



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

SÄHKÖAUTOJEN AKKUJEN KIERTOTALOUDEN LIIKETOIMINTAMALLIT

Ilari Oksanen

TUOTANTOTALOUS

Kandidaatintyö

Huhtikuu 2022

TIIVISTELMÄ

Sähköautojen akkujen kiertotalouden liiketoimintamallit

Ilari Oksanen

Oulun yliopisto, Tuotantotalouden tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö 2022, 24 s.

Työn ohjaaja(t) yliopistolla: Jukka Majava & Pasi Rönkkö

Liikenteen sähköistyessä, sähköautoissa käytettävien litiumioniakkujen määrä on lisääntynyt. Litiumioniakkuihin liittyy kuitenkin haasteita, kuten ympäristövaikutukset ja epävarmuustekijät raaka-aineisiin liittyen. Näiden haasteiden lisäksi tulevaisuudessa huomattava määrä litiumioniakkuja poistuu sähköautokäytöstä. Kiertotalous pyrkii vastaamaan näihin litiumioniakkujen haasteisiin hyödyntämällä akkuja uudelleen alkuperäisen käyttötarkoituksen jälkeen. Työn tavoitteena on kirjallisuuskatsauksen avulla selvittää, mitkä ovat kiertotalouden vaihtoehdot käytetyille litiumioniakuille ja etenkin, miten näiden avulla voidaan tehdä liiketoimintaa. Lisäksi työssä muodostetaan kuvaus litiumioniakkujen kiertotalouden nykytilanteesta Suomessa.

Tutkimuksessa selvisi, että liiketoimintamallit litiumioniakkujen kiertotaloudelle ovat: akkujen uudelleenkäyttö sähköautoissa kunnostamisen tai uudelleenvalmistamisen kautta, akkujen uudelleenkäyttö muissa sovelluksissa kunnostamisen tai muuntamisen kautta, ja materiaalien talteenotto kierrättämisen kautta. Lisäksi työssä tunnistettiin kahdeksan suomalaista yritystä ja organisaatiota, joiden toiminnassa korostuu litiumioniakkujen kiertotalous.

Työ tarjoaa kattavan kuvauksen litiumioniakkujen kiertotalouden nykytilanteesta sekä yleisellä tasolla että Suomessa liiketoiminnan näkökulmaa painottaen.

Asiasanat: kiertotalous, liiketoimintamallit, litiumioniakut

ABSTRACT

Circular business models for electric vehicle batteries

Ilari Oksanen

University of Oulu, Degree Programme of Industrial Engineering and Management

Bachelor's thesis 2022, 24 pp.

Supervisor(s) at the university: Jukka Majava & Pasi Rönkkö

As traffic has electrified, the number of lithium-ion batteries used in electric cars has increased. However, lithium-ion batteries are subject to challenges such as environmental concerns and uncertainties regarding raw materials. In addition to these challenges, a significant number of lithium-ion batteries of electric vehicles will reach the end of first life in the future. The circular economy seeks to address these challenges of lithium-ion batteries by reusing the batteries after initial use. The aim of the work is through a literature review to find out from the business perspective what are the circular options for used lithium-ion batteries. In addition, the work provides a description of the current situation of the circular economy of lithium-ion batteries in Finland.

The study found out that business models for the circular economy of lithium-ion batteries are reuse in electric cars through refurbishing or remanufacturing, reuse in other applications through refurbishing or upgrading, and recovery of materials through recycling. In addition, eight Finnish companies and organizations were identified in the work, whose activities are closely related to the circular economy of lithium-ion batteries.

The work provides a comprehensive description of the current situation of the circular economy of lithium-ion batteries both at a general level and in Finland, with an emphasis on the business perspective.

Keywords: circular economy, circular business models, lithium-ion batteries

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1 JOHDANTO	5
2 KIRJALLISUUSKATSAUS	6
2.1 Liiketoimintamalli.....	6
2.2 Kiertotalous	7
2.2.1 Kiertotalous käsitteenä.....	7
2.2.2 Kiertotalouden liiketoimintamallien ominaispiirteet.....	8
2.3 Akkujen kiertotalouden liiketoimintamallit	9
2.3.1 Uudelleenkäyttö sähköautoissa.....	10
2.3.2 Uudelleenkäyttö eri sovelluksissa.....	11
2.3.3 Materiaalien kierrätys	12
2.4 Akkujen kiertotalouden haasteet.....	13
3 AKKUJEN KIERTOTALOUS SUOMESSA	14
3.1 Akkurate.....	14
3.2 Cactos.....	15
3.3 Suomen Autokierrätys.....	16
3.4 Muut toimijat.....	17
4 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET	18
LÄHDELUETTELO.....	20

1 JOHDANTO

Sähköautojen määrä on viime vuosina lisääntynyt merkittävästi, kun pyrkimyksenä on ollut vähentää fossiilisista polttoaineista aiheutuvia päästöjä (Kotak ym. 2021). Autoalan Tiedotuskeskuksen mukaan vuonna 2021 Suomessa oli 22 892 rekisteröityä täyssähköautoa, joista uusien eli ensirekisteröityjen osuus oli 10 152 kappaletta. Vastaavasti vuonna 2015 rekisteröityjä täyssähköautoja oli 614, joista ensirekisteröityjen osuus oli 243 kappaletta. (AUT 2022)

Sähköautojen määrän lisääntyessä myös sähköautoissa käytettävien litiumioniakkujen määrä on kasvanut. Litiumioniakkuja käytetään sähköautoissa mm. niiden korkean energiatihedyn sekä pitkän käyttöiän takia. Litiumioniakkuihin liittyy kuitenkin haasteita, kuten litiumioniakun luokittelu vaaralliseksi jätteeksi sekä epävarmuustekijät, jotka liittyvät tuotannossa käytettävien raaka-aineiden saatavuuteen. (Chen ym. 2019) Tähän liittyen, työn tavoitteena on tarkastella, mitä litiumioniakuille tapahtuu, kun ne poistuvat sähköautokäytöstä ja millaisia liiketoimintamalleja akkujen ympärille on mahdollista rakentaa kiertotalouden näkökulmasta. Tavoitteiden perusteella työlle on asetettu seuraavat tutkimuskysymykset:

1. Mitkä ovat kiertotalouden liiketoimintamallit litiumioniakkuihin liittyen?
2. Miten näitä liiketoimintamalleja hyödynnetään Suomessa?

Työn ensimmäinen osuus suoritetaan kirjallisuuskatsauksena (luku 2), jonka tarkoituksena on syventää tietämystä aiheesta ja täten luoda laaja teoriapohja tutkimukselle. Kirjallisuuskatsauksessa edetään liiketoimintamallin käsitteen ja kiertotalouden ominaispiirteiden tarkastelun kautta sähköautojen akkujen kiertotalouden liiketoimintamallien käsittelyyn. Tutkimuksen toisessa, käytännön osassa (luku 3) keskitytään keräämään tietoa suomalaisista yrityksistä ja organisaatioista ja täten muodostamaan kattava kuvaus Suomessa toimivista litiumioniakkujen kiertotalouteen liittyvistä toimijoista. Luvussa 4 esitetään tulosten pohdinta ja johtopäätökset.

2 KIRJALLISUUSKATSAUS

Tässä luvussa suoritetaan työn kirjallisuuskatsaus. Kirjallisuuskatsaus etenee liiketoimintamalli-käsitteen määritelmästä kiertotalouden liiketoimintamallien ominaispiirteisiin. Käsitteiden esittelyn jälkeen kirjallisuuskatsauksen pääpaino on sähköautojen akkujen kiertotalouden liiketoimintamalleissa.

2.1 Liiketoimintamalli

Yleisellä tasolla liiketoimintamallin nähdään olevan kuvaus organisaatiosta ja siitä, miten organisaatio toimii tavoitteidensa, kuten kannattavuuden, kasvun ja sosiaalisen vaikutuksen saavuttamiseksi (Massa ym. 2017). Massan ym. (2017) mukaan liiketoimintamalleihin keskittyvä tutkimus on kasvanut merkittävästi 2000-luvulla, mikä on osaltaan vaikuttanut siihen, että liiketoimintamallille esiintyy kirjallisuudessa useita erilaisia määritelmiä, jotka sisältävät keskenään sekä yhteneväisyyksiä että poikkeavuuksia. Esimerkiksi Zott ym. (2011), Osterwalder ja Pigneur (2010), Teece (2010) sekä Boons ja Lüdeke-Freund (2013) ovat käsitelleet tutkimuksissaan liiketoimintamallin määritelmää.

Zottin ym. (2011) mukaan liiketoimintamallin käsitteellisistä eroista huolimatta liiketoimintamalli-käsitteen taustalta voidaan nostaa esiin teemoja, jotka toistuvat akateemisessa tutkimuksessa. Näitä teemoja ovat: liiketoimintamallissa korostuu sekä yksittäisen yrityksen että sen kumppaneiden toiminta; liiketoimintamalli pyrkii kokonaisvaltaisesti selittämään, miten yritykset tekevät liiketoimintaa; liiketoimintamalli korostaa arvonluontia ja arvon haltuunottoa.

Osterwalder ja Pigneur (2010, s. 14–15) toteavat vastaavasti, että keskustellessa liiketoimintamalleista, tulee aluksi löytää yhteinen ymmärrys siitä, mitä liiketoimintamallilla käytännössä tarkoitetaan. Heidän mukaansa liiketoimintamalli määrittelee perusteet sille, miten organisaatio luo, toimittaa ja kerää arvoa.

Teeceen (2010) mukaan kaikki yritykset hyödyntävät toiminnassaan tiettyä liiketoimintamallia joko suoraan tai epäsuorasti. Liiketoimintamalli kiteyttää asiakastarpeet ja selittää, miten yritys tuottaa arvoa asiakkaille ja miten se houkuttelee

asiakkaita maksamaan tästä arvosta. Liiketoimintamalli myös selittää, miten yritys muuttaa maksut voitoiksi arvoketjun oikeaoppisen hallinnan kautta.

Boons ja Lüdeke-Freund (2013) puolestaan esittävät, että yleinen liiketoimintamallin konsepti voidaan esittää neljän pääelementin avulla: arvolupaus, toimitusketju, asiakasrajapinta ja taloudellinen malli. Heidän mukaansa arvolupaus kiteyttää yrityksen tarjoamaan tuotteeseen tai palveluun liittyvän arvon. Toimitusketjulla ja asiakasrajapinnalla viitataan siihen, miten yritys on rakentanut suhteita ja kuinka se hallitsee niitä. Taloudellisen mallin avulla yritys puolestaan tarkastelee edellä mainittujen elementtien kustannuksia ja hyötyjä sekä niiden jakautumista liiketoimintamallin sidosryhmille.

Liiketoimintamallin määritelmien poikkeavuuksista huolimatta, määritelmässä toistuu siis arvolupaus eli mitä yritys tarjoaa, arvonluonti eli miten se luo ja toimittaa tätä arvoa sekä voiton tavoittelu eli miten edellä mainittujen tekijöiden avulla ansaitaan liikevaihtoa ja voittoa. Liiketoimintamalli pyrkiikin selittämään kokonaisvaltaisesti, mutta yksinkertaistaen, miten yritykset toimivat.

2.2 Kiertotalous

2.2.1 Kiertotalous käsitteenä

Kirchherr ym. (2017) määrittelevät kiertotalouden talousjärjestelmänä, joka materiaalien vähentämisellä, uudelleenkäytöllä, kierrätyksellä ja haltuunotolla pyrkii korvaamaan ajattelu- ja toimintamallin, jossa tuotteilla nähdään olevan viimeinen käyttöpäivämäärä (*engl. end-of-life*). Sen nähdään myös pyrkivän eroon lineaarisesta kulutusmallista, jossa raaka-aineista tuotetaan jatkuvasti uusia tuotteita, ja jotka käytön jälkeen tulevat hävitetyiksi (*engl. take-make-dispose*). Kiertotalous perustuu ajatukselle, jossa pyritään maksimoimaan materiaaleista saatavaa arvoa pitämällä ne kierrossa mahdollisimman pitkään, samalla minimoiden jätteen määrää. Materiaaleista saatavan arvon maksimointiin se pyrkii materiaalien, tuotteiden, järjestelmien ja liiketoimintamallien suunnittelun kautta. (Ellen MacArthur Foundation 2013, s. 8–9) Liiketoiminnan näkökulmasta Sitra (2022, s. 15) näkee kiertotalouden mahdollisuutena sopeutua muuttuvaan toimintaympäristöön ja tehdä liiketoimintaa ympäristön kantokyvyn rajoissa.

Kiertotalouden kasvaneesta suosiosta huolimatta, Kirchherr ym. (2017) esittävät, että kiertotalouteen liittyy myös kritiikkiä, sillä sen nähdään merkitsevän eri asioita eri ihmisille, jolloin myös yleisesti hyväksytyyn määritelmän muodostaminen koetaan haastavaksi. Korhonen ym. (2018) nostavat haasteena esiin myös tutkimuksen järjestäytymättömyyden, sillä heidän mukaansa kiertotalouden voidaan nähdä yhdistelevän irrallisia ideoita useilta eri aloilta.

2.2.2 Kiertotalouden liiketoimintamallien ominaispiirteet

Puhuttaessa kiertotalouden liiketoimintamalleista Bocken ym. (2016) nostavat esiin resurssikierron käsitteen (*engl. resource loop*). Kierrot kuvaavat strategioita, joilla yritykset pyrkivät ottamaan kiertotalouden periaatteet osaksi liiketoimintaansa. Ne jakautuvat kolmeen eri luokkaan valitusta strategiasta riippuen: hidastaminen, sulkeminen ja kaventaminen. (Bocken ym. 2016) Geissdoerfer ym. (2018) täydentävät kiertoajattelua lisäämällä tarkasteluun kiertojen tehostamisen ja dematerialisoinnin. Resurssikiertojen tarkastelussa on syytä huomata, että ne eivät ole toisiaan poissulkevia strategioita, vaan niiden voidaan nähdä täydentävän toisiaan. (Bocken ja Ritala 2021)

Kierron kaventamisella viitataan parempaan tuotesuunnitteluun ja tuotantoprosessien tehostamiseen, joiden avulla pyritään hyödyntämään resursseja tehokkaammin. Esimerkiksi paremmalla tuotesuunnittelulla voidaan vähentää tuotteessa käytettävän pakkausmateriaalin määrää ja tuotantoprosessin tehostamisella tuotteen tuotanto kuluttaa mahdollisesti vähemmän energiaa ja raaka-aineita. (Bocken ja Ritala 2021) Toisaalta Bocken ym. (2016) näkevät, että kyseinen strategia ei ole ainoastaan kiertotaloudelle tyypillinen strategia, vaan sitä on jo sovellettu menestyksekkäästi esimerkiksi lineaarisessa liiketoimintamallissa resurssitehokkuuden muodossa.

Kierron sulkemisella tarkoitetaan puolestaan strategiaa, jossa pyritään sulkemaan silmukka käytöstä poistetun ja uuden tuotteen tuotannon välillä. Tähän strategiaan viitataan usein kierrättämisellä. (Bocken ym. 2016) Bocken ja Ritala (2021) esittävät, että esimerkiksi käytöstä poistetun elektroniikkalaitteen arvokkaat metallit voidaan kierrättää, jolloin niitä voidaan käyttää uuden laitteen tuotannossa raaka-aineina.

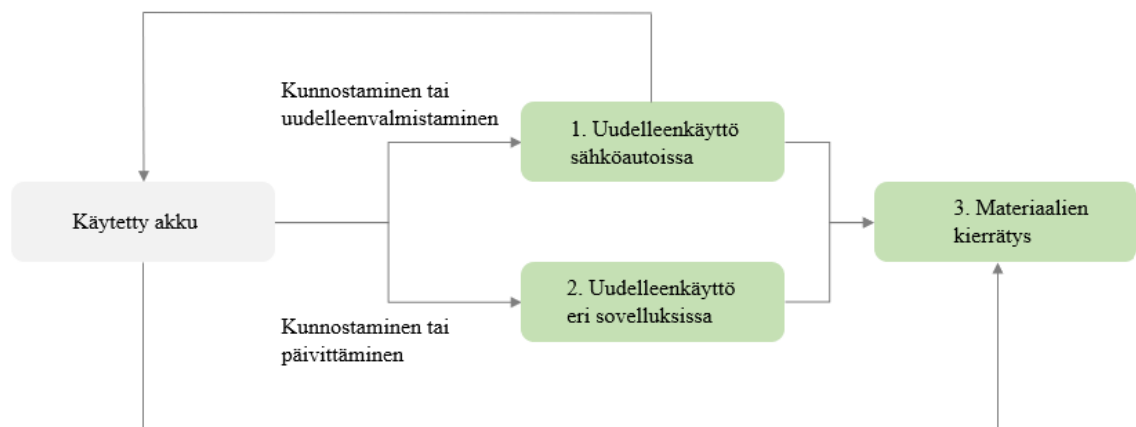
Kierron hidastamisella pyritään säilyttämään tuotteen arvo mahdollisimman korkealla ja mahdollisimman pitkään pidentämällä tuotteen elinkaarta (Bocken ja Ritala 2021). Kyseisessä strategiassa korostetaan pitkäikäisten tuotteiden suunnittelun lisäksi

palveluiden roolia elinkaaren pidentämisessä esimerkiksi korjaamalla ja uudelleenvalmistamalla tuotteita (Bocken ym. 2016).

Kierron tehostamisella ja dematerialisoinnilla Geissdoerfer ym. (2018) korostavat intensiivisemmän käyttövaiheen ja palveluiden merkitystä osana kiertotaloutta. Kyseisten kiertojen voidaan nähdä myös sisältyvän kierron hidastamisen strategiaan. (Geissdoerfer ym. 2018)

2.3 Akkujen kiertotalouden liiketoimintamallit

Kun litiumioniakku poistuu sähköautokäytöstä, käytetylle akulle voidaan nähdä olevan kiertotalouden näkökulmasta kaksi vaihtoehtoa: käyttöiän pidentäminen tai materiaalien kierrättäminen (Kotak ym. 2021). Akkujen käyttöiän pidentäminen ja materiaalien kierrättäminen mahdollistavat myös yrityksille liiketoiminnan harjoittamisen (Olsson, 2018). Kuten kuvasta 1 nähdään, akkujen kiertotalouden liiketoimintamallit osana käytetyn akun arvoketjua ovat uudelleenkäyttö alkuperäisessä tai uudessa käyttötarkoituksessa sekä materiaalien kierrätys. Seuraavissa kappaleissa käydään tarkemmin läpi kyseisten liiketoimintamallien ominaispiirteitä arvolupauksen, arvonluonnin ja arvon haltuunoton kautta.



Kuva 1. Akkujen kiertotalouden liiketoimintamallit osana käytetyn akun arvoketjua (mukaillen Kotak ym. 2021; Olsson ym. 2018).

2.3.1 Uudelleenkäyttö sähköautoissa

Yleisesti, kun uudelleenkäytetään tuotteita, tuotteiden elinkaarta pystytään pidentämään, jolloin myös niiden resurssikiertoa saadaan hidastettua (Bocken ym. 2016). Sähköautojen litiumioniakkujen tapauksessa, Olsson ym. (2018) esittävät liiketoimintamallina, että sähköautokäytön jälkeen akut kunnostetaan, jonka jälkeen niitä käytetään uudelleen sähköautoissa. Albertsen ym. (2021) toteavat vastaavasti, että akkujen kunnostamisella, kunnostettu akku voidaan asentaa korvaavaksi akuksi vanhan akun tilalle tai se voidaan hyödyntää kokonaan uuden sähköauton akkuna.

Uudelleenkäyttöön sähköautoissa viitataan myös termillä uudelleenvalmistus, jolla tarkoitetaan sähköautojen akkujen tapauksessa prosessia, jossa käytetty akku kunnostetaan ja sitä käytetään uudelleen alkuperäisessä käyttötarkoituksessa (Chen ym. 2019). Uudelleenvalmistamisen yhteydessä akku esimerkiksi diagnosoidaan, puretaan, vahingoittuneet kennot vaihdetaan ja akku kootaan uudelleen (Standridge ja Corneal 2014, s. 32).

Kunnostamiseen ja uudelleenvalmistamiseen perustuvissa liiketoimintamalleissa Vogtlander ym. (2017) näkevät arvolupauksen perustuvan asiakkaalle tarjottavaan ympäristöystävällisempään vaihtoehtoon, mahdollisesti alkuperäistä tuotetta halvemmalla hinnalla. Arvonluonnissa korostuvat kunnostettavien ja uudelleenvalmistettavien tuotteiden saatavuus sekä toimijan tekninen osaaminen kyseisten tuotteiden kunnostamiseen. Arvon haltuunoton nähdään puolestaan tapahtuvan kunnostettujen tuotteiden myynnistä saatavien tulojen sekä vähentyneiden kustannusten, kuten vähentyneiden jätteenkäsittelykustannusten avulla. (Ludeke-Freund ym. 2019)

Esimerkiksi sähköautovalmistajan hyödyntäessä akkujen kunnostusta liiketoimintamallina, Albertsen ym. (2021) näkevät asiakkaalle syntyvän arvon perustuvan kunnostetun akun hintaan, sillä asiakas saa käyttöönsä akun alkuperäistä akkua halvemmalla hinnalla. Arvonluonnissa puolestaan korostuu kumppanuusverkoston rooli ja erikoisosaaminen akkujen kunnostamiseen. Liiketoimintamallissa arvon haltuunotto puolestaan tapahtuu kunnostettujen akkujen myynnistä tai leasingsopimuksista saatavien tulojen kautta. (Albertsen ym. 2021)

2.3.2 Uudelleenkäyttö eri sovelluksissa

Kun akun kapasiteetti saavuttaa tason, jossa sen kunnostaminen sähköautokäyttöön ei ole taloudellisesti kannattavaa esiin nousee akun kohdentaminen muuhun käyttöön. Kohdentamalla akku muuhun käyttöön, akkua hyödynnetään muissa sovelluksissa, joissa vaatimukset akun suorituskyvyille eivät ole yhtä korkeat kuin sähköautokäytössä. (Chen ym. 2019) Yleisellä tasolla, kohdentamalla tuotteita muuhun kuin alkuperäiseen käyttöön, tuotteiden resurssikiertoa pyritään hidastamaan, kun tuotteiden elinkaarta pidennetään (Bocken ym. 2016).

Kun akun käyttötarkoitusta muutetaan alkuperäisestä, akku tulee pakata uudelleen vastaamaan uutta käyttötarkoitusta ja samalla akun akustonhallintajärjestelmä tulee päivittää tai vaihtaa (Olsson ym. 2018). Standridge ja Corneal (2014, s. 23) myös esittävät, että muuntamisen yhteydessä tarvetta akun korjaamiselle saattaa esiintyä. Wrålsen ym. (2021) toteavat vastaavasti, että akun uudelleenkäyttämistä ilman minkäänlaista päivittämisprosessia ei nähdä erityisen potentiaalisena liiketoimintamallina.

Muutettuja akkuja voidaan käyttää sähköverkkoon liitettävissä energiavarastointijärjestelmissä esimerkiksi kulutuspiikkien tasaamiseen, energian varmuusvarastointiin, uusiutuvien energialähteiden integrointiin ja sähköautojen latausasemiin. (Chen ym. 2019) Lisäksi Albertsen ym. (2021) mainitsevat uudelleenkäyttömahdollisuuksina sähköverkon ulkopuoliset sovellukset, kuten trukit, katuvalaisimet, kylmäajoneuvot sekä energian varastoinnin hybridi- ja sähkökäyttöisissä laivoissa.

Kun tarkastellaan esimerkkinä energiavarastointijärjestelmien liiketoimintamallia uuteen käyttöön muunnetuille akuille, arvolupaus perustuu akun jäännösarvon hyödyntämiseen kunnostamisen ja uudelleenkäytön kautta (Reinhardt ym. 2019). Lisäksi Reinhardt ym. (2020) nostavat osana arvolupausta esiin negatiivisten ympäristövaikutusten vähenemisen. Arvonluonti puolestaan tapahtuu pääsääntöisesti tuote- tai prosessi-innovaatioiden kautta, jonka lisäksi toimialojen välisiä kumppanuuksia korostetaan osana arvonluontia. (Reinhardt ym. 2020) Arvon haltuunoton Reinhardt ym. (2019) toteavat tapahtuvan akun uudelleenkäytöstä saatavien tulojen ja vähentyneiden materiaalikustannusten kautta.

2.3.3 Materiaalien kierrätys

Kun akkujen suorituskyky on laskenut eikä niitä voida enää hyödyntää uudelleen, ne voidaan kierrättää (Shahjalal ym. 2022). Olsson ym. (2018) toteavat kierrättämisen sisältyvän usein osaksi liiketoimintamallia, jossa käytetty akku ensin uudelleenkäytetään, jonka jälkeen se kierrätetään. Kierrättämisen avulla tuotteiden resurssikierto saadaan suljettua ja raaka-aineet uudelleen käyttöön (Bocken ym. 2016).

Standridge ja Corneal (2014, s. 3) määrittelevät akkujen kierrättämisen prosessina, jossa akun kennot puretaan ja niistä erotellaan jalometallit, kemikaalit sekä muut sivutuotteet, jotka myydään eteenpäin tai hyödynnetään uudelleen raaka-aineina. Chen ym. (2019) jakavat akkujen kierrätykseen käytettävät teknologiat pyrometallurgisiin, hydrometallurgisiin ja suoran kierrätyksen prosesseihin.

Kierrätykseen perustuvissa liiketoimintamalleissa arvolupausta voidaan tarkastella kahdesta eri näkökulmasta. Kierrätystä tarjoavan toimijan arvolupaus perustuu arvoon, joka syntyy, kun jätteestä tuotetaan raaka-aineita. Toisaalta raaka-aineista tuotteita valmistavan toimijan arvolupaus perustuu ympäristöystävällisten materiaalien käyttöön, kun neitseelliset raaka-aineet korvataan kierrätetyillä. Riippumatta toimijasta arvonluonnissa korostuu erikoisosaaminen tuotesuunnittelusta ja materiaaleista, joiden lisäksi toimitusketjujen hallinnan roolia korostetaan. (Ludeke-Freund ym. 2019) Arvon haltuunotto kierrättäjän puolella tapahtuu kierrätettyjen materiaalien myynnistä saatavien tulojen ja jätteestä perittävien vastaanottomaksujen kautta. (Ranta 2018, s. 30) Toisaalta kierrätettyjen raaka-aineiden käyttäjä pystyy vähentämään valmistettavan tuotteen materiaalikustannuksia korvaamalla uudet raaka-aineet kierrätetyillä (Ludeke-Freund ym. 2019).

Esimerkkinä, jossa sähköautojen tuottaja harjoittaa kierrätykseen perustuvaa liiketoimintaa, Albertsen ym. (2021) näkevät arvolupauksen perustuvan siihen, että tuottajalla säilyy materiaalien hallinta. Arvonluonnissa puolestaan korostuu kierrätyksen huomioon ottaminen jo tuotesuunnitteluvaiheessa ja yhteistyö kierrätykseen erikoistuneiden toimijoiden kanssa, joilla on osaamista materiaalien käsittelyyn. Arvon haltuunotto tapahtuu hyödyntämällä kierrätettyjä raaka-aineita omassa tuotannossa uusien akkujen valmistamisessa tai myymällä kierrätettyjä raaka-aineita muille toimijoille. (Albertsen ym. 2021)

2.4 Akkujen kiertotalouden haasteet

Huolimatta siitä, että litiumioniakuilla nähdään olevan uudelleenkäyttöarvoa, niin litiumioniakkujen uudelleenkäyttöön voidaan nähdä liittyvän myös haasteita (Olsson 2018). Akkujen uudelleenkäytön haasteena, Shahjalal ym. (2022) nostavat esiin taloudellisen näkökulman. Teknologian kehittymisen seurauksena uusien litiumioniakkujen hintojen voidaan nähdä ajan myötä laskevan, jolloin haasteeksi saattaa muodostua se, että kuluttajat valitsevat uuden akun kunnostetun akun sijaan (Shahjalal ym. 2022). Lisäksi Olsson ym. (2018) näkevät uudelleenkäytön teknisenä haasteena uudelleenkäyttöön tulevien akkujen erilaisuuden, sillä akut ovat mahdollisesti eri valmistajien valmistamia, jolloin ne ovat rakenteeltaan ja ominaisuuksiltaan erilaisia. Tämä näkyy mahdollisesti kustannusten nousuna esimerkiksi kunnostamista tai käyttötarkoituksen muuntamista harjoittavien toimijoiden liiketoiminnassa (Olsson ym. 2018).

Kuten uudelleenkäytössä, myös kierrättämisessä Shahjalal ym. (2022) näkevät haasteena litiumioniakkujen erilaisuuden. Kierrätysprosessissa haasteeksi muodostuu akun kemiallisen koostumuksen selvittäminen, sillä akkujen rakenteet ovat erilaisia eikä vakiintuneita merkintöjä akkujen kemiallisen koostumuksen selvittämiseksi ole käytössä. Tällöin kierrätysprosessin automatisointi on haastavaa ja kierrättämisen kannattavuus taloudellista näkökulmasta mahdollisesti kärsii. (Shahjalal ym. 2022) Albertsen ym. (2021) nostavat kierrätyksen haasteena esiin myös sen, että ollakseen taloudellisesti kannattavaa, kierrätettävissä akuissa tulee olla riittävästi arvokkaita raaka-aineita. Mikäli litiumioniakuissa siirrytään halvempien raaka-aineiden käyttöön tai nykyisten raaka-aineiden hinnat laskevat, niin kierrätykseen perustuvaa liiketoimintaa ei nähdä nykyisellään erityisen houkuttelevana vaihtoehtona (Shahjalal ym. 2022).

3 AKKUJEN KIERTOTALOUS SUOMESSA

Tässä luvussa käydään läpi käytännön esimerkkejä toimijoista, joiden liiketoiminta on läheisesti yhteydessä sähköautoissa käytettävien litiumioniakkujen kiertotalouteen. Esimerkkiyrityksinä toimivat akkujen diagnostiikkaan keskittyvä Akkurate, akkujen uudelleenkäyttöä hyödyntävä Cactos sekä akkujen kierrätystä organisoiva Suomen Autokierrätys. Näiden esimerkkien lisäksi luvun lopussa on listattu ylös myös muita tutkimuksen aikana esiin nousseita yrityksiä ja organisaatioita, joiden toiminnassa korostuu litiumioniakkujen kiertotalous.

3.1 Akkurate

Akkurate on vuonna 2016 perustettu suomalainen litiumioniakkuihin keskittyvä asiantuntija- ja ohjelmistoyritys, joka keskittyy liiketoiminnassaan litiumioniakkujen diagnostiikkaan. Akkurate tarjoaa akkujen diagnostiikka- ja monitorointipalveluitaan sähköautoalan lisäksi mm. akkujen valmistajille sekä energiavarastointialalle. Sähköautojen tapauksessa yrityksen tavoitteena on optimoida akkujen suorituskykyä sekä maksimoida akkujen käyttöiän arvoa. (Akkurate 2022a)

Akkuraten (2022b) mukaan diagnostiikan etuina voidaan pitää akun eliniän pidentämistä sekä uudelleenkäyttömahdollisuuksien arviointia. Tarkkailemalla akkua, akun toiminnasta voidaan tunnistaa ajoissa mahdollisia vikatilanteita, jotka voidaan saattaa kuntoon korjaustoimenpiteillä jo ennen kuin merkittävää haittaa akulle on ehtinyt tapahtua. Lisäksi akuista kerätyn datan perusteella akun uudelleenkäytön arviointi helpottuu, sillä akuista voidaan esimerkiksi tunnistaa ne kennot, jotka soveltuvat vielä alkuperäisen käyttötarkoituksen jälkeen uudelleenkäytettäväksi. (Akkurate 2022b)

Akkuraten liiketoimintamalli perustuu ohjelmistoliiketoimintaan, sillä yritys tarjoaa diagnostiikka-ohjelmistoaan SaaS-palveluna. Liiketoiminnassa asiakkaina korostuvat etenkin toimijat, joilla on järjestelmässään useita akkuja, esimerkiksi useita sähköautoja. Tällöin diagnostiikka-ohjelmiston avulla asiakas voi tarkastella reaaliaikaisesti kaikkien järjestelmässä olevien akkujen toimintaa ja käyttöolosuhteita. (Akkurate 2022b)

3.2 Cactos

Cactos on vuonna 2021 perustettu suomalainen yritys, joka valmistaa energiavarastointijärjestelmiä käytetyistä sähköautojen akuista. Cactoksen liiketoimintamalli perustuu käytettyjen akkujen ostamiseen sähköautomarkkinoilta, jonka jälkeen akut muunnetaan sähkövarastoiksi ja vuokrataan asiakkaille. (HS 2022) Cactoksen (2022) mukaan muuntamalla käytettyjä akkuja sähkövarastointikäyttöön, voidaan vähentää uusien akkujen valmistustarvetta, minkä voidaan nähdä pienentävän ympäristövaikutuksia.

Sähkövarastojen valmistamisessa Cactos uudelleenkäyttää käytettyjä Teslan akkuja. Teslan akut ovat valikoituneet uudelleenkäytettäväksi akkutyypiksi, sillä ne sisältävät valmiiksi nestejäähdytyksen, joka on osaltaan helpottamassa akun muuntamista sähköautokäytöstä sähkövarastokäyttöön. Lisäksi Cactos pitää sähköautojen akkuja niiden kestävyuden takia hyvänä vaihtoehtona energian varastointiin, sillä ne on alun perin suunniteltu kestämaan olosuhteita, kuten tärinää ja uudessa käyttötarkoituksessa ne tulevat olemaan paikallaan, kiinteästi rakennukseen kiinnitettynä. Kun Cactos muuntaa sähköauton akun sähkövarastoksi, he ensin purkavat akun, jonka jälkeen sen yksittäisistä moduuleista rakennetaan sähkövarasto heidän kehittämänsä hyllyratkaisun sisään. (HS 2022)

Cactoksen tavoitteena on hajautetun energiavarastointijärjestelmän toteuttaminen, jossa yksittäisiä sähkövarastoja vuokrataan asiakkaiden toimitiloihin asennettavaksi. Toimitiloja ovat esimerkiksi teollisuus-, hotelli- ja vähittäiskauppakiinteistöt. (Cactos 2022). Cactos (2022) myös mainitsee energian varastoinnin etuina olevan oman energia-tuotannon varastointi, kulutuspiikkien tasaaminen, kulutuksen tasaaminen halvan ja kalliin sähkön välillä, varavoimana toimiminen sekä kapasiteetin tarjoaminen taajuudensäätömarkkinoille. He myös nostavat osana liiketoimintamalliaan esiin pilvipalveluiden kehittämisen, joiden avulla sähkövarastojen ohjaus ja käytön optimointi tapahtuu.

3.3 Suomen Autokierrätys

Suomen Autokierrätys on tuottajayhteisö, joka vastaa Suomessa romuautojen ja sähkökäyttöisten ajoneuvojen ajovoima-akkujen kierrätyksen organisoinnista ja tiedottamisesta. Sähköautojen akkujen kierrätysjärjestelmässä, sillä on neljä operaattoria, jotka vastaavat osaltaan akkujen keräämisestä ja kierrätyksestä. Näitä ovat Fortum Waste Solutions Oy, Eurajoen Romu Oy, Kuusakoski Oy ja Stena Recycling Oy. Tuottajayhteisöä hallinnoi Suomen Autokierrätys Oy. (Suomen Autokierrätys 2022)

Suomen Autokierrätyksen (2021a) mukaan, he tuottajayhteisönä huolehtivat siitä, että ajovoima-akut saadaan asianmukaisesti kiertoon joko uudelleenkäytön tai materiaalien talteenoton kautta. Ensisijaisena tavoitteenaan tuottajayhteisö pitää uudelleenkäyttöä, jossa käytettyjä akkuja hyödynnetään esimerkiksi energian varastoinnissa. Mikäli akun ei nähdä soveltuvan uudelleenkäyttöön, se siirtyy operaattoreiden kierrätysprosessiin. (Suomen Autokierrätys 2021b)

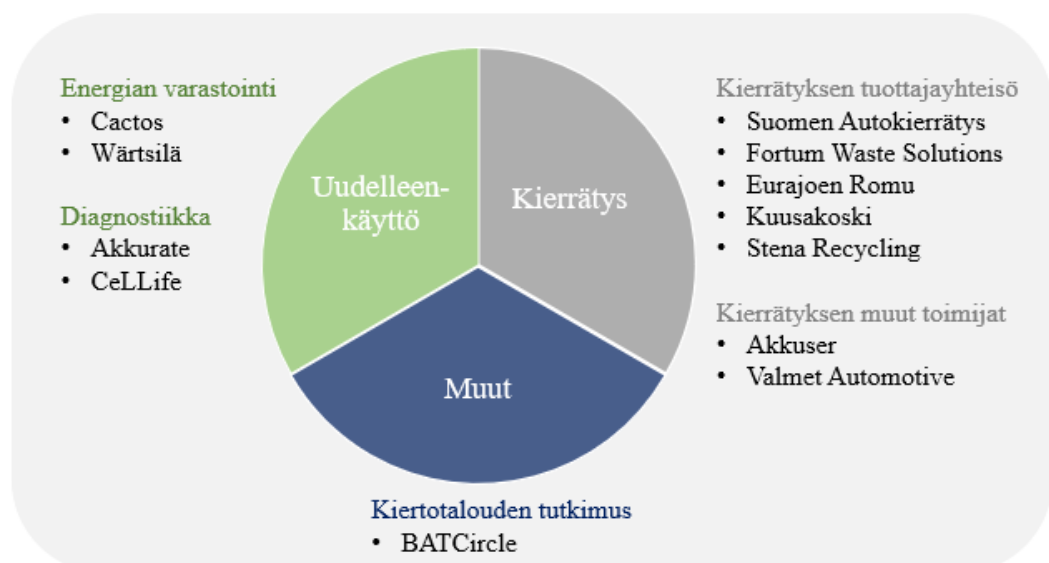
Kierrätysprosessi alkaa akustojen mekaanisella purulla, jossa esimerkiksi akuston rakenteissa usein käytetty alumiini kerätään talteen uudelleenkäyttöä varten. Lisäksi kennojen mekaanisella murskauksella ja raaka-aineiden erotteluprosessilla akkujen kennoissa käytettävät arvokkaat raaka-aineet, kuten nikkeli, koboltti, mangaani ja litium saadaan kerättyä talteen. (Suomen Autokierrätys 2021b) Esimerkiksi kierrätysoperaattorina toimiva Fortum kertoo pystyvänsä mekaanisen ja hydrometallurgisen prosessin avulla kierrättämään 95 % akkujen mustasta massasta. Musta massa on kierrätysprosessin yhteydessä syntyvää massaa, joka sisältää akuissa käytettäviä arvokkaita raaka-aineita. (Fortum 2021)

Liiketoiminnan näkökulmasta Suomen Autokierrätys (2021b) näkee kierrätettyjen materiaalien kysynnän olevan merkittävässä kasvussa. Heidän mukaansa kierrätettyjen materiaalien käyttö kiinnostaa akkuvalmistajia etenkin eettisten ja ilmastollisten näkökulmien vuoksi, sillä kierrätettyjen materiaalien käytöllä voidaan vähentää neitseellisten raaka-aineiden käyttöä.

3.4 Muut toimijat

Edellä esiteltyjen esimerkkien lisäksi, alla olevassa listauksessa on nostettu esiin myös muita Suomessa toimivia litiumioniakkujen kiertotalouteen liittyviä yrityksiä ja organisaatioita. Lisäksi kuvaan 2 on koottu yhteen kaikki työssä esitellyt toimijat toiminnan luonteen mukaan jaoteltuna.

- **Akkuser:** Akkuser on akkujen kierrätykseen keskittyvä yritys, jonka suunnitelmissa on kehittää uusi kierrätysprosessi vähäkobolttisille litiumioniakuille (Akkuser 2022).
- **BATCircle:** BATCircle on Aalto-yliopiston johtama konsortio, joka pyrkii kehittämään litiumioniakkujen kiertotaloutta litiumioniakkujen kierrätystehokkuuteen ja valmistusprosesseihin liittyvän tutkimuksen kautta (BATCircle 2021).
- **CeLLife:** CeLLife on tamperelainen tutkimusryhmä, jonka kehittämä sähköinen sormenjälki tunnistaa käytetyistä litiumioniakuista kennot, jotka kelpaavat uusiokäyttöön (TUNI 2021).
- **Valmet Automotive:** Valmet Automotive on sähköautojen akkujen valmistaja, joka tekee yhteistyötä Fortumin kanssa tuotannossa käyttämättömän akkumateriaalin kierrättämiseksi (Valmet Automotive 2021).
- **Wärtsilä:** Wärtsilä on mm. energiamaarkkinoilla toimiva teknologiayritys, joka solmi vuonna 2018 Hyundain kanssa sopimuksen sähköautokäytöstä poistettujen akkujen uudelleenkäytöstä energiavarastointimarkkinoilla (Wärtsilä 2018).



Kuva 2. Litiumioniakkujen kiertotaloutta hyödyntävät toimijat Suomessa.

4 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tavoitteena oli tarkastella kiertotalouden näkökulmasta, mitä sähköautojen litiumioniakuille tapahtuu, kun ne poistuvat sähköautokäytöstä ja millaisia liiketoimintamalleja akkujen kiertotalouden ympärille on mahdollista rakentaa. Työ eteni liiketoimintamallin käsitteen ja kiertotalouden ominaispiirteiden tarkastelun kautta litiumioniakkujen kiertotalouden liiketoimintamalleihin. Akkujen liiketoimintamalleina tunnistettiin uudelleenkäyttö kunnostamisen tai käyttötarkoituksen muuntamisen kautta sekä materiaalien kierrättäminen (Albertsen ym. 2021; Kotak ym. 2021; Olsson ym. 2018). Työssä käsiteltiin näiden mallien ominaispiirteitä sekä tarkasteltiin, mihin kyseisten liiketoimintamallien arvolupaus, arvonluonti sekä arvon haltuunotto perustuu. Tämän jälkeen työssä perehdyttiin myös lyhyesti akkujen kiertotalouden haasteisiin, joita aiheuttavat esimerkiksi akuissa käytettävät erilaiset rakenteet sekä akkujen ja raaka-aineiden hinnanmuutokset (Olsson ym. 2018; Shahjalal ym. 2022). Kirjallisuuskatsauksen suorittamisen lisäksi työssä pyrittiin tunnistamaan käytännön esimerkkejä toimijoista, jotka toteuttavat liiketoimintaa kirjallisuuskatsauksessa tunnistettuihin liiketoimintamalleihin perustuen. Samalla muodostettiin kattava kuvaus akkujen kiertotalouden nykytilanteesta Suomessa ja nostettiin esiin organisaatioita ja yrityksiä, joiden toiminta perustuu tai on läheisesti yhteydessä litiumioniakkujen kiertotalouteen.

Työn kirjallisuuskatsauksessa tunnistetut akkujen kiertotalouden liiketoimintamallit toistuvat useassa tutkimuksessa ja alan tutkijat näyttävät olevan melko yksimielisiä siitä, että akkujen kunnostaminen uudelleen sähköautokäyttöön, muuntaminen muuhun kuin alkuperäiseen käyttöön ja kierrätyksellä raaka-aineiden talteenotto ovat merkittävimmät vaihtoehdot akkujen kiertotaloudelle. Toisaalta työssä on tarkasteltu kyseisiä liiketoimintamalleja melko yleisellä tasolla ja tulee muistaa, että kyseiset liiketoimintamallit myös täydentävät toisiaan. Lisäksi, kun tarkastellaan liiketoimintamallina esimerkiksi akkujen muuntamista uuteen käyttötarkoitukseen, yrityksillä on useita erilaisia vaihtoehtoja liiketoiminnan harjoittamiseen.

Tutkimuksessa myös huomattiin, että Suomessa ala on vielä verrattain nuori, sillä liiketoimintaa harjoittavia yrityksiä ja muita toimijoita on vielä vähän tai ne on perustettu vasta hiljattain. Toisaalta tätä ei voida suoraan yleistää, sillä yritykset eivät välttämättä julkaise liiketoimintasuunnitelmiaan yrityksen ulkopuolelle, varsinkin, kun ala vaikuttaa

olevan murroksessa. Lisäksi esimerkiksi akkujen kierrätykseen Suomessa on panostettu jo melko paljon, vaikka kierrätettävien akkujen määrä on vielä toistaiseksi ollut hyvin pieni. Tulevaisuudessa, kun akkujen määrä kasvaa, niin todennäköisesti myös Suomessa aukeaa uusia liiketoimintamahdollisuuksia akkujen kiertotalouden kannalta, jolloin myös toimijoiden määrä mahdollisesti lisääntyy.

Työn suorittaminen kirjallisuuskatsauksena tuki mielestäni hyvin akkujen kiertotalouden nykytilanteen selvittämistä, vaikka aihetta voidaankin pitää vielä verrattain uutena. Työn luotettavuuden arviointiin liittyen, pyrin käyttämään lähteinä vertaisarvioituja artikkeleita, jonka lisäksi korostin tiedonhaussa mahdollisimman ajankohtaista ja lähellä nykyhetkeä julkaistua tietoa. Toisaalta ajankohtaisuuden painottaminen, tarkoitti osaltaan myös verkkolähteiden hyödyntämistä, jonka voidaan nähdä heikentävän tutkimuksen luotettavuutta. Yritysesimerkkien koostamisessa hyödynnettiin myös yritysten verkkosivuja ja lehtiartikkeleita. Kattavamman ja tarkemman tiedon saavuttamiseksi, verkkolähteiden hyödyntämisen lisäksi työssä olisi voinut suorittaa myös haastatteluja yrityksille, mutta työn laajuuden vuoksi tämä vaihtoehto rajautui pois.

Työn rajoitteita pohdittaessa tulee muistaa, että työssä ei niinkään otettu kantaa siihen mikä on optimaalisin kiertotalouden liiketoimintamalli litiumioniakuille, vaan työssä tunnistettiin eri mahdollisuuksia ja haasteita, joita akkujen kiertotalouteen liittyy. Työssä ei esimerkiksi otettu kantaa siihen, mikä liiketoimintamalleista soveltuu parhaiten akkujen teknisiin ominaisuuksiin nähden tai mikä liiketoimintamalli säilyttää materiaalien arvon mahdollisimman korkealla ja mahdollisimman pitkään. Kun sähköautokäytöstä poistettujen akkujen määrä tulevaisuudessa huomattavasti kasvaa, niin jatkotutkimuksena voisi esimerkiksi vertailla eri liiketoimintamallien ja niiden yhdistelmien taloudellisesta kannattavuutta ja ympäristövaikutuksia, ja täten määrittää optimaalisimmat toimintatavat akkujen kiertotaloudelle tulevaisuudessa.

LÄHDELUETTELO

Akkurate, 2022a. Home [verkkodokumentti]. Akkurate. Saatavissa: <https://www.akkurate.fi/> [viitattu: 5.4.2022].

Akkurate, 2022b. Battery analytics platform. [verkkodokumentti]. Akkurate. Saatavissa: <https://www.akkurate.fi/battery-analytics-platform/> [viitattu: 5.4.2022].

Akkuser, 2022. Uusi kierrätysprosessi matalakoboltisille li-ion akuille [verkkodokumentti]. Akkuser. Saatavissa: <https://www.akkuser.fi/ajankohtaista/uusi-kierratysprosessi-matalakoboltisille-li-ion-akuille/> [viitattu 7.4.2022].

Albertsen L., Richter J.L., Peck P., Dalhammar C. & Plepys A, 2021. Circular business models for electric vehicle lithium-ion batteries: An analysis of current practices of vehicle manufacturers and policies in the EU. *Resources, Conservation and Recycling*, 172.

AUT, 2022. Sähköautojen määrän kehitys [verkkodokumentti]. AUT. Saatavissa: https://www.aut.fi/tilastot/autokannan_kehitys/sahkoautojen_maaran_kehitys [viitattu 13.3.2022].

BATCircle, 2021. About [verkkodokumentti]. Helsinki: Aalto-yliopisto. Saatavissa: <https://batcircle.aalto.fi/en/home/about> [viitattu 7.4.2022].

Bocken N., de Pauw I., Bakker C. & van der Grinten B., 2016. Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33 (5), S. 308-320.

Bocken N. & Ritala P., 2021. Six ways to build circular business models. *Journal of Business Strategy*, ahead-of-print.

Boons F. & Lüdeke-Freund F., 2013. Business models for sustainable innovation: state-of-the-art and steps towards a research agenda. *Journal of Cleaner Production*, 45, S. 9-19.

Cactos, 2022. Älykkäät sähkövarastot [verkkodokumentti]. Cactos. Saatavissa: <https://www.cactos.fi/> [viitattu 5.4.2022].

Chen M., Ma X., Chen B., Arsenault R., Karlson P., Simon N. & Wang Y., 2019. Recycling End-of-Life Electric Vehicle Lithium-Ion Batteries. *Joule*, 3 (11), S. 2622-2646.

Ellen McArthur Foundation, 2013. Towards the Circular Economy [verkkodokumentti]. Ellen McArthur Foundation. Saatavissa: <https://emf.thirdlight.com/link/x8ay372a3r11-k6775n/@/preview/1?o> [viitattu 9.3.2022]. 99 s.

Fortum, 2021. Fortum laajentaa sähköautoakkujen kierrätystoimintaa avaamalla uuden mekaanisen tuotantolaitoksen Ikaalisiin [verkkodokumentti]. Fortum. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/media/2021/01/fortum-laajentaa-sahkoautoakkujen-kierratystoimintaa-avaamalla-uuden-mekaanisen-tuotantolaitoksen-ikaalisiin> [viitattu 6.4.2022].

Geissdoerfer M., Morioka S., de Carvalho M. & Evans S., 2018. Business model and supply chains for the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 190, S. 712-721.

HS, 2022. Teslan akkuja kuukausimaksulla. [verkkodokumentti]. HS. Saatavissa: <https://www.hs.fi/visio/art-2000008536480.html> [viitattu 5.4.2022]

Kirchherr J., Reike D. & Hekkert M., 2017. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, S. 221-232.

Korhonen J., Honkasalo A. & Seppälä J., 2018. Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, 143, S. 37-46.

Kotak Y., Fernandez C., Casals L., Kotak B., Koch D., Geisbauer C., Trilla L., Gómez-Núñez A. & Schweiger H-G., 2021. End of Electric Vehicle Batteries: Reuse vs. Recycle. *Energies*, 14 (8).

Lüdeke-Freund F., Gold S. & Bocken N., 2019. A Review and Typology of Circular Economy Business Model Patterns. *Journal of Industrial Ecology*, 23 (1), S. 36-61.

Massa L., Tucci C.L. & Afuah A., 2017. A Critical Assessment of Business Model Research. *Academy of Management Annals*, 11 (1), S. 73-104.

Olsson L., Fallahi S., Schnurr M., Diener D. & Van Loon P., 2018. Circular Business Models for Extended EV Battery Life. *Batteries*, 4 (4), S. 57.

Osterwalder A. & Pigneur Y., 2010. *Business Model Generation: A Handbook for Visionaries, Game Changers and Challengers*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 284 s. ISBN 978-0470-87641-1

Ranta V., 2018. Kiertotalouden liiketoimintamallit [verkkodokumentti]. Tampere: Tampereen yliopisto. Saatavissa: https://projects.tuni.fi/uploads/2019/06/2138bcf7-kiertotalouden-liiketoimintamallit_20181128_vr.pdf [viitattu 25.3.2022]. 53 s.

Reinhardt R., Christodoulou I., Gassó-Domingo S. & García B.A., 2019. Towards sustainable business models for electric vehicle battery second use: A critical review. *Journal of Environmental Management*, 254, S. 432-446.

Reinhardt R., Christodoulou I., García B.A. & Gassó-Domingo S., 2020. Sustainable business model archetypes for the electric vehicle battery second use industry: Towards a conceptual framework. *Journal of Cleaner Production*, 254.

Shahjalal M., Roy P.K., Shams T., Fly A., Chowdhury J.I., Ahmed Md.R. & Liu K., 2022. A review on second-life of Li-ion batteries: prospects, challenges, and issues. *Energy*, 241.

Sitra, 2022. Kestävää kasvua kiertotalouden liiketoimintamalleista [verkkodokumentti]. Helsinki: Sitra. Saatavissa: <https://media.sitra.fi/2022/02/09102713/kestavaa-kasvua-kiertotalouden-liiketoimintamalleista-2-1.pdf> [viitattu 9.3.2022]. 132 s.

Standridge C.R., & Corneal L., 2014. *Remanufacturing, Repurposing, and Recycling of Post-Vehicle-Application Lithium-Ion Batteries* [verkkodokumentti]. San Jose: MNTRC. Saatavissa: <https://rosap.nsl.bts.gov/view/dot/27425> [viitattu 18.3.2022]. 74 s.

Suomen Autokierrätys, 2022. Meistä [verkkodokumentti]. Helsinki: Suomen Autokierrätys Oy. Saatavissa: <https://autokierratys.fi/meista/> [viitattu 6.4.2022].

Suomen Autokierrätys, 2021a. Sähkö- ja hybridautojen ajovoima-akkujen kierrätys toimii [verkkodokumentti]. Helsinki: Suomen Autokierrätys Oy. Saatavissa: https://autokierratys.fi/kiertotalouden_arkea/sahko-ja-hybridautojen-ajovoima-akkujen-kierratys-toimii/ [viitattu 6.4.2022].

Suomen Autokierrätys, 2021b. Näin sähköautojen ajovoima-akut kierrätetään [verkkodokumentti]. Helsinki: Suomen Autokierrätys Oy. Saatavissa: https://autokierratys.fi/kiertotalouden_arkea/nain-sahkoautojen-ajovoima-akut-kierratetaan/ [viitattu 6.4.2022].

Teece D.J., 2010. Business models, business strategy and innovation. Long Range Planning, 43 (2-3), S. 172-194.

TUNI, 2021. Tamperelaisen CeLLifen kehittämä sähköinen sormenjälki tunnistaa uusiokäyttöön sopivat akut [verkkodokumentti]. Tampere: Tampereen yliopisto. Saatavissa: <https://www.tuni.fi/fi/ajankohtaista/tamperelaisen-cellifen-kehittama-sahkoinen-sormenjalki-tunnistaa-uusiokayttoon> [viitattu 7.4.2022].

Valmet Automotive, 2021. Valmet Automotive ja Fortum yhteistyöhön akkumateriaalien vastuullisessa kierrätyksessä [verkkodokumentti]. Valmet Automotive. Saatavissa: <https://www.valmet-automotive.com/fi/media/uutiset/valmet-automotive-ja-fortum-yhteistyohon-akkumateriaalien-vastuullisessa-kierratyksessa/> [viitattu 7.4.2022].

Vogtlander J.G., Scheepens A.E., Bocken N.M.P. & Peck D., 2017. Combined analyses of costs, market value and eco-costs in circular business models: eco-efficient value creation in remanufacturing. Journal of Remanufacturing, 7 (1), S. 1-17.

Wrålsen B., Prieto-Sandoval V., Andres M.V., O’Born R., Hellström M. & Faessler B., 2021. Circular business models for lithium-ion batteries – Stakeholders, barriers, and drivers. Journal of Cleaner Production, 317.

Wärtsilä, 2018. Wärtsilä and Hyundai Motor Group announce energy storage partnership maximizing second-life electric vehicle batteries [verkkodokumentti]. Wärtsilä. Saatavissa: <https://www.wartsila.com/media/news/26-06-2018-wartsila-and-hyundai-motor-group-announce-energy-storage-partnership-maximizing-second-life-electric-vehicle-batteries-2216004> [viitattu 7.4.2022].

Zott C., Amit R. & Massa L., 2011. The business model: Recent developments and future research. *Journal of Management*, 37 (4), S. 1019-1042.