014, 9.) Hiilidioksidi ja muut kasvihuonekaasut absorboivat maanpinnasta lähtevää pitkäaaltoista säteilyä ja lämmittävät maapalloa. Kasvihuonekaasujen pitoisuuksien lisääntyminen ilmakehässä näin ollen voimistaa kasvihuoneilmiötä ja aiheuttaa ilmastonmuutosta. (CO2-raportti.fi 2020.) Tieliikenteen kasvun myötä kasvihuonekaasupäästöjä pääsee enemmän ilmakehään ja ilmastonmuutos vahvistuu. Liikenteen päästöjä voidaan vähentää EU:n tasoilla strategioilla, esimerkiksi Ilmastoneutraali vuoteen 2050 mennessä -strategialla, tai valtion säädöksillä, esimerkiksi asettamalla päästörajoja ajoneuvoille (European Commission 2020a, 2020b). Liikenteen päästöjen vähentämiseksi on alettu kehittämään uusia liikkumisvälineitä. Tavoitteena olisi korvata fossiililla polttoaineilla kulkevia ajoneuvoja vähäpäästöisemmällä tai päästöttömällä vaihtoehdoilla (CO2-raportti.fi 2020). Yksi tällainen uusi liikkumisväline on sähköpotkulauta.

Sähköpotkulauta on kaksipyöräinen potkulauta, joka kulkee sähköllä (Westbrook 2019). Sähköpotkulaudan käyttö on yleistynyt viime vuosina koko maailmassa. Yhteiskäyttöön tarkoitetut sähköpotkulaudat otettiin käyttöön ensimmäistä kertaa Kaliforniassa vuonna 2017 (Kokkonen et al. 2019). Suomeen sähköpotkulaudat tulivat yhteiskäyttöön kaksi vuotta myöhemmin. Siitä lähtien vuokrattavat sähköpotkulaudat ovat yleistyneet sekä levinneet ympäri Suomea. Tällä hetkellä niiden vuokraaminen on mahdollista Helsingissä, Espoossa, Turussa ja Tampereella. Myös niiden yksityisomistaminen on mahdollista. (Rytönen 2019.)

Sähköpotkulautoja markkinoidaan ympäristöystävällisenä liikkumismuotona, sillä niiden energialähteenä toimii sähkö eivätkä fossiiliset polttoaineet. Sähköpotkulautayritykset suunnittelevat joko itse sähköpotkulautansa tai käyttävät samoja malleja, joita on mahdollista hankkia yksityiskäyttöön (Dickey 2018). Suunnittelu saattaa sijoittua kohdemaahan, mutta tuote valmistetaan useimmiten Kiinassa (Motorino 2020). Suomalainen sähköpotkulautayritys Hoop esimerkiksi suunnittelee sähköpotkulautansa Suomessa, mutta valmistaa niitä Kiinassa (Kilpelänaho 2019). Sähköpotkulautayritys Tier on päässyt ilmastoneutraaliksi vähen-

tämällä oman tuotteensa elinkaarenaikana syntyviä päästöjä, mukaan lukien kasvihuonekaasut, ja kompensoimalla loput päästöistään (Tier 2020a). Tarkempaa tutkimusta sähköpotkulautojen päästöistä on toteutettu Amerikassa Pohjois-Carolinan osavaltion yliopiston tutkimuksessa (Copeland et al. 2019). Suomessa vastaavaa tutkimusta ei ole tehty.

Tässä työssä tarkastellaan sähköpotkulaudan koko elinkaaren eri vaiheita sekä niiden tuottamia hiilidioksidipäästöjä. Työn tavoitteena on laskea sähköpotkulaudalle hiilijalanjälki eli koko elinkaaren aikana syntyviä hiilidioksidipäästöjä. Hiilijalanjälkeä laskettaessa tavoitteena on ottaa elinkaarivaiheissa huomioon valmistukseen tarvittavat raaka-aineet, tuotteen valmistuksesta aiheutuvat päästöt, tuotteen kuljetus kohdemaahan, käytön aikana aiheutuvat päästöt ja elinkaaren loppuosa eli tuotteen jätteiden käsittely. Työn tutkimuskysymykset ovat seuraavat: 1) kuinka paljon päästöjä kokonaisuudessaan sähköpotkulaudasta aiheutuu ja 2) mihin nämä päästöt sijoittuvat muihin liikkumisvälineisiin verrattuna. Tässä työssä tarkastelun kohteena on ensisijaisesti Suomessa olevat yhteiskäytössä olevat sähköpotkulaudit, mutta tiedonpuutteen vuoksi työssä käytetään omistuskäyttöön tarkoitettua sähköpotkulaudan tarkempia laitetietoja. Tutkimusmenetelmät ovat teoriaosuudessa kirjallisuuskatsaus, hiilijalanjälkeä laskiessa elinkaarianalyysi ja lopuksi vertailu. Kirjallisuuskatsauksella selvitetään liikenteen kasvihuonekaasupäästöjä, hiilijalanjäljen laskentaperiaatteet sekä sähköpotkulaudan tarvitsemia raaka-aineita sekä energianlähteitä eri elinkaarivaiheissa. Elinkaarianalyyssissä tarkastellaan kaikki elinkaarenvaiheet erikseen ja lasketaan teoriaosuuden tarkastelun pohjalta jokaiselle vaiheelle omat päästöt. Vertailussa on tavoitteena vertailla sähköpotkulaudan hiilijalanjälkeä henkilöauton, sähköauton, junan, metron, raitiovaunun ja pyörän hiilijalanjälkeen.

Työn teoriaosuudessa tarkastellaan sähköpotkulaudan elinkaaren vaiheita sekä selvitetään, mistä raaka-aineista tai energianlähteistä aiheutuu päästöjä. Tämän jälkeen lasketaan eri elinkaarivaiheille niiden tuottamat päästöt kirjallisuuskatsauksen pohjalta sekä standardi ISO-14067 ohjeistuksena. Sähköpotkulaudan hiilijalanjäljen laskemisen jälkeen siirrytään case-tarkasteluun. Case-tarkastelussa vertaillaan sähköpotkulaudan hiilijalanjälkeä henkilöauton, sähköauton, junan, metron, raitiovaunun ja pyörän hiilijalanjälkeen. Vertailussa käytettyjen liikkumisvälineiden hiilijalanjälkeä ei ole laskettu erikseen, vaan on käytetty Citi-Cap-hankkeessa laskettuja hiilijalanjäljen arvoja. Lopuksi tarkastellaan kokonaisuudessaan

työn tuloksia ja arvioidaan sähköpotkulaudan hiilijalanjälkeä verrattuna muihin vertailukoh-
teisiin.

2 LIIKENTEEN VAIKUTUS SUOMEN KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖIHIN

Suomessa kaikista syntyneistä kasvihuonekaasupäästöistä noin 20-prosenttia syntyy liikenteestä. Rautatieliikenteen, kotimaan lentoliikenteen sekä vesiliikenteen osuus on liikenteen päästöistä varsin pieni. Kun taas tieliikenteen osuus on noin 90-prosenttia. Vuonna 2018 tieliikenteestä aiheutui noin 10,9 megatonnia [Mt] hiilidioksidipäästöjä, josta noin 54-prosenttia syntyi vain henkilöautoista. Liikenteessä yleisin päästöjen aiheuttaja on polttoaineen, kuten bensiinin tai dieselöljyn, palamisreaktio ja siinä syntyvä hiilidioksidia (IPCC 2014). Suomessa vuonna 2017 moottoribensiiniä kulutettiin 1,9 miljardia litraa ja dieseliä 3,1 miljardia litraa. Moottoribensiinin kulutus on kuitenkin ollut laskussa, kun taas diesel polttoaineen myynti on kasvanut. Vähäpäästöisempi vaihtoehto polttoaineille on vaihtoehtoiset liikkumisvälineet, joiden energialähteenä toimii sähkö. Sähköajoneuvojen lisäksi biopolttoaine on toinen vaihtoehto vähäpäästöisempiin ajoneuvoihin. Biopolttoaineita ei voi kuitenkaan tuottaa tarvittavia määriä kestävästi, joten ajoneuvojen sähköistäminen on isossa roolissa Suomen tieliikenteen päästöjen vähentämisessä. (Ilmasto-opas 2019, Öljy- ja biopolttoainery 2018.)

Vuoteen 2030 mennessä Suomen tulee EU-lainsäädännön mukaan vähentää 39-prosenttia kasvihuonekaasupäästöistään vuoden 2005 päästöjen määrään verrattuna. Tämä tavoite koskee päästökaupan ulkopuolisia sektoreita, johon kuuluu liikenteen osalta tie-, vesi- ja raide liikenne. Tavoite ei koske lentoliikenteen eikä kansainvälisiä meriliikenteen päästöjä. Suomi kuitenkin tavoittelee 39-prosentin sijaan puolittamaan liikenteen kasvihuonekaasupäästöjä vuoteen 2030 mennessä. (Ilmasto-opas 2019, Liikennefakta 2020.)

EU-strategiaan kuuluu nopeuttaa vähäpäästöisten liikkumisvälineiden lisäämistä Euroopassa (European Commission 2020a). Täten niin EU-strategian kuin myös yleisesti ilmastomuutoksen torjumisen vuoksi on alettu keksimään erilaisia uusia ratkaisuja ympäristöystävällisempiin liikkumisvälineisiin. Vuonna 2017 Suomen kotimaan liikenteen kasvihuonekaasupäästöjä saatiin vähennettyä 6-prosentilla edelliseen vuoteen verrattuna, vähentämällä

fossiilisten polttoaineiden käyttöä (Tilastokeskus 2018, 13). Näin ollen vähentämällä fossiilipolttoaineella kulkevia ajoneuvoja ja lisäämällä uusiutuvalla energialla kulkevia liikkumisvälineitä, vähennetään Suomen tieliikenteen sektorin kasvihuonekaasupäästöjä.

Yksi toinen tapa vähentää päästöjä on lisäämällä kestävien kulkuneuvojen käyttöä kaupungeissa yhteiskäyttömallin avulla. Tätä mallia on hyödynnetty jo monessa kaupungissa yhteiskäyttöpöörillä eli kaupunkipyörillä, joiden päätavoite on vähentää henkilöautojen käyttöä päästöjen sekä ruuhkien vähentämiseksi. Lyhyet matkat voidaan korvata siis kävelyllä, joukkoliikenteellä tai yhteiskäyttömallia hyödynnettävillä kulkuneuvoilla. Yksi uusimmista yhteiskäyttömallia hyödyntävistä liikkumisvälineistä on sähköpotkulauta.

3 HIILIJALANJÄLJEN LASKENTAPROSESSI

Hiilijalanjäljellä tarkoitetaan tuotteen, organisaation tai palvelun aiheuttamia elinkaaren aikaisia kokonaispäästöjä. Hiilijalanjäljen laskennoissa rajataan laskennan tavoitteen mukaan, mitkä elinkaarivaiheet otetaan mukaan laskuihin. Hiilijalanjäljen laskennassa otetaan huomioon kasvihuonekaasut, jotka vaikuttavat ilmastonmuutokseen eli hiilidioksidi, typpioksiduuli, metaani, halogenoidut hiilivedyt ja muut orgaaniset yhdisteet (Ilmasto-org.fi 2007). Tällöin tulos ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalenttipäästöinä (g CO_2 -ekv). Ajoneuvoilla tai muilla liikkumisvälineillä tulos ilmoitetaan tyypillisesti hiilidioksidiekvivalenttipäästöt liikkuttua kilometriä kohden (CO_2 -ekv/km). (Claudelin 2019.)

Hiilijalanjälkeä laskettaessa ohjeistuksena toimii erilaisia standardeja, riippuen siitä onko kyse tuotteesta vai organisaatiosta. Yrityksien päästöjen laskennassa käytetään GHG-protokolla (Greenhouse Gas Protocol) standardia ja siihen kuuluvia Scope -ryhmittelyjä. Scope 1 sektorissa lasketaan yrityksen suorat kasvihuonekaasupäästöt eli ne päästöt, jotka syntyvät suoraan yrityksen toiminnasta. Scope 2 sektorissa lasketaan vaan ostoenergian päästöt ja Scope 3 sektorissa lasketaan vaan epäsuorat kasvihuonekaasupäästöt eli päästöt, jotka aiheutuvat yrityksen toimintojen tai valmistamien tuotteiden seurauksena. (World Resources Institute et al. 2015.)

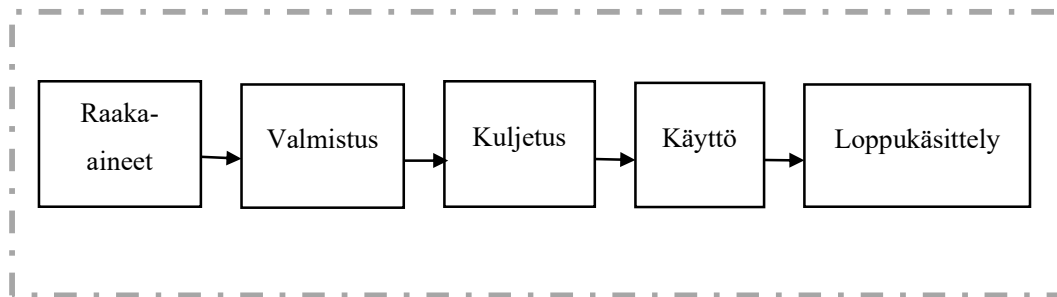
Tuotteen päästöjen laskentaohjeina toimii GHG-protokolla tuotestandardi, jonka avulla yritykset voivat laskea tuotteellensa koko elinkaaren aikaisia kasvihuonekaasupäästöjä (GHG Protocol 2020). Tuotteen hiilijalanjäljen laskemiseen ohjeistuksena toimii myös standardi ISO 14067 ja organisaatiolle standardi ISO 14064. Hiilijalanjäljen laskennassa käytetään hyödyksi lämmityspotentiaalia, jonka avulla pystytään kasvihuonekaasut muuntamaan hiilidioksidiekvivalenteiksi. Lämmityspotentiaali (Global Warming Potential, GWP) ilmaisee kasvihuonekaasun aiheuttamaa lämmitysvaikutusta hiilidioksidin massayksikköä kohti. Tämä arvo saadaan GWP-kertoimen avulla, joka lasketaan yleensä 100 vuoden (GWP100) tai 20 vuoden (GWP20) ajalle. (Claudelin 2019; IPCC 2014, 47.)

Hiilijalanjälkeä voidaan tarkastella tuotteen raaka-aineiden hankinnasta loppukäsittelyyn asti, jota kutsutaan ”kehdosta hautaan” menetelmäksi. Siinä menetelmässä ei ole rajattu mitään elinkaarivaiheita pois tarkastelu- tai laskuvaiheessa. Hiilijalanjälkeä on mahdollista laskea menetelmillä, joissa osa elinkaarivaiheista jää tarkastelun ulkopuolelle. ”Kehdosta tehtaantportille” menetelmässä tarkastellaan tuotetta raaka-aineista vain valmistukseen saakka, kun taas niin sanotulla ”portilta portille” menetelmässä huomioidaan vain valmistus. Näissä kahdessa menetelmässä on rajattu elinkaarivaiheita pois, jonka vuoksi ”kehdosta hautaan” menetelmä, jossa huomioitiin kaikki vaiheet, antaa tarkimman tuloksen tuotteen hiilijalanjäljestä näistä menettelytavoista. Hiilijalanjäljen laskentaan liittyy kuitenkin epävarmuuksia, sillä laskennoissa ei ole otettu yleensä huomioon vuodenaikaa, laitteen ikää tai ajotyyliä. Myös tiedonpuute tai tiedonlähteen epävarmuus vaikuttaa laskentatulokseen. (Claudelin 2019.)

4 SÄHKÖPOTKULAUDAN HIILIJALANJÄLKI

Tuotteen elinkaarenaikana käytetään erilaisia energianlähteitä sekä raaka-aineita, josta syntyy päästöjä (Ympäristöosaava 2020). Tuotteen elinkaari koostuu raaka-aineiden hankinnasta, tuotteen valmistuksesta, käytöstä ja myös kierrätyksestä tai jätteiden käsittelystä (Claudelín 2019). Jokaisessa elinkaaren vaiheessa joudutaan käyttämään erilaisia energialähteitä, kuten kuljetukseen polttoainetta tai lataukseen sähköä.

Selvittääkseen sähköpotkulaudan hiilijalanjälki, tarkastellaan sähköpotkulaudan kaikki sen elinkaarivaiheet käyttäen kehdestä hautaan menetelmää, ja lasketaan niistä aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt. Kokonaispäästöt elinkaaren ajalta osiossa elinkaarivaiheiden päästöt jaetaan elinkaariaikaisilla ajokilometreillä, jolloin saadaan lopullinen hiilijalanjälki. Kuvassa 1 on visuaalisesti kuvattu sähköpotkulaudan elinkaari ja sen vaiheet, joita käsitellään seuraavissa osioissa.



Kuva 1. Sähköpotkulaudan elinkaarivaiheet ja tuotejärjestelmän rajat.

4.1 Raaka-aineet

Sähköpotkulauta koostuu monesta eri osasta, jotka vaihtelevat tuottajan sekä kuluttajan käyttötarpeiden mukaan. Nämä osat vaativat eri raaka-aineita, joiden tuottaminen aiheuttaa kasvihuonekaasupäästöjä. Tämän osion tarkastelun kohteena olevat osat ovat akku, moottori, teräsosat, alumiinirunko ja renkaat, jotka ovat noin 89-prosenttia koko sähköpotkulaudan kokonaismassasta (Copeland et al. 2019, 4). Tämän osion lopussa on esitetty sähköpotkulaudan eri raaka-aineiden tuottamisesta aiheutuvat päästöt (Kuva 3). Kokonaispäästöt elinkaaren ajalta osiossa raaka-aineiden päästöt jaetaan elinkaariaikaisilla kilometreillä, jolloin

saadaan lopullinen hiilijalanjälki. Kuvassa 2 on selkeyden vuoksi havainnollistava piirros sähköpotkulaudasta sekä sen tärkeimmistä komponenteista ja materiaaleista, joita käsitellään seuraavissa luvuissa.



Kuva 2. Sähköpotkulaudan tärkeimmät komponentit (mukaillen: Pixabay 2020).

Sähköpotkulaudan tärkeimmät osat ovat kutakuinkin samat kaikissa sähköpotkulaudoissa, mutta osien laatu ja paino voivat vaihdella. Yhteiskäytössä olevien sähköpotkulautojen laitetietojen tiedonpuutteen vuoksi tässä työssä on käytetty omistuskäyttöön tarkoitettua Mi Electric Scooter (Xiaomi M365) sähköpotkulaudan osia sekä niiden painoja. Seuraavaksi tarkastellaan sähköpotkulaudan komponenttien kasvihuonekaasupäästöjä ja mistä ne syntyvät. Liitteestä 1 löytyy taulukko raaka-aineiden laskennasta.

4.1.1 Akku

Sähköpotkulaudassa käytetään litiumioniakkua (Li-ioni), jota käytetään myös sähköautoissa, puhelimissa sekä monessa muussa elektronisessa laitteessa (Härri 2018). Li-ioni-akku

koostuu anodista, katodista, elektrolyytistä, erottimesta sekä kahdesta virrankerääjästä. Sähköpotkulaudan akussa käytetään tarkemmin 18650 akkukennoa (Electric Scooter Guide 2020). Elektrolyyttiliuos kuljettaa positiivisesti varautuneita litiumioneja anodilta katodille. Tämä liike luo vapaita elektroneja anodiin, jotka sitä mukaan saavat aikaan varauksen positiivisessa virrankerääjässä. Täten sähkövirta menee virrankerääjästä laitteen kautta negatiivisen virrankerääjään. Erotin estää elektronien virtauksen akun sisällä. (Energy.gov 2017.)

Li-ioni-akuissa aiheuttaa päästöjä materiaalien louhinta, niiden jalostaminen sekä kennojen, pakkauksien ja moduulien valmistus (Melin 2019, 2). Nämä vaativat merkittäviä määriä energiaa, jotka aiheuttavat kasvihuonekaasupäästöjä. Li-ioni-akun elektrodien valmistukseen käytetään litiumoksidia, sekä riippuen Li-ioni-akusta niissä voidaan käyttää myös mangaanioksidia, alumiinia, nikkeliä, polymeeria, kobolttioksidia, titanaattia tai rautafosfaattia (Motiva 2019).

Tässä työssä käytetty sähköpotkulaudan Li-ioni-akku painaa 1,4 kilogrammaa ja sen kokonaisteho on 280 wattituntia [Wh] (Copeland et al. 2019, 4; Rosa 2017). Litiumioniakku tuottaa riippuen sen valmistuksesta noin 59-119 kg CO_2 -ekv/kWh päästöjä, ja tässä työssä käytetään tämän keskiarvoa eli 89 kg CO_2 -ekv/kWh sillä tarkkaa tietoa sähköpotkulaudan Li-ioni-akun päästöistä ei ole saatavilla (Emilsson & Dahllöf 2019, 24). Kertomalla akusta aiheutuvalla päästöjen määrä kokonaisteholla saadaan tulokseksi sähköpotkulaudan Li-ioni-akun valmistuksen aiheuttama päästöjen määrä, joka on noin 24,9 kg CO_2 -ekv.

4.1.2 Moottori

Sähköpotkulaudoissa käytetään yleensä napamoottoreita, jossa moottori sijaitsee etu- tai takapyörässä (Kicker.fi 2020). Työn tarkastelu kohteena olevassa sähköpotkulaudassa moottorin paino on 1,2 kilogrammaa ja teho on 250 wattia [W] (Copeland et al. 2019, s.4; Xiaomi 2019).

Napamoottorin idea on tuottaa sähköenergiasta mekaanista energiaa. Renkaan sisäpuolella on kiinteitä käämejä. Siirrettäessä niihin sähkövirtaa niihin syntyy sähkömagneettinen kenttä. Moottorin ulkopuolinen osa yrittää seurata sitä ja täten se alkaa kääntää rengasta,

jossa tämä napamoottori on. Napamoottorin kestopagneettiin käytetään harvinaisia maame-
talleja (Rare Earth Elements, REE) kuten lantaania, neodyymia, dysprosiumia tai terbiumia.
(Sleasman 2014, Yoney 2009.)

Sähköpotkulaudan napamoottorin päästöistä ei löytynyt tarkemmin tietoja, jonka vuoksi na-
pamoottori on jätetty hiilijalanjäljen laskennasta kokonaan pois.

4.1.3 Alumiinirunko

Sähköpotkulaudan painavin osa on alumiinirunko, jonka massa on 6 kilogrammaa (Cope-
land et al. 2019, 4). Tässä työssä oletetaan, että koko 6 kg alumiinia alumiinirunkoa varten
on tuotettu primaarialumiini valmistuksesta, eli siinä ei ole käytetty kierrätettyä alumiinia,
sillä tuotteen alumiinirungon alkuperää ei ole saatavilla.

Alumiinin tuotanto alkaa kaivostoiminnasta. Kaivostoiminnan louhintakohteena on bauk-
siitti mineraali, jossa on alumiinia noin 25-prosenttia. Saadaksean alumiinia, ensin rikaste-
taan bauksiitti alumiinioksidiksi liuottamalla jauhettu bauksiitti lipeään. Tämän jälkeen alu-
miinioksidi kiteytetään ja siirretään primaarialumiinin valmistukseen, jossa sähkövirralla ha-
jotetaan mineraalikylyvyssä alumiinioksidi alumiiniksi ja hapeksi. Tässä prosessissa muodos-
tuu hiilidioksidia, hiilimonoksidia sekä fluoridia. Bauksiitin louhinnasta primaarialumiinin
valmistukseen tarvitaan alumiinikiloa kohden noin 45 kWh energiaa. (Teknologiateollisuus
ry 2014, 26–31.)

Alumiinin hyödyt ovat kuitenkin sen helppo käytettävyys ja keveys. Alumiinia pystyy muo-
vailemaan ja muokkailemaan erilaisiin tarkoituksiin ja se ei tarvitse erillistä korroosioke-
rosta, sillä se muodostaa suojaavan oksidikerroksen reagoimalla hapen kanssa (Hydro.fi
2020). Alumiini on myös kevyttä, jolloin laite kuluttaa vähemmän akkua ja sen energiate-
hokkuus kasvaa (Teknologiateollisuus ry 2014, 43.)

Alumiinin primaarivalmistus tuottaa paljon erilaisia päästöjä ilmaan kuten hiilimonoksidia,
hiilidioksidia, pölyä, fluorideja, rikkioksideja, hiilivetyjä, typen oksideja ja polysyklisiä aro-

maattisia hiilivetyjä (PAH-yhdisteitä). Kasvihuonekaasuihin kuuluu kuitenkin vaan hiilidioksidi, joka aiheuttaa yhtä alumiinitonnia kohden 4568 kg CO_2 päästöjä ilmaan eli 4568 g CO_2 /kg. Täten kun sähköpotkulaudassa on 6 kilogrammaa alumiinia niin yhden sähköpotkulaudan rungon tuottaminen aiheuttaa 27,4 kg CO_2 -ekv päästöjä. (Teknologiateollisuus ry 2014, 64.)

4.1.4 Renkaat ja teräsosat

Loput sähköpotkulaudan osista ovat sen teräsosat sekä kaksi rengasta. Teräsosat painavat 1,4 kilogrammaa ja renkaat taas 0,83 kilogrammaa (Copeland et al. 2019, 4). Sähköpotkulaudan renkaat voivat olla kennorenkaita, kiinteitä tai ilmatäytteisiä renkaita (Tobias 2020). Renkaat koostuvat pääasiallisesti synteettisestä tai luonnonkumista, noesta ja öljystä. Seuraavaksi nämä raaka-aineet sekoitetaan yhteen ja kuumennetaan. Tämän jälkeen se muunnetaan kokoonpanolaitteissa rengasaihioiksi ja vulkanoidaan. Renkaiden tuotannosta aiheutuu enimmäkseen haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC-yhdisteet, Volatile Organic Compound), pölypäästöjä, jätettä ja hajua. (Nokian Renkaat 2020a, 2020b.)

Sähköpotkulaudan renkaiden päästöjen tiedonpuutteen vuoksi tässä työssä käytetään sähköpyörän renkaan päästöjä. Sähköpyörän renkaan raaka-aineiden ja sen valmistusvaiheesta aiheutuvat päästöt ovat 3,3 kg CO_2 -ekv/kg (Chien et al. 2016). Täten jos sähköpotkulaudan renkaat painavat 0,83 kilogrammaa niin sen renkaiden valmistus aiheuttaisi 2,7 kg CO_2 -ekv.

Terästä voidaan valmistaa raakaraudasta tai kierrätysteräksestä. Rauta valmistetaan useimmiten masuunissa, jossa raudan oksidimalmeja pelkistetään hiilellä. Hiili on ollut ehdoton pelkistysaine ja hiilidioksidipäästöjen aiheuttaja teräksen valmistuksessa. Tästä huolimatta yritys SSAB tavoittelee fossiilivapaata teräksen valmistusta vuoteen 2026 mennessä (Teknologiateollisuus ry 2020). Päästöjen määrät vaihtelevat masuunissa pelkistysaineen suuruuden mukaan. Tällä masuunimenetelmällä yhdestä terästonnista aiheutuu noin 2 tonnia CO_2 päästöjä (Bellona Europa 2019). Täten jos sähköpotkulaudan teräsosat painavat noin 1,4 kg niin siitä aiheutuvat päästöt ovat 2,8 kg CO_2 -ekv. Seuraavassa kuvassa 3 on koottu sähköpotkulaudan tärkeimpien komponenttien kasvihuonekaasupäästöt, jotka ovat tässä raaka-aineen osiossa laskettu. (Teknologiateollisuus ry 2009, 14–17.)



Kuva 3. Sähköpotkulaudan tärkeimpien osien kasvihuonekaasupäästöt (mukaillen: Pixabay 2020).

4.2 Valmistus

Valmistusprosessissa aiheutuu päästöjä tuotteen kokoonpanosysteemissä. Tuotteen osat voidaan valmistaa eri tehtailla sekä niiden kokoonpanokin voidaan toteuttaa eri paikassa. Tämä johtaa turhaan kuljetusmatkojen sekä päästöjen lisääntymiseen. Täten valmistamalla ja pakkaamalla tuote valmistusalueella ja kuljettamalla tuote meritse kuluttajalle tuottaa vähemmän päästöjä. (Greencycle.fi 2020.)

Sähköpotkulautojen suunnittelu ja raaka-aineiden hankinta voidaan toteuttaa ympäri maailmaa, mutta useimmiten valmistus ja kokoonpano keskittyy Kiinaan (Motorino 2020). Tässä työssä käytetty sähköpotkulauta Mi Electric Scooter on kiinalaisen elektroniikan yrityksen, Xiaomin, tuote ja se myös tuote-etiketin mukaan kootaan Kiinassa, Changzhoussa (Whitehead 2018). Raaka-aineiden kuljettaminen Kiinaan aiheuttaa päästöjä, mutta tiedonpuutteen

vuoksi raaka-aineiden kuljetusta valmistusmaahan ei ole laskettu mukaan valmistusosion päästöihin.

Sähköpotkulaudan kokoonpanoa varten tarvitaan kokoonpanolaitteita, esimerkiksi rungon leikkaamiseen (Voromotors.com 2019). Kokoonpanolaitteet, niiden käyttämiseen tarvittava energia sekä muut kulutustavarat kuten öljy ja vesi aiheuttavat päästöjä sähköpotkulaudan kokoonpanovaiheessa (Roca 2019, 8). Kaikki nämä vaiheet vaikuttavat sähköpotkulaudan valmistuksesta aiheutuviin kokonaispäästöihin, joka on yhdelle sähköpotkulaudalle noin 4,5 g CO_2 -ekv/km (Roca 2019, 23).

4.3 Kuljetus

Xiaomin M364 sähköpotkulaudan valmistuskaupunki on tuote-etiketin mukaan Changzhou ja tässä työssä oletetaan tuotteen tulevan Suomeen Shanghain kautta, sillä varmaa tietoa kuljetusreitistä ei löytynyt (Whitehead 2018). Suomeen tuleva ulkokauppa tulee suurimmaksi osaksi rahtiliikenteellä, joten tässä työssä oletetaan Xiaomin sähköpotkulaudankin tulevan meritse Shanghaista Helsinkiin (Meriliitto.fi 2020).

Sähköpotkulaudan ja sen pakkauksenpaino ovat yhteensä noin 18 kilogrammaa (Verkkokauppa.com 2020). Valmistuskaupungista Shanghain on noin 200 kilometriä, ja työssä oletetaan, että sähköpotkulautoja kuljetetaan kuorma-autolla, jonka kantavuus on noin 3,5 tonnia ja aiheuttaa päästöjä 314 g CO_2 -ekv/km (Teknologian tutkimuskeskus 2017c). Täten yhden sähköpotkulaudan pakkauksen painaessaan 18 kg, kuorma-autoon mahtuu painoltaan noin 194 sähköpotkulautaa ja kooltaan oletetaan mahtuvan noin 170. Kertomalla kuorma-auton päästöt Changhouston Shanghain ajatulla kilometrimäärällä ja lopuksi jakamalla tämä arvo sähköpotkulautojen määrällä saadaan, että sähköpotkulautojen kuljettaminen Changhouston Shanghain aiheuttaa yhdelle potkulaudalle päästöjä noin 369,4 g CO_2 -ekv.

Shanghaista Helsinkiin lyhin matka meritse on Suezin kanavan kautta, jolloin matkan pituudeksi tulee noin 21 500 kilometriä (Sea-distances.org 2020). Kiinasta Suomeen tulevan

konttialuksen kapasiteetiksi oletetaan olevan noin 7500 TEU. TEU on konttiliikenteen mitayksikkö, joka on 20 jalan eli noin 6 metrin kontin peruskoko (Logistiikan Maailma 2020). Konttialus, jonka konttikapasiteetti on noin 7500 TEU, tuottaa päästöjä per kontti 16,1 g CO_2 /TEUkm (Brebbia & Longhurst 2010, 219). Näin ollen rahtilaivan kontin päästöt Kiinasta Suomeen ovat 346,8 kg CO_2 /TEU. Yhdessä lastatussa kontissa (TEU) on noin 9 000 kg lastia, huomioiden että kontti ei ole lastattu täyteen (Teknologian tutkimuskeskus 2017b). Täten jos yhden sähköpotkulaudan pakkauksen paino on noin 18 kg ja yhden kontin päästöt ovat 346,8 kg CO_2 /TEU saadaan, että tämä kuljetus Shanghaista Helsinkiin tuottaa päästöjä noin 693,5 g CO_2 . Siten yhden sähköpotkulaudan kuljettaminen Changzhousta Helsinkiin aiheuttaa yhteensä kuorma-auton kuljetuksen kanssa 1,1 kg CO_2 -ekv. Liitteestä 2 löytyy tarkempia tietoja kuljetuksen laskennasta.

4.4 Käyttö

Kun sähköpotkulaudat ovat valmiita ja kuljetettu käyttömaahan, alkaa varsinainen sähköpotkulaudan käyttöaika. Tässä vaiheessa on hyvä huomioida, että varsinainen ero omistuskäytössä tai yhteiskäytössä olevien sähköpotkulautojen alkaa tästä elinkaarivaiheesta. Tiedonpuutteen vuoksi tässä työssä ei voitu käyttää yhteiskäytössä olevien sähköpotkulautojen tarkkoja tietoja, kuten kuinka paljon keskimäärin niillä ajetaan päivässä tai mihin laitteet vietään lataukseen. Näin ollen puuttuvista tiedoista tehdään karkeita oletuksia.

On huomioitavaa, että yhteiskäytössä ja omistuskäytössä olevilla sähköpotkulaudoilla on huomattava ero niiden eliniässä. Yhteiskäytössä olevan sähköpotkulaudan elinikä on 1-5 kuukautta kun taas omistuskäytössä oleva voi kestää jopa 3-5 vuotta (Escooterrider.com. 2020). Ero johtuu ajokilometrien määrästä sekä huollosta, sillä omistuskäytössä olevasta laitteesta pidetään useimmiten parempaa huolta, sekä sillä ajetaan vähemmän (Electric Scooter Guide 2020). Yhteiskäytössä olevien sähköpotkulautojen eliniän on myös huomattu lyhenevän kaupunkilaisten väärinkäytöksen vuoksi (Siironen & Salminen 2019). Yksi yhteiskäyttömallia käyttävä sähköpotkulaudan yrityksen, Tierin, laitteen tämänhetkinen elinikä on kuitenkin noin 24 kuukautta, ja yritys ennustaa sen vielä nousevan tulevaisuudessa (Tier 2020b). Tässä työssä kuitenkin oletetaan yhteiskäytössä olevan sähköpotkulaudan kestävä

noin kaksi ja puoli kuukautta sen korkeasta käyttöasteesta johtuen. Tähän kuitenkin liittyy merkittävää epävarmuutta.

Sähköpotkulaudalla voidaan ajaa noin 30 kilometriä yhdellä latauksella, mutta uusimmat akut voivat kestää jopa 50 kilometriä (Varila 2019). Työssä oletetaan, että yhteiskäytössä olevilla sähköpotkulaudoilla ajetaan päivittäin laitteen maksimimäärä eli 30 kilometriä ja ne viedään joka päivä lataukseen. Todellisuudessa laitteita voidaan viedä lataukseen enemmän tai vähemmän kuin kerran päivässä ja akkua kuluttaa ajelun lisäksi myös sen valot, GPS ja näyttö (Roca 2019, 8). Seuraavaksi tarkastellaan tarkemmin sähköpotkulaudan keräilystä ja latauksesta aiheutuvia päästöjä. Liitteestä 3 löytyy keräyksestä sekä latauksen tarkemmat laskentatiedot.

4.4.1 Keräys

Suomessa pääasiallisesti sähköpotkulautayritys hakee laitteensa itse. Sähköpotkulautayrityksen, Voin, työntekijät keräävät laitteet paikannusohjelman avulla ja vievät ne koko yöksi lataukseen palauttaen ne täyteen ladattuina aamulla takaisin (Åkman 2019). Tässä työssä oletetaan, että laitteet haetaan illalla kerran päivässä pakettiautolla, joka kulkee dieselillä, ja ne palautetaan seuraavan päivän aamulla täyteen ladattuina. Diesel pakettiauto, jonka paino on noin 2,7 tonnia ja kantavuus 1,2 tonnia aiheuttaa päästöjä noin 279 g/km hiilidioksidiekvivalenttia. (Teknologian tutkimuskeskus 2017a.)

Tierin sähköpotkulauta-alue on Helsingin keskustasta noin 7 km säteellä tämän yrityksen sovelluksen perusteella. Joten tässä työssä oletetaan pakettiauton ajavan noin 100 km yhteensä sähköpotkulautojen keräystä ja jakelua varten päivässä. Tarkempaa tietoa kerättyjen sähköpotkulautojen määrästä ei kuitenkaan ollut saatavilla. Kerättyjen sähköpotkulautojen määrä on laskettu jakamalla pakettiauton kantavuus, 1 200 kg, sähköpotkulaudan painolla, 12.2 kg, ja näin saadaan tulokseksi sähköpotkulautojen kappalemäärä, joka mahtuu kyseiseen pakettiautoon. Pakettiautoon mahtuu painoltaan noin 98 sähköpotkulautaa, mutta kooltaan oletetaan mahtuvan 70 sähköpotkulautaa.

Jakamalla ajettu kilometrimäärä kerätyillä sähköpotkulaudoilla saadaan yhden sähköpotkulaudan lataustakertaa varten ajettu kilometrimäärä, joka on noin 1,4 km. Täten, jos diesel auton päästökerroin on 279 g CO_2 -ekv/km ja yhtä sähköpotkulautaa varten ajetaan noin 1,4 km niin kertomalla nämä yhteen saadaan kuljetuksesta aiheutuvat päästöt. Se on noin 390,6 g CO_2 -ekv yhdelle sähköpotkulaudalle per keräys. Tässä on kuitenkin hyvä huomioida, että sähköpotkulaudan käyttöikä vaikuttaa keräyskertojen määriin. Näin ollen, jos sähköpotkulaudan eliniän oletetaan olevan noin 75 päivää, niin koko elinkaaren aikaisista keräyksistä aiheutuu päästöjä noin 29,3 kg CO_2 -ekv.

4.4.2 Lataus

Sähköpotkulautaa ladataan sähkövirralla. Sähkön tuottamiseen voidaan käyttää erilaisia energialähteitä, esimerkiksi ydinvoimaa, vesivoimaa, tuulivoimaa, hiiltä tai maakaasua (Energiateollisuus 2020, 1). Uusiutuva energia kuten vesi-, tuuli- ja aurinkovoima tuottavat merkittävästi vähemmän päästöjä tai ei päästöjä lainkaan verrattuna fossiilisiin energialähteisiin kuten hiileen tai maakaasuun. Uusiutuvilla energialähteillä voi siitä huolimatta olla negatiivisia vaikutuksia ympäristöönsä esimerkiksi vesivoimalan vuoksi kaloilta voidaan estää pääsy lisääntymisalueellensa. (Sähkövertailu.fi 2020.)

Sähköpotkulaudan täyslataukseen tarvitaan 0,335 kWh tehoa ja siinä kestää noin 5 tuntia (Xiaomi 2019). Lataus tapahtuu sähkövirrankautta ja Suomen keskimääräinen ostosähkön päästökerroin on 141 g CO_2 /kWh (Motiva 2020). Täten yhden sähköpotkulaudan latauksesta aiheutuvat päästöt ovat 47,2 g CO_2 . Jakamalla latauksesta aiheutuvat päästöt kilometrimäärällä, jota lataus mahdollistaa eli 30 kilometriä niin saadaan sähköpotkulaudan latauksesta aiheutuvat päästöt per kilometri eli 1,6 g CO_2 /km.

Keräys ja lataus systeemi ei ole ainoa vaihtoehto sähköpotkulaudoille. Lime-yritys on antanut esimerkiksi asiakkailleen mahdollisuuden ansaita rahaa sähköpotkulautojen latauksella. Asiakas voi hakea Lime-sähköpotkulaudat sovelluksen paikannusohjelman avulla, joiden akku on kriittisen alhainen. Tämän jälkeen asiakas lataa nämä laitteet itse ja vie nämä ”Drop-Off” paikkoihin. Vietyään laite nimettyyn paikkaan, asiakas saa siitä rahallista palkkiota, jonka määrä vaihtelee edellisen latauksen ajankohdasta. (Lime 2020, Hawkins 2019.)

Ruotsalainen sähköpotkulauteritys Voi sekä saksalainen yritys Tier ovat molemmat kehittäneet sähköpotkulaudat, jossa käytetään vaihdettavia akkuja. Vaihdettavilla akuilla ei tarvitse viedä laitteita latauspaikkoihin, vain voidaan vaihtaa nopeasti akku paikan päällä, jolloin säästetään sekä aikaa että ympäristöä. (Voi 2020, Lewin 2019.)

4.5 Loppukäsittely

Tässä osiossa tarkastellaan sähköpotkulaudan elinkaaren viimeistä osaa eli loppukäsittelyä. Kattavaa tietoa koko sähköpotkulaudan kierrätyksestä puuttuu, sillä ne ovat vieläkin varsin uusi ilmiö. Täten tässä osiossa ei ole laskettu erikseen kierrätyksestä aiheutuvia päästöjä, vaan yleisesti selitetään sähköpotkulaudan tärkeimpien osien kierrätysprosesseista. Tiedonpuutteen vuoksi työssä on suljettu pois huollot, kuten renkaiden vaihdot.

Sähköpotkulaudan eliniän loputtuaan laite otetaan pois käytöstä sekä sen osat kierrätetään. Seuraavaksi tarkastellaan sähköpotkulaudan osien kierrätystä. Tarkastelukohteena on Li-ioni-akku, alumiinirunko, teräsosat ja moottori.

4.5.1 Li-ioni-akun kierrätys

Li-ioni-akun kierrätys koostuu kolmesta tärkeimmästä osasta, jotka ovat esikäsittely, metallin erotus ja tuotteen valmistus. Kierrätyksessä käytetään tällä hetkellä joko molempia pyrometallurgia ja hydrometallurgia menetelmiä tai vaan jälkimmäistä. Pyrometallurgiatekniikalla, jossa käytetään korkeita lämpötiloja, otetaan jalometalleja talteen elektronisesta jätteestä (e-jäte) sekä sen avulla on myös mahdollistaa kierrättää perusmetalleja. Sen lisäksi hydrometallurgiamenetelmällä, joka sisältää liuotusprosesseja, voidaan ottaa metalleja talteen e-jätteestä. Tämä on energiatehokkaampi kuin pyrometallurgia menetelmä. (Kulomäki 2016, 39–42.)

Ensiksi Li-ioni-akut tehdään turvalliseksi mekaanista käsittelyä varten. Tämän jälkeen muovi, alumiini ja kupari eritellään sekä kierrätetään omalla kierrätysprosessitekniikalla.

Akusta jää jäljelle kemialliset ja mineraaliosat eli niin sanottu “musta massa”, joka käsitellään teollisuuden mittakaavassa. Jäljelle jäävä musta massa koostuu tarkemmin litiumista, koboltista, mangaanista ja nikkelin seoksesta. Nikkeli ja koboltti ovat arvokkaimpia, mutta vaikeimpia aineita ottaa talteen. Tämänhetkisessä akun kierrätyssesteemissä suurin osa näistä arvokkaista mineraaleista menee hukkaan. (Fortum 2020.)

Fortum-yritys on aikeissaan ottaa käyttöön uuden menetelmän akun kierrätyksessä. Menetelmä on hydrometallurgista kierrätysprosessia, jossa käytetään kemiallista saostusmenetelmää. Tämä mahdollistaa muuten hukkaan meneviä arvokkaiden mineraalien talteenoton sekä uudelleenkäytön paristoissa. Fortumin mukaan tällä menetelmällä 80-prosenttia akusta saataisiin kierrätettyä, joka olisi huomattava nousu tämänhetkiseen 50-kierrätysprosenttiin. (Fortum 2020, Gupta 2019.)

4.5.2 Alumiinirungon, teräsosien ja moottorin kierrätys

Alumiini on kokonaan kierrätettävissä, sekä sen laatu ei kärsi siitä (Teknologiateollisuus ry 2014, 33). Kierrätettynä sitä voidaan käyttää esimerkiksi lentokoneiden rungossa, tölkeissä tai sähköjohdoissa. Alumiinin valmistus uudesta bauksiitti malmista vaatii paljon energiaa, kun taas alumiinin kierrättämiseen tarvitaan vain 5-prosenttia siitä energiasta. (Stenarecycling.fi 2020.)

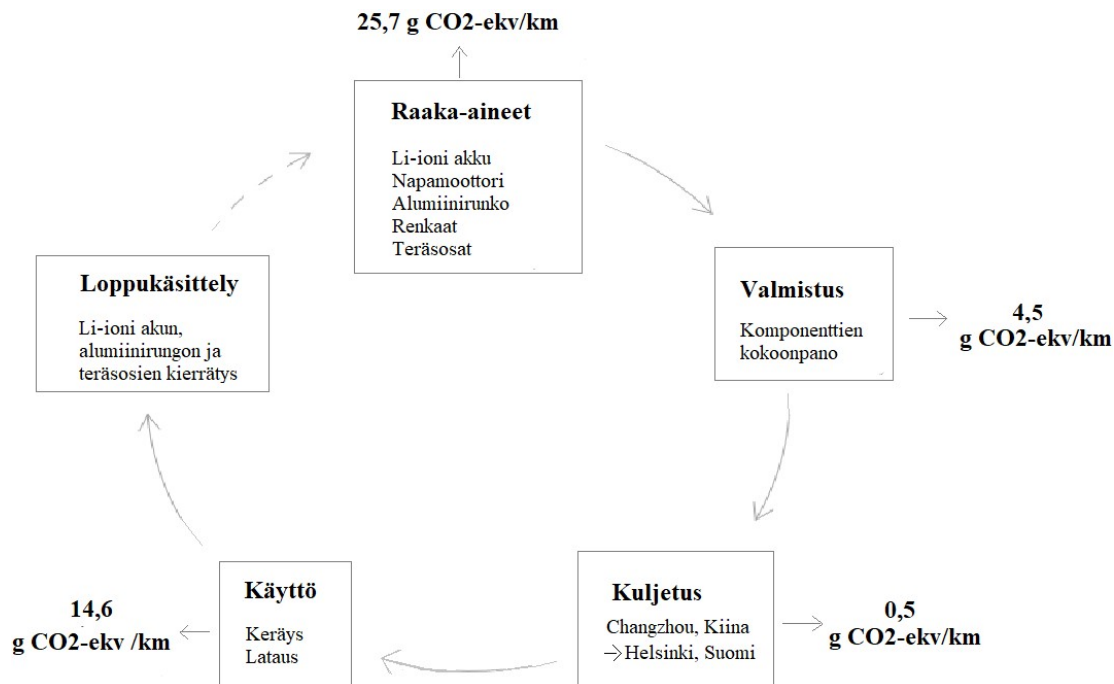
Alumiinin lisäksi terästä voidaan kierrättää laadun kärsimättä. Teräs on materiaali, jota kierrätetään eniten maailmassa. Euroopassa noin 55-prosenttia teräksen tuotannosta valmistetaan kierrätysteräksestä. Suomessa terästeollisuudessa käytetään jopa 2 miljoonaa tonnia kierrätysterästä vuodessa. (Teräsrakenneyhdistys 2020; Teknologiateollisuus ry 2009, 18.)

Moottori sen sijaan voidaan kierrättää viemällä se paikalliseen jätekeskukseen ja siitä voidaan käyttää uusien metallituotteiden raaka-aineena (Kiertokaari 2020).

4.6 Kokonaispäästöt elinkaaren ajalta

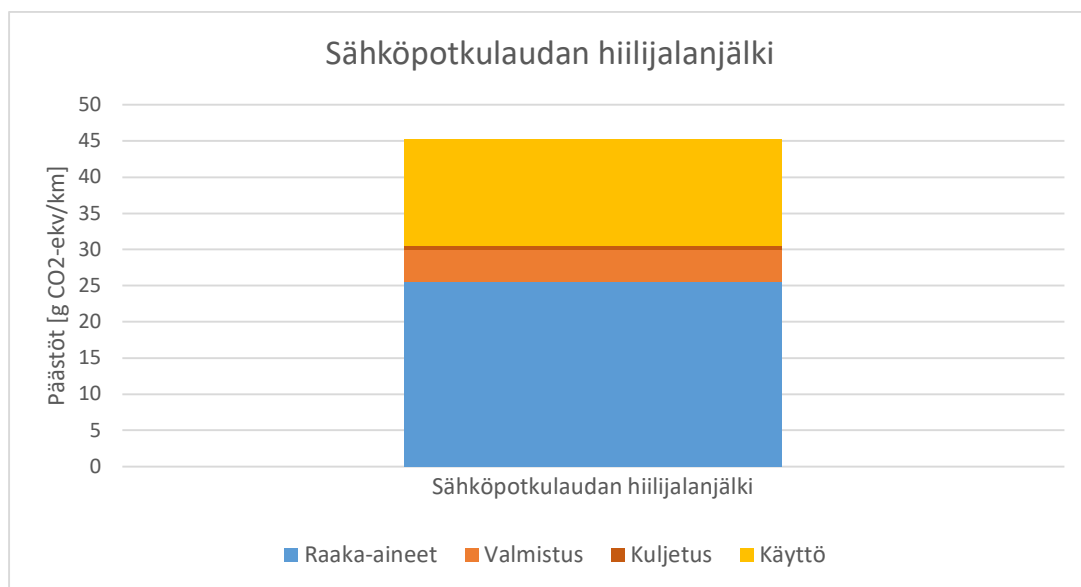
Seuraavaksi tarkastellaan sähköpotkulaudan elinkaarivaiheista aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä kokonaisuudessaan eli sen hiilijalanjälkeä. Liikkumisvälineen hiilijalanjälkeä tarkastellessaan tai sitä verrattaessa muihin liikkumisvälineisiin, päästöt ilmaistaan hiilidioksidiekvivalenttipäästöt per kilometrinä (CO_2 -ekv/km). Tämä saadaan jakamalla elinkaarivaiheen kasvihuonekaasupäästöt kokonaisajokilometrimäärällä. Tässä työssä valmistuksesta sekä latauksesta aiheutuvat päästöt ovat jo hiilidioksidiekvivalenteina per kilometriä muodossa. Tällöin seuraavaksi lasketaan sähköpotkulaudan kokonaisajokilometrimäärä ja jaetaan elinkaarivaiheiden päästöt tällä arvolla.

Tässä työssä oletetaan yhteiskäytössä olevan sähköpotkulaudan kestävän keskimäärin 2,5 kuukautta eli noin 75 päivää sekä sillä ajetaan päivässä tämän maksimi määrä eli 30 kilometriä per päivä huomioiden, että yhteiskäytössä olevien sähköpotkulaudoilla ajetaan enemmän sekä niistä ei pidetä niin hyvää huolta kuin omistuskäytössä olevia sähköpotkulautoja. Täten sähköpotkulaudan eliniän aikana ajetaan noin 2250 kilometriä. Näin ollen jakamalla elinkaarivaiheen päästöt tällä elinaikaisilla ajokilometreillä saadaan, että raaka-aineista aiheutuu päästöjä 25,7 g CO_2 -ekv/km, kuljetuksesta 0,5 g CO_2 -ekv/km ja keräyksestä 13,1 g CO_2 -ekv/km. Valmistuksen ja latauksen päästöt olivat jo laskettuna halutussa muodossa eli valmistuksesta aiheutui päästöjä 4,5 g CO_2 -ekv/km ja latauksesta 1,6 g CO_2 -ekv/km. Seuraavassa kuvassa 4 on yhteenveto sähköpotkulaudan elinkaaresta sekä tämän eri vaiheiden aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä ajettua kilometriä kohden. Loppukäsittelystä ei ollut tietoa saatavilla, jonka vuoksi tämän päästöt ovat jätetty pois sähköpotkulaudan hiilijalanjäljestä.



Kuva 4. Sähköpotkulaudan elinkaaren vaiheet selitettynä sekä niistä aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt.

Näin ollen laskemalla koko elinkaaren aikaiset päästöt yhteen saadaan, että sähköpotkulaudan hiilijalanjälki on 45,2 g CO₂-ekv/km. Seuraavassa kuvassa 5 on pylväskaavio, josta näkee eri elinkaarivaiheiden päästöjen osuudet sähköpotkulaudan hiilijalanjäljessä.



Kuva 5. Sähköpotkulaudan hiilijalanjälki ja sen elinkaarivaiheiden päästöjen osuudet.

Kuvasta huomataan, että elinkaarivaiheista raaka-aineet sekä käyttö ovat merkittävimmät osat sähköpotkulaudan hiilijalanjäljestä. Niiden osuus on 89-prosenttia koko hiilijalanjäljestä. Raaka-aineista eniten tuottaa päästöjä alumiinirunko ja Li-ioni-akku. Käytön aikaisista päästöistä suurimmaksi osaksi, noin 89-prosenttia, johtuu sähköpotkulautojen keräyksestä latausta varten ei niinkään niiden latauksesta. Tulokseen vaikuttaa kuitenkin merkittävästi se kuinka paljon sähköpotkulaudan elinkaarenaikana ajetaan. Näin ollen hiilijalanjälki voisi olla huomattavasti pienempi, jos käyttömäärä olisi korkeampi.

5 SÄHKÖPOTKULAUDAN HIILIJALANJÄLKI VERRATTUNA MUIHIN LIIKKUMISVÄLINEISIIN

Tässä osiossa verrataan työssä lasketun sähköpotkulaudan hiilijalanjälkeä muihin liikkumisvälineisiin. Vertailussa käytetään sähköauton, keskimääräisen henkilöauton, junan, raitiovaunun, metron sekä pyörän CitiCap-hankkeessa laskettuja hiilijalanjäljen arvoja. Tarkoituksena on tarkastella edellä mainittujen kulkuneuvojen ja sähköpotkulaudan hiilijalanjälkeä sekä arvioida niiden välisiä eroavaisuuksia. Seuraavaksi esitellään vertailussa käytettyjen liikkumisvälineiden hiilijalanjäljet.

5.1 Vertailussa käytetyt liikkumisvälineet sekä hiilijalanjäljet

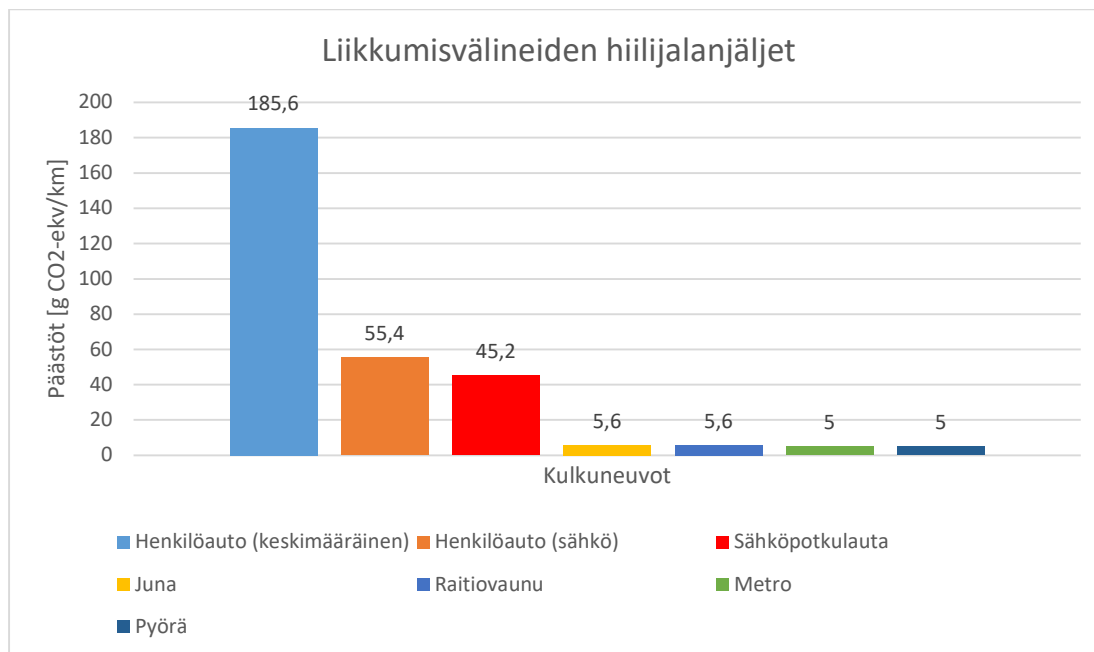
Tässä työssä käytetään vertailuun keskimääräisen henkilöauton, sähköauton, junan, raitiovaunun, metron ja pyörän hiilijalanjälkeä. Vertailussa käytettyjen liikkumisvälineiden päästökertoimet ovat esitettynä liikuttua kilometriä kohden. Nämä ovat esitetty seuraavassa taulukossa 1. Seuraavaksi vertaillaan liikkumisvälineiden hiilijalanjälkiä sähköpotkulaudan hiilijalanjälkeen, joka on tässä työssä laskettuna 45,2 g CO₂-ekv/km.

Taulukko 1. CitiCap hankkeessa laskettuja hiilijalanjäljen arvoja eri ajoneuvoille.

	Päästöt [g CO₂-ekv/km]
Henkilöauto (keskimääräinen)	185,6
Sähköauto	55,4
Juna	5,6
Raitiovaunu	5,6
Metro	5
Pyörä	5

5.2 Vertailun tulokset

Seuraavassa kuvassa 6 on tässä työssä lasketun sähköpotkulaudan sekä vertailussa käytettyjen kulkuneuvojen hiilijalanjäljet.



Kuva 6. Vertailussa käytettyjen liikkumisvälineiden kasvihuonekaasupäästöt liikuttua kilometriä kohden.

Kuvaajasta huomataan, että yhteiskäyttöön tarkoitettun sähköpotkulaudan päästöt ovat pienemmät kuin omistuskäytössä olevan henkilöauton, mutta suuremmat kuin julkisen liikenteen tai pyörän päästöt liikuttua kilometriä kohden.

Kuvaajasta nähdään, että yhteiskäyttöön tarkoitettun sähköpotkulaudan päästöt ovat pienemmät kuin sekä keskimääräisen että sähköisen henkilöauton päästöt liikuttua kilometriä kohden. Nämä henkilöautot ovat kuitenkin yksityiskäytössä, kun taas sähköpotkulauta on tarkoitettu yhteiskäyttöön. Verratessaan sähköpotkulaudan hiilijalanjälkeä julkiseen liikenteeseen kuten junaan, raitiovaunuun ja metroon, niin huomataan sähköpotkulaudan hiilijalanjäljen olevan merkittävästi suurempi, vaikka nekin ovat tarkoitettu yhteiskäyttöön.

Keskimääräisen henkilöauton hiilijalanjälki on huomattavasti suurempi kuin minkään muun vertailukohteen, sillä tämä kulkee fossiilisilla polttoaineilla kuten dieselillä tai bensiinillä. Henkilöauton kasvihuonekaasupäästöt ovat noin neljäkertaa suuremmat kuin sähköpotkulaudan.

Sähköauton kasvihuonekaasupäästöt ovat liikuttua kilometriä kohden suuremmat kuin sähköpotkulaudan. Sähköpotkulauta on kuitenkin kooltaan huomattavasti pienempi kuin sähköauto eli siihen käytetään paljon vähemmän raaka-aineita. Myös sähköpotkulaudan Li-ioni akun teho on pieni verrattuna sähköautoihin. Näin ollen sähköpotkulaudan ja sähköauton hiilijalanjäljen ero onkin yllättävän pieni, huomioiden näiden rungon sekä akun koon ero.

Yhteiskäytössä oleviin kulkuneuvoihin verrattuna sähköpotkulauta aiheuttaa huomattavasti enemmän päästöjä kuin metro, juna, tai raitiovaunu. Kaikista vähäpäästöisimpiä ovat metro sekä pyörä. Sähköpotkulaudalla, joka on yhteiskäytössä kaupungilla, on siis paljon isommat kasvihuonekaasupäästöt per kilometriä kohden kuin pyörällä, metrolla, junalla tai raitiovaunulla.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä laskettu yhteiskäytössä olevan sähköpotkulaudan hiilijalanjälki on 45,2 g CO_2 -ekv liikuttua kilometriä kohden. Sähköpotkulaudan hiilijalanjälkeen vaikuttaa merkittävästi kuinka paljon sähköpotkulaudan elinkaarenaikana ajetaan. Sähköpotkulaudan elinikä sekä käyttömäärä vaikuttavat hiilijalanjäljen suuruuteen. Hiilijalanjälki on siis sitä pienempi, mitä korkeampi käyttöaste on. Kierrättämällä alumiinia, josta aiheutui raaka-aineista eniten päästöjä, pienentäisi päästöjä merkittävästi, sillä alumiini on täysin kierrätettävää. Sen kierrättämisellä säästettäisiin myös noin 95-prosenttia energiasta, jota muuten menisi alumiinin primäärituotantoon. Samoin kierrättämällä muita raaka-aineita pienennettäisiin sähköpotkulaudan hiilijalanjälkeään. Fortumin pyrkimys kierrättää 80-prosenttia Li-ioni-akusta vähentäisi päästöjä huomattavasti, sillä se on toiseksi suurin päästöjen lähde raaka-aineiden osiossa. Vaikka teräsosien ja renkaiden osuus raaka-aineiden osiossa on pieni verrattuna alumiinirunkoon ja akkuun, niin niidenkin kierrättäminen pienentäisi päästöjä.

Sähköpotkulautojen keräykseen liittyy paljon epävarmuutta, sillä todellisia keräystietoja ei ollut saatavilla. Työssä on oletettu, kuinka monta sähköpotkulautaa kerätään iltaisin pakettiauton tilavuuden ja kantavuuden mukaan. Tietoa siitä, kuinka monta kilometriä pakettiauton on ajettava yhtä sähköpotkulautaa kohden, ei myöskään ollut saatavilla. Erilaisten tiedonlähteiden epävarmuus kasvoi tiedon niukkuuden sekä tutkimuksien vähäisyyden vuoksi. Puuttuvista tiedoista tehtiin karkeita oletuksia, jotka vaikuttivat lopputulokseen.

Lime-yritys on antanut asiakkailleen vielä toisenlaisen vaihtoehdon lataukseen eli asiakas voi hakea itse sähköpotkulaudat paikannusohjelman avulla ja lataa ne itse saamalla rahallista palkkiota siitä. Tässä pitää kuitenkin huomioida, että jos asiakas hakee laitteet autolla tai pakettiautolla, niin päästöjä syntyy yhtä paljon tai jopa enemmänkin kuin tavallisessa keräyssysteemissä. Tavallisessa keräys systeemissä haetaan monta sähköpotkulautaa kerrallaan viedessään näitä lataukseen, mutta Lime-yrityksen systeemissä tavallisella ihmisellä ei välttämättä ole sellaista mahdollisuutta, joten sähköpotkulautoja varten ajettu kilometrimäärä nousee jyrkästi ja sitä mukaan myös päästöjen määrä. Ratkaisu nykyiseen keräys systeemiin voisi olla vaihdettavat akut, joita Voi ja Tier yritykset jo hyödyntävät. Vaihdettavat

akut voidaan nimensä mukaan vaihtaa paikan päällä eli laitteita ei tarvitsisi viedä erilliseen latauspaikkaan, jolloin säästettäisiin sekä aikaa että ympäristöä.

Pohjois-Carolinan tutkimuksen tulokset osoittivat, että suurin päästöjen aiheuttaja on laitteiden keräys ja tässä työssä se oli raaka-aineet. Ero voi johtua siitä, että kierrätysprosenttia ei otettu huomioon tiedonpuutteen vuoksi ja toisessa tutkimuksessa oli myös käytössään tarkempaa tietoa sähköpotkulautojen keräyksestä sekä ajetuista kilometrimääristä. Pohjois-Carolinan maantieteellinen sijainti sekä kaupungin sähköpotkulautojen käyttöalueen suuruus vaikuttavat niin kuljetus kuin myös keräys päästöihin.

Verratessa yhteiskäytössä olevaa sähköpotkulautaa muihin liikkumisvälineisiin voidaan todeta, että sähköpotkulaudan hiilijalanjälki on pienempi kuin keskimääräisen henkilöauton tai sähköauton, mutta suurempi kuin junan, raitiovaunun, metron tai pyörän hiilijalanjälki. Täten julkinen liikenne, jota tässä työssä on tarkasteltu sekä omistuskäytössä oleva pyörä ovat vähäpäästöisempiä kuin yhteiskäytössä oleva sähköpotkulauta. Pienemmät automatkat on hyvä korvata sähköpotkulaudalla, mikäli ei ole mahdollista käyttää julkista liikennettä tai pyörää. Sähköpotkulaudat ovat yhteiskäytössä kaupungeissa, joten korvaamalla automatkat sähköpotkulaudalla voidaan pienentää päästöjen määrää sekä vähentää ruuhkia.

Tässä tutkimuksessa käytettiin omistuskäyttöön tarkoitetun sähköpotkulaudan laitetietoja sekä tehtiin oletuksia tietojen puutteellisuuden vuoksi. Täten lisätutkimuksia tarvittaisiin yleisesti yhteiskäytössä olevista sähköpotkulaudoista ja niiden elinkaaresta, kuten raaka-aineista sekä kierrätysprosentteista, laitteiden kuljetuksesta kohdemaahan, keräilyn määrästä ja koko elinkaaren aikana ajetusta kilometrimäärästä. Yhteiskäytössä olevat sähköpotkulaudat ovat vielä varsin uusia, joten tarkkoja tietoja sen koko laitteen kierrätyksestä sekä niiden päästöistä ei ole saatavilla, jolloin lisätutkimusta laitteen kierrätyksestä olisi tarpeen. Jatko-tutkimuksia voisi toteuttaa yhteistyössä sähköpotkulautayrityksien kanssa.

7 YHTEENVETO

Suomen kasvihuonekaasupäästöistä noin viidennes syntyy liikenteestä. EU-strategioilla ja -lainsäädännöllä on tarkoitus pienentää päästöjä, kuten Suomen tulee EU-lainsäädännön mukaan vuoteen 2030 mennessä vähentää 39-prosenttia päästöistään. Suomen tieliikenteen sektorin päästöjä voidaan pienentää vähentämällä fossiilipolttoaineella kulkevia ajoneuvoja ja lisäämällä uusiutuvilla energioilla kulkevia liikkumisvälineitä. Tämän vuoksi on alettu kehittää uusia liikkumisvälineitä, joista yksi uusimmista on yhteiskäyttömallia hyödyntävä sähköpotkulauta.

Tässä työssä tarkasteltiin yhteiskäyttöön tarkoitettua sähköpotkulaudan hiilijalanjälkeä, mutta tiedonpuutteen vuoksi työssä on käytetty omistuskäyttöön tarkoitettua Xiaomi Mi Electric Scooterin laitetietoja. Hiilijalanjälki on laskettu elinkaarianalyysin avulla ottaen huomioon kaikki elinkaaren vaiheet, kuten raaka-aineet, tuotteen valmistus, kuljetus ja laitteen käyttö, lukuun ottamatta loppukäsittely. Loppukäsittely on jätetty pois sähköpotkulaudan hiilijalanjäljen laskennoista, sillä kattavaa tietoa koko sähköpotkulaudan kierrätyksestä ja sen päästöistä ei ollut saatavilla.

Työssä laskettu yhteiskäytössä olevan sähköpotkulaudan hiilijalanjälki on liikuttua kilometriä kohden 45,2 g CO_2 -ekv. Työn elinkaarianalyysin tuloksista huomataan, että merkittävimmät päästöt sähköpotkulaudan elinkaarenaikana syntyvät sen raaka-aineista sekä sen käytöstä. Niiden osuus on 89-prosenttia koko sähköpotkulaudan hiilijalanjäljestä. Raaka-aineista eniten tuottaa päästöjä alumiinirunko ja Li-ioni-akku. Raaka-aineista aiheutuu päästöjä noin 25,7 g CO_2 -ekv/km ja sähköpotkulaudan käytöstä taas noin 14,6 g CO_2 -ekv/km, joista noin 89-prosenttia johtuu vain niiden keräyksestä. Keräyksessä päästöjä aiheuttaa diesel pakettiauto, jolla sähköpotkulautoja kerätään latausta varten. Tuloksiin liittyy kuitenkin paljon epävarmuuksia, sillä työssä on tehty paljon oletuksia tiedonpuutteen vuoksi, esimerkiksi keräyssysteemistä sekä raaka-aineiden kierrätysprosentista.

Vertailun tuloksien perusteella sähköpotkulaudan hiilijalanjälki on pienempi kuin keskimääräisen henkilöauton tai sähköauton, mutta suurempi kuin junan, raitiovaunun, metron tai

pyörän hiilijalanjälki. Jotta sähköpotkulaudat vähentäisivät tieliikenteen kasvihuonekaasupäästöjä, niiden tulisi korvata auton käyttöä eikä niinkään pyöräilyä, julkista liikennettä, kuten raitiovaunua, metroa tai junaa.

LÄHTEET

Bellona Europa. 2019. Steel and emissions: How can we break the link. [verkkodokumentti]. [viitattu: 21.6.2020]. Saatavilla: <https://bellona.org/news/ccs/2019-03-is-steel-stealing-our-future#:~:text=The%20global%20iron%20and%20steel,%2Drelated%20emissions%5Bi%5D>.

Brebbia, C.A. & Longhurst, J.W.S. 2010. Air Pollution XVIII. United Kingdom: WIT Press. 445 s. ISBN: 9781845644505.

Chien, Yu-Shu. Chiu, Wei-Ming. Lin, Tse-Hung. 2016. Rubber tire life cycle assessment and the effect of reducing carbon footprint by replacing carbon black with graphene. International Journal of Green Energy, 14/2017: 1. 97-104 s.

Claudelin Anna. 2020. Hiilijalanjälki. PowerPoint -esitys. Moodle: Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT. 24 s.

CO2-raportti.fi. 2020. Ilmastonmuutos. [verkkodokumentti]. [viitattu: 10.6.2020]. Saatavilla: <https://www.co2-raportti.fi/?page=ilmastonmuutos>

Copeland, Brenna. Hollingsworth, Joseph. Johnson, Jeremiah. 2019. Are e-scooters polluters? The environmental impacts of shared dockless electric scooters. North Carolina State University, Department of Civil, Construction, and Environmental Engineering. United States of America. 10 s.

Dickey, Megan Rose. 2018. The electric scooter wars of 2018. [verkkodokumentti]. [viitattu: 30.8.2020]. Saatavilla: <https://techcrunch.com/2018/12/23/the-electric-scooter-wars-of-2018/>

Electric Scooter Guide. 2020. Electric scooter batteries: Ultimate Guide. [verkkodokumentti]. [viitattu: 22.5.2020]. Saatavilla: <https://electric-scooter.guide/guides/electric-scooter-batteries/>

Emilsson, Erik & Dahllöf, Lisbeth. 2019. Lithium-Ion Vehicle Battery Production. Sweden: IVL Swedish Environmental Research Institute. 47 s. C 444. ISBN 978-91-7883-112-8.

Energiatoteollisuus. 2020. Sähköntuotannon polttoaineet ja CO₂-päästöt. [verkkodokumentti]. [viitattu: 16.6.2020]. Saatavilla: https://energia.fi/files/1414/a_Sahkontuotannon_kk_polttoaineet_Huhtikuu.pdf

Energy.gov. 2017. How Does a Lithium-ion Battery Work. [verkkodokumentti]. [viitattu: 16.6.2020]. Saatavilla: <https://www.energy.gov/eere/articles/how-does-lithium-ion-battery-work#:~:text=The%20electrolyte%20carries%20positively%20charged,at%20the%20positive%20current%20collector.&text=The%20separator%20blocks%20the%20flow%20of%20electrons%20inside%20the%20battery>

Escooterrider.com. 2020. How Long Do Electric Scooters Last. [verkkodokumentti]. [viitattu: 20.6.2020]. Saatavilla: <https://escooterrider.com/how-long-do-electric-scooters-last/#:~:text=Rideshare%20electric%20scooters%20have%20an,likely%20much%20longer%20than%20that.>

European Commission. 2020a. Transport emissions. [verkkodokumentti]. [viitattu: 15.7.2020]. Saatavilla: https://ec.europa.eu/clima/policies/transport_en

European Commission. 2020b. Reducing CO₂ emissions from passenger cars - before 2020. [verkkodokumentti]. [viitattu: 10.6.2020]. Saatavilla: https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars_en

Fortum. 2020. Lithium-ion Battery Recycling Solution. [verkkodokumentti]. [viitattu: 20.6.2020]. Saatavilla: <https://www.fortum.com/products-and-services/fortum-battery-solutions/recycling/lithium-ion-battery-recycling-solution#:~:text=Lithium%20Dion%20Battery%20Recycling%20Solution,reuse%20in%20producing%20new%20batteries.>

GHG Protocol. 2020. Product Standard. [verkkodokumentti]. [viitattu: 31.8.2020]. Saatavilla: <https://ghgprotocol.org/product-standard>

Greencycle.fi. 2020. Sähköpyörien ympäristövaikutukset ja eettisyys. [verkkodokumentti]. [viitattu: 10.6.2020]. Saatavilla: <https://www.greencycle.fi/page/68/sahkopyorien-ymparistovaikutukset-ja-eettisyys>

Gupta, Uma. 2019. Innovation boosts lithium-ion battery recycling rate to over 80%. [verkkodokumentti]. [viitattu: 20.6.2020]. Saatavilla: <https://www.pv-magazine.com/2019/03/25/innovation-boosts-lithium-ion-battery-recycling-rate-to-over-80/>

Hawkins, Andrew J. 2019. The Verge: Electric scooter charging is a cutthroat business, and Lime wants to fix that. [verkkodokumentti]. [viitattu: 2.6.2020]. Saatavilla: <https://www.theverge.com/2019/3/15/18267128/lime-electric-scooter-charging-juicers-harvesting-business>

Hydro.fi. 2020. Faktaa alumiinista. [verkkodokumentti]. [viitattu: 12.6.2020]. Saatavilla: <https://www.hydro.com/fi-FI/alumiini/faktaa-alumiinista>

Härri, Anna. 2018. Sähköautot yleistyvät, mutta niiden akkujen tuotantoon liittyy suuria ongelmia. [verkkodokumentti]. [viitattu: 17.6.2020]. Saatavilla: <https://www.maa-ilm.net/nakokulmat/sahkoautot-yleistyvat-mutta-niiden-akkujen-tuotantoon-liittyy-suuria-ongelmia#:~:text=Litium%2Dion%2Dakkuja%20k%C3%A4ytet%C3%A4%C3%A4n%20s%C3%A4hk%C3%B6autojen,li-tiumia%20ja%2036%20kiloa%20nikkeli%C3%A4>

Ilmasto-opas. 2019. Liikenne on merkittävä kasvihuonekaasupäästöjen tuottaja. [verkkodokumentti]. [viitattu: 2.6.2020]. Saatavilla: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hilinta/-/artikkeli/cd3c06f0-ddc2-4984-840f-c35a98daf01e/liikenne-on-merkittava-kasvihuonekaasupaastojen-tuottaja.html>

Ilmasto-org.fi. 2007. Kasvihuonekaasut. [verkkodokumentti]. [viitattu: 7.6.2020]. Saatavilla: <http://ilmasto.org/ilmastonmuutos/kasvihuoneilmio-ja-ilmastonmuutos/kasvihuonekaasut.html>

IPCC. 2014. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York, United States of America: Cambridge University Press. ISBN 978-1-107-05821-7.

Kicker.fi. 2020. Miten sähköpotkulautat toimii. [verkkodokumentti]. [viitattu: 2.6.2020]. Saatavilla: <https://www.kicker.fi/category/7/miten-sahkopotkulautat-toimii>

Kiertokaari. 2020. Moottori. [verkkodokumentti]. [viitattu: 20.6.2020]. Saatavilla: <https://kiertokaari.fi/jatehaku/moottori/>

Kilpelänaho, Niko. 2019. Startupit toivat sähköpotkulaudat Suomeen - Kisassa ruotsalainen, saksalainen ja suomalainen, kuka voittaa. [verkkodokumentti]. [viitattu: 10.6.2020]. Saatavilla: <https://www.talouselama.fi/uutiset/startupit-toivat-sahkopotkulaudat-suomeen-kisassa-ruotsalainen-saksalainen-ja-suomalainen-kuka-voittaa/a02e5860-a696-414a-ad92-13a1c63dd36e>

Kokkonen, Matti. Konttinen, Juha-Pekka. Toivanen, Eetu. 2019. Sähköpotkulautojen ympäristöystävällisyys oletettua vähäisempää, liikenneturvallisuus herättää huolta. [verkkodokumentti]. [viitattu: 8.5.2020]. Saatavilla: <http://www.stat.fi/tietotrendit/artikkelit/2019/ovatko-sahkopotkulaudat-hyva-vaihtoehto-kaupunkiliikenteessa/>

Kulomäki, Suvi. 2016. Piirilevyjen koostumuksesta ja kierrätyksestä. Pro gradu -tutkielma. Jyväskylän yliopisto, Kemian laitos. Jyväskylä. 87 s.

Lewin, Amy. 2019. The week in mobility: how “green” are Tier’s scooters. [verkkodokumentti]. [viitattu: 26.7.2020]. Saatavilla: <https://sifted.eu/articles/tier-green-scooters/>

Liikennefakta. 2020. Liikenteen kasvihuonekaasupäästöt ja energiankulutus. [verkkodokumentti]. [viitattu: 15.7.2020]. Saatavilla: <https://www.liikennefakta.fi/ymparisto/paas->

[tot_ja_energiankulutus#:~:text=Kotimaan%20liikenteen%20kasvihuonekaa-sup%C3%A4%C3%A4st%C3%B6t%20muodostavat%20noin,energiatilastojen%20mu-kaan%20noin%2016%20prosenttia.](#)

Lime. 2020. Help Center. All About Charging Tasks. [verkkodokumentti]. [viitattu: 2.6.2020]. Saatavilla: <https://help.li.me/hc/en-us/articles/360015604694-All-About-Charging-Tasks>

Logistiikan Maaailma. 2020. Termejä. [verkkodokumentti]. [viitattu: 16.6.2020]. Saatavilla <http://www.logistiikanmaailma.fi/kuljetus/merikuljetus/termeja/>

Melin, Hans Eric. 2019. Analysis of the climate impact of lithium-ion batteries and how to measure it. Transport and Environment. Circular Energy Storage Research and Consulting. 17 s.

Meriliitto.fi. 2020. Suomi on saari. [verkkodokumentti]. [viitattu: 8.6.2020]. Saatavilla: http://www.meriliitto.fi/?page_id=29

Motiva. 2019. Akut. [verkkodokumentti]. [viitattu: 20.6.2020]. Saatavilla: https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_vii-saasti/ajoneuvotekniikka/akut

Motiva. 2020. CO₂-päästökertoimet. [verkkodokumentti]. [viitattu: 11.6.2020]. Saatavilla: https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/co2-laskentaohje_energiankulu-tuksen_hiilidioksidipaastojen_laskentaan/co2-paastokertoimet

Motorino. 2020. How to Select an e-Scooter. [verkkodokumentti]. [viitattu: 2.6.2020]. Saatavilla: <https://motorino.ca/support/how-to>

Nokian Renkaat. 2020a. Tuotannon ympäristövaikutukset. [verkkodokumentti]. [viitattu: 20.6.2020]. Saatavilla: <https://www.nokianrenkaat.fi/yritys/vastuullisuus/yritysvastuura-portti-2017/ymparisto/tuotannon-ymparistovaikutukset/>

Nokian Renkaat. 2020b. Renkaan tuotantoprosessi. [verkkodokumentti]. [viitattu: 20.6.2020]. Saatavilla: <https://www.nokianrenkaat.fi/innovatiivisuus/rengastietoa/renkaan-tuotantoprosessi/#bb409bd7>

Pixabay. 2020. Electric Scooter. [verkkodokumentti]. [viitattu: 12.8.2020]. Saatavilla: <https://pixabay.com/illustrations/electric-scooter-transporting-3687793/>

Roca, Adrià Bordes. 2019. Impacts of implementation of electric scooters in daily transport: case study in Gavle. Thesis. University of Gävle, Energy Systems. Gävle. 40 s.

Rosa, Felicity. 2017. The Xiaomi M365 Electric Scooter - speed, battery life & operation. [verkkodokumentti]. [viitattu: 20.6.2020]. Saatavilla: <https://www.gearbest.com/blog/new-gear/the-xiaomi-m365-electric-scooter-speed-battery-life-operation-1829#:~:text=With%20the%20280Wh%20total%20battery,even%20faster%20than%20a%20smartphone.>

Rytkönen, Anne-Pauliina. 2019. Yle selvitti: Sähköpotkulauryityksillä on Suomessa voimakas laajentamishalu – kaupungit huolissaan turvallisuudesta. [verkkoartikkeli] [viitattu: 8.5.2020]. Saatavilla: <https://yle.fi/uutiset/3-10893044>

Sea-distances.org. 2020. Port distances. [verkkodokumentti]. [viitattu: 8.6.2020]. Saatavilla: <https://sea-distances.org/>

Siironen, Susanna & Salminen, Reeta. 2019. Yle: Sähköpotkulaudat lojuvat siellä täällä – ensin huolestui some, nyt Suomen suurin valtuusto: "En halua kieltää mitään, mutta haluan yhteiset pelisäännöt". [verkkodokumentti]. [viitattu: 11.6.2020]. Saatavilla: <https://yle.fi/uutiset/3-10774356>

Sleasman, Andrew. 2014. In-Wheel Motors: The 19th Century Technology That's Thoroughly Modern. [verkkodokumentti]. [viitattu: 17.6.2020]. Saatavilla: <https://insights.globalspec.com/article/117/in-wheel-motors-the-19th-century-technology-that-s-thoroughly-modern>

Stenarecycling.fi. 2020. Raudan ja metallin kierrätys. [verkkodokumentti]. [viitattu: 17.6.2020]. Saatavilla: <https://www.stenarecycling.fi/palvelut/materiaalien-kierratys/metal-lin-kierratys/>

Sähkövertailu.fi. 2020. Vihreä sähkö on valveutuneen kuluttajan valinta. [verkkodokumentti]. [viitattu: 16.6.2020]. Saatavilla: <https://sahkovertailu.fi/vihrea-sahko>

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. 2017a. Pakettiauto, diesel. Päivitetty: 2017.[verkkodokumentti]. [viitattu:11.6.2020]. Saatavilla: <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/tavaraliikenne/tieliikenne/padieskatu.htm>

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. 2017b. Konttialuksen keskimääräiset päästöt ja energian käyttö vuonna 2016. Päivitetty: 2017. [verkkodokumentti]. [viitattu:11.6.2020]. Saatavilla: <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/tavaraliikenne/vesiliikenne/kontti.htm>

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. 2017c. Pieni jakelukuorma-auto. Päivitetty: 2017. [verkkodokumentti]. [viitattu: 26.6.2020]. Saatavilla: <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/tavaraliikenne/tieliikenne/kajakpienitie.htm>

Teknologiateollisuus ry. 2009. Oppimateriaali: Täyttä Terästä. Helsinki. 35 s.

Teknologiateollisuus ry. 2014. Alkuaine nro 13. 2:tarkistettu painos. Helsinki: Teknologiateollisuus ry. 38 s. ISBN: 951-857-697-3.

Teknologiateollisuus ry. 2020. Jätti-investointi vähentää 7 prosenttia Suomen hiilidioksidipäästöistä. [verkkodokumentti]. [viitattu: 21.6.2020]. Saatavilla: <https://teknologiateollisuus.fi/fi/ajankohtaista/artikkeli/jatti-investointi-vahentaa-7-prosenttia-suomen-hiilidioksidipaastoista>

Teräsrakenneyhdistys. 2020. Teräksen kierrättäminen. [verkkodokumentti]. [viitattu: 20.6.2020]. Saatavilla: <http://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/terasrakenneteollisuus/teras-materiaalina/kierratys/>

Tier. 2020a. Sustainability. [verkkodokumentti]. [viitattu: 8.5.2020]. Saatavilla: <https://www.tier.app/fi/sustainability/>

Tier. 2020b. The 7 myths about e-scooters. [verkkodokumentti]. [viitattu: 20.6.2020]. Saatavilla: <https://www.tier.app/the-7-myths-about-e-scooters/#:~:text=It%20is%20for%20this%20reason,to%20last%20for%20several%20years.>

Tilastokeskus. 2018. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990-2017. Helsinki: Tilastokeskus. 71 s. ISBN 978-952-244-620-6.

Tobias. 2020. Envyride: Electric Scooter Tire Guide – Pneumatic, Solid or Honeycomb. [verkkodokumentti]. [viitattu: 13.6.2020]. Saatavilla: <https://www.envyride.com/electric-scooter-tire-guide/>

Varila, Miikka. 2019. Ilta-Sanomat. Anttu, 18, kerää sähköpotkulautoja lataukseen Helsingissä – skootteja on löytynyt puista, pensaista ja jopa parvekkeelta. [verkkodokumentti]. [viitattu: 2.6.2020]. Saatavilla: <https://www.is.fi/kotimaa/art-2000006185604.html>

Verkkokauppa.com. 2020. Xiaomi Mi Electric Scooter M365 EU -sähköpotkulautaa, musta. [verkkodokumentti]. [viitattu: 8.6.2020]. Saatavilla: <https://www.verkkokauppa.com/fi/product/57468/mbnkh/Xiaomi-Mi-Electric-Scooter-M365-EU-sahkopotkulautaa-musta/lisatie-dot?list=OZCYkR5NI7DiXv9w5Asa8NL0Ww5Po6FNLoWviARQEI>

Voi. 2020. Voi vehicles. [verkkodokumentti]. [viitattu: 2.6.2020]. Saatavilla: <https://www.voiscooters.com/voi-vehicles/>

Voromotors.com. 2019. Production of EMOVE Cruiser, How to make an electric scooter. [verkkodokumentti]. [viitattu: 10.6.2020]. Saatavilla: <https://www.voromotors.com/blogs/news/how-to-make-an-electric-scooter>

Westbrook, Caroline. 2019. What is an electric scooter and where can you use one in the UK. [verkkodokumentti]. [viitattu: 10.6.2020]. Saatavilla: <https://metro.co.uk/2019/07/14/electric-scooter-can-use-one-uk-10288885/>

Whitehead, Megan. 2018. Opinion: Scooting Around Columbia. [verkkodokumentti]. [viitattu: 26.6.2020]. Saatavilla: <https://comomag.com/2018/10/30/opinion-scooting-around-columbia/>

World Resources Institute, & World Business Council for Sustainable Development. 2015. The Greenhouse Gas Protocol Revised. A Corporate Accounting and Reporting Standard. 116 s.

Xiaomi. 2019. Mi electric scooter. [verkkodokumentti]. [viitattu: 21.5.2020]. Saatavilla: <https://www.mi.com/us/mi-electric-scooter/specs>

Ympäristöosaava. 2020. Elinkaariajattelu. [verkkodokumentti]. [viitattu: 21.5.2020]. Saatavilla: <https://www.ymparistoosaava.fi/sosiaali-ja-terveysala/index.php?k=22562>

Yoney, Domenick. 2009. What are in-wheel motors. [verkkodokumentti]. [viitattu: 13.6.2020]. Saatavilla: <https://www.autoblog.com/2009/08/06/greenlings-what-are-in-wheel-motors/>

Åkman, Erika. 2019. Sähköpotkulaudat tulevat tänään kaikkien käyttöön Helsingissä – ja sen voi jättää melkein minne tahansa. [verkkodokumentti]. [viitattu: 2.6.2020]. Saatavilla: <https://www.is.fi/taloussanomat/art-2000006038969.html>

Öljy- ja biopolttoaine ry. 2018. Öljytuotteiden kokonaiskulutus väheni hieman vuonna 2017. [verkkodokumentti]. [viitattu: 18.9.2020]. Saatavilla: <https://www.stinfo.fi/tiedote/oljytuotteiden-kokonaiskulutus-vaheni-hieman-vuonna-2017?publisherId=4020&releaseId=66264114>

Raaka-aine	Koko [kg]	Teho [kWh]	Päästökerroin	Päästöt [kg CO ₂ -ekv.]
Li-ioni akku	1,4	0,28	89 kg CO ₂ -ekv/kWh	24,92
Napamoottori	1,2		Ei tietoa.	-
Alumiinirunko	6,0		4,568 kg CO ₂ /kg	27,41
Renkaat	0,83		3,27 kg CO ₂ -ekv/kg	2,71
Teräsosat	1,4		2 kg CO ₂ /kg	2,80
Yhteensä				57,84

	1. Kuljetus	2. Kuljetus	Yhteensä
Lähtöpaikka	Changzhou	Shanghai	
Määränpää	Shanghai	Helsinki	
Matka [km]	200	21500	
Kuljetusväline	Kuorma-auto	Rahtilaiva	
Kuljetusvälineen päästöt [g CO₂-ekv/km]	314 (Teknologian tutkimuskeskus 2017c)	16,128 /TEU (Brebbia & Longhurst 2010, 219)	
Kantavuus [kg]	3 500	9000 /TEU	
Kuljetuksesta aiheutuvat päästöt [kg CO₂-ekv]	62,8	346,752 /TEU	
Kuljetuksesta aiheutuvat kokonaispäästöt per sähköpotkulauta [kg CO₂-ekv]	0,36941	0,6935	1,06291

Keräyksen tiedot	
Kuljetusväline	Diesel Pakettiauto
Ajettu matka [km]	100
Kerättyjen sähköpotkulautojen määrä [kpl]	70
Yhden sähköpotkulaudan varten ajettu matka [km]	1,4
Päästökerroin [g CO ₂ -ekv/km]	279
Sähköpotkulaudan yhdestä keräyksestä aiheutuvat päästöt [g CO ₂ -ekv]	390,6
Koko elinkaaren aikaisista keräyksistä aiheutuvat päästöt [kg CO ₂ -ekv]	29, 295
Koko elinkaaren aikaisista keräyksistä aiheutuvat päästöt per kilometri [g CO ₂ -ekv/km]	13,02

Latauksen tiedot	
Tarvittava teho [kWh]	0,335
Päästökerroin [g CO ₂ /kWh]	141
Päästöt yhdestä latauksesta [g CO ₂]	47,235
Latauksen mahdollistama kilometrimäärä [km]	30
Latauksesta aiheutuvat kokonaispäästöt per kilometri [g CO ₂ /km]	1,5745