

Emilia Niittyviita

Sähköauton akkujen arvoketju

AJOVOIMA-AKKUJEN ARVOKETJUMALLI SUOMESSA

Centria. Raportteja ja selvityksiä, 55

Emilia Niittyviita

Sähköauton akkujen arvoketju
AJOVOIMA-AKKUJEN ARVOKETJUMALLI SUOMESSA



JULKAISIJA:

Centria-ammattikorkeakoulu
Talonpojankatu 2, 67100 Kokkola

TAITTO: Centria-ammattikorkeakoulun markkinointi- ja viestintäpalvelut

KANNEN KUVA: Emilia Niittyviita

Centria. Raportteja ja selvityksiä, 55
ISBN 978-952-7173-66-4
ISSN 2342-933X

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO.....	5
2 AJOVOIMA-AKKUJEN ARVOKETJUMALLIT KIRJALLISUUDESSA.....	6
3 KIRJALLISUUDESSA ESITETYT ERILAISET TOTEUTUSTAVAT	9
3.1 KÄYTÖSTÄ POISTUVIEN AKKUJEN KERÄYS JA LAJITTELU	9
3.2 UUELLEENHYÖDYNNETTÄVIEN AKKUJEN KÄSITTELY JA HYÖDYNTÄMINEN	9
3.3 KIERRÄTETTÄVÄT AKUT JA KIERRÄTYSTUOTTEET	10
3.4 ARVOKETJUN TOIMIJAT JA KÄYTÄNNÖN TOTEUTUS ERI OSA-ALUEILLA NYKYISELLÄÄN SEKÄ TULEVAN LAINSÄÄDÄNNÖN MUKANAAN TUOMAT MUUTOKSET	11
4 ERILAISTEN ARVOKETJUN OSA-ALUEIDEN TOTEUTETTAVUUS SEKÄ ARVOKETJUUN POTENTIALISESTI OSALLISTUVAT TOIMIJAT SUOMESSA.....	13
5 ESITETTY ARVOKETJUMALLI	20
6 YHTEENVETO.....	24
LÄHDELUETTELO.....	25

1 JOHDANTO

Tässä selvityksessä, joka on osa Battery Recycle – Akkupuisto -hanketta, pyritään luomaan käytöstä poistettujen sähköautojen ajovoima-akkujen arvoketjumalli, jota Suomessa voitaisiin toteuttaa materiaalin arvon ylläpitämiseksi ja säilyttämiseksi rajojemme sisäpuolella. Akkujen kierrätys ja valmistus ovat herättäneet kiinnostusta viime vuosina myös Suomessa, ja tähän liittyen on sekä suunnitteilla että jo rakennusvaiheessa akkujen kierrätys- ja valmistuslaitoksia. (Fortum 2020, Fortum 2021a, Fortum 2021b, Kokemäki 2021, Kokemäki 2022, MineralsGroup 2021, MineralsGroup 2022, Terrafame) Akkujen kiertotalouden kannalta asiaa tarkasteltaessa kierrätys sulkee materiaaliringin akkujen hyödyntämisestä takaisin valmistukseen, mutta kierrätys ei ole ainoa vaihtoehto hyödyntää käytöstä poistuvien sähköautojen akustojen sisältämää arvoa. Potentiaalinen uudelleenhyödyntäminen (akkujen korjaus, kunnostus ja muokkaus, eli uudelleenvalmistus ja uusiokäyttö) voisi pitkittää akkujen arvoketjua ja käyttöikää ennen kierrätystä. Tämä toiminta muodostaisi samalla yhden lisälenkin akkujen arvoketjuun, mahdollistaen akkujen kiertotalouteen liittyvää liiketoimintaa kierrätyksen ulkopuolella. (Albertsen, Richter, Peck, Dalhammar & Plepys 2021, Hua, Liu, Zhou, Huang, Ling & Yang 2021) Selvityksen aikana tarkastellaan erilaisia tutkimuksessa esitettyjä arvoketjumalleja ja niiden osa-alueiden erilaisia variaatioita. Näiden pohjalta pyritään löytämään Suomen oloihin sopiva malli sekä toteutustapa käytöstä poistettavien sähköautojen ajovoima-akkujen arvon säilyttämiseksi pienellä, mutta maantieteellisesti laajalla markkina-alueella. Tämän pohjalta selvitys esittää käytetyille akustoille (ajovoima-akku) arvoketjumallin, jota Suomessa voitaisiin soveltaa.

Akkujen arvoketjuun liittyy kiinteästi tuleva akkuja koskeva EU-lainsäädäntö (Komission ehdotus COM(2020) 798 final), johon sisältyy monia arvoketjun eri osa-alueisiin liittyviä säädöksiä. Uusi lainsäädäntö ohjaa akkujen arvoketjua kiertotalouden (lisääntyneet kierrätysvaatimukset, sekä kierrätysmateriaalien käyttöpakko akuissa) sekä läpinäkyvyyden suuntaan. Jatkossa esimerkiksi materiaalien alkuperän on oltava tiedossa (hankintaketjun selvityseriaatteet) ja akun tietojen saatavuus eri toimijoiden välillä (akkupassi) suurten akkujen kohdalla. Tämän taustalla on mm. pyrkimys lisätä omavaraisuutta erilaisten kriittisten materiaalien ja tarvikkeiden suhteen. Eurooppalainen valmistus, akkujen kierrätys sekä uudelleenhyödyntämisen vähentäisivät riippuvuutta niin tuontiaikuista (tuonti pääasiallisesti Itä-Aasiasta) kuin raakamateriaaleista. Monien materiaalien kohdalla tuonti EU-alueelle on pitkälti yksittäisten tuontimaiden takana ja samalla eettinen toiminta ihmisen sekä ympäristön kannalta tuotannon eri vaiheissa on tunnetusti ongelma. Lisääntyvien kierrätysvaatimusten ja kierrätysmateriaalin käyttöpakkojen seurauksena sekä akkujen valmistusketjun lisääntyvän läpinäkyvyyden sekä vastuullisuuden myötä halutaan ohjata tuotantoa kohti Eurooppaa ja kannustetaan materiaalien kiertoon. (Komission ehdotus COM(2020) 798 final) Myös Suomessa on selkeää ohjausta ja kiinnostusta akkuarvoketjuun valtion toimesta, mistä viestivät mm. työ- ja elinkeinoministeriön tammikuussa 2021 julkaisema Kansallinen akkustrategia 2025 sekä muut alaan liittyvät raportit, joita keväällä 2022 on julkaistu. (TEM)

2 AJOVOIMA-AKKUJEN ARVOKETJUMALLIT KIRJALLISUUDESSA

Kirjallisuuden perusteella vaikuttaa olevan olemassa yleinen käsitys akkujen arvoketjun osa-alueista eli siitä, miten arvoketju muodostuu. Näissä arvoketjumalleissa tyypilliset tavat säilyttää akustojen arvo ja materiaaliresurssit niiden käytöstä poistuessa ovat hyödyntää hyväkuntoiset akut uudelleen joko samassa tai muissa käyttökohteissa akkujen kunnostamisen jälkeen. (Abdelbaky, Peeters & Dewulf 2021, Albertsen ym. 2021, Bobba, Mathieux & Blengini 2019, Hua, Zhou, Huang, Liu, Ling, Zhou, Zhang & Yang 2020, Hua ym. 2021, Lai, Huang, Deng, Gu, Han, Zheng & Ouyang 2021a, Lai, Huang, Gu, Deng, Han, Feng & Zheng 2021b, Lebedeva, Persio & Boon-Brett 2016, Reinhardt, Christodoulou, Gassó-Domingo & García 2019, Wrålsen, Prieto-Sandoval, Mejia-Villa, O’Born, Hellström & Faessler 2021) Näin saadaan minimoitua akkujen ympäristövaikutuksia, pidennettyä niiden käyttöikä ja lykättyä kierrätystä, joka on vielä akustojen kohdalla haastavaa ja potentiaalisesti kannattamatonta myös tulevaisuudessa siirryttäessä vähäkolttisiin akkuihin. (Huang, Pan, Su & An 2018, Skeete, Wells, Dong, Heidrich & Harper 2020, Yang, Gu & Guo 2020) Uudelleenhyödyntämisen jälkeen akut kierrätetään ja materiaali kerätään talteen ja palautetaan ketjun alkuun, sulkien ketjun kiertotalousmalliksi ja säilyttäen arvokkaat materiaaliresurssit akkukäytössä. (Abdelbaky ym. 2021, Albertsen ym. 2021, Bobba ym. 2019, Hua ym. 2020, Hua ym. 2021, Lai ym. 2021a, Lai ym. 2021b, Lebedeva ym. 2016, Reinhardt ym. 2019, Wrålsen ym. 2021)

Tyypillisesti kirjallisuudessa esitetyt mallit sisältävät osan tai kaikki (vahvistetut) seuraavista osa-alueista erilaisilla jaotuksilla: **suunnittelu, raakamateriaalien/kemikaalien/materiaalien tuotanto, kennojen/akustojen valmistus, akustojen käyttö/sähköautojen valmistus, uudelleenhyödyntäminen** (kunnostaminen, uudelleenvalmistus, uusiokäyttö, jne.), **akkujen kierrätys**. Mallit ovat tyypillisesti suljettuja kiertoja, joilla pyritään arvon mahdollisimman pitkään säilymiseen ja resurssien sekä ympäristön säästämiseen. (Abdelbaky ym. 2021, Albertsen ym. 2021, Bobba ym. 2019, Hua ym. 2020, Hua ym. 2021, Lai ym. 2021a, Lai ym. 2021b, Lebedeva ym. 2016, Reinhardt ym. 2019, Wrålsen ym. 2021) Esimerkiksi Abdelbaky ym. (2021) esittävät mallissaan akkujen elämänsyöntein moduulien valmistuksesta, jota seuraa akustojen valmistus, akuston käyttö ja edelleen käytetyn akuston käytöstä poistuminen ja tätä seuraava kunnostus, uudelleenvalmistus, uusiokäyttö tai kierrätys. Monissa artikkeleissa esitetään edellä mainitun mallin kaltaisia kiertotalousketjuja, joissa lisäksi on otettu huomioon alkupäässä raakamateriaalituotanto. (Hua ym. 21, Lai ym. 2021a, Lai ym. 2021b, Reinhardt ym. 2019, Wrålsen ym. 2021) Tämä alkupään tuotanto on lisäksi linkitetty loppupään kierrätykseen, sekä usein kennojen, moduulien sekä akustojen valmistus on sisällytetty valmistuskategoriaan. (Bobba ym. 2019, Hua ym. 21, Lai ym. 2021a, Lai ym. 2021b, Reinhardt ym. 2019, Wrålsen ym. 2021) Albertsenin ym. (2021) tutkimuksessa puolestaan esitetään malli, jossa edellä esitetyn lisäksi on otettu huomioon käytönaikainen akuston tehokkaampi käyttö. (Albertsen ym. 2021) Hua ym. (2020) sekä Mossali ym. (2020) tuovat mukaan myös akustojen suunnittelun ja uudelleensuunnittelun tärkeyden kiertotalouden kannalta, sillä esimerkiksi helposti huollettava sekä purettava akku mahdollistaa tehokkaan ja monipuolisen käytön. (Hua ym. 2020, Mossali ym. 2020) Lebedeva ym. (2016) avaavat raportissaan vielä alkutuotannon päätä erottelemalla raaka-aineen, akkukemikaalin sekä kennokomponenttien valmistuksen erillisiksi osioikseen Euroopan akkuarvoketjuja tarkasteltaessa. (Lebedeva ym. 2016)

Selvitykseen sisällytetystä kirjallisuusotannasta löytyy myös kyselytutkimuksia, joihin erilaiset akkuarvoketjuun liittyvät toimijat ovat osallistuneet. Näiden pohjalta voidaan muodostaa kuva siitä, mihin teollisuus ja alan toimijat näkevät kehityksen suuntaavan. Wrålsen ym. (2021) selvittivät kyselytutkimuksen avulla, millaiset kiertotalousmallit ja arvoketjut koetaan akkuihin liittyvän tutkimuksen tai liiketoiminnan parissa toimivien asiantuntijoiden keskuudessa järkeviksi ja toimiviksi. Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään järjeviä bisnesmalleja, kannusteita sekä haittatekijöitä litiumioniakkujen kaupalliselle kiertotaloudelle. Vastausten perusteella uudelleenhyödyntämisen ja kierrätyksen yhdistelmä sekä akkujen elämänsyöntein pidentäminen suunnittelun sekä uudelleenvalmistuksen avulla olivat eniten suosiota keränneet mallit kahdeksasta ehdotetusta mallista. Muut esitetyt mallit olivat: pelkkä kierrätys; kierrätyksen ja valmistuksen integrointi; akun elämänsyöntein pidentäminen sekä akun käyttö palveluna, jotta akku voidaan uudelleen valmistaa; akun käyttö palveluna; materiaalikierto kierrätyksen ja biohajoavien materiaalien käytön kautta; suora uusiokäyttö (akku käytetään muokkaamatta). Samassa tutkimuksessa tiedusteltiin myös asiantuntijoiden näkemyksiä siitä, mitkä tekijät kannustavat akkujen kiertotaloutta. Esiin nousivat erityisesti lainsäädäntö ja muut ohjaavat toimenpiteet. Tämän lisäksi tärkeänä koettiin myös kustannukset sekä raakamateriaalien saatavuus. Vastaavasti haittatekijöinä koettiin rahoitus, teknologia sekä standardien puute. Lainsäädännön, normien ja standardien tarve ilmeni myös kysyttäessä tärkeintä kiertotalousmallin osanottajaa, käytöstä poistettujen akkujen käsittelyyn liittyen. Tiedustelujen perusteella valtioiden hallitsevat elimet nähtiin oleellisena osanottajana arvoketjussa. Muita ehdotettuja osakkaita talousmallissa olivat autokaupat, autonvalmistajat, instituutiot, julkinen liikenne, jäte/kierrätystoimijat, kuluttaja, raakamateriaalien/kennojen valmistajat, tutkimusorganisaatiot, teollisuusryhmittymät sekä uusiutuvan energian tuottajat. (Wrålsen ym. 2021)

Myös autonvalmistajat ovat olleet kiinnostuneita rakentamaan osin suljettua materiaalikiertoa ja siten kiertotaloutta toteuttavaa arvoketjua. Albertsenin ym. (2021) tutkimuksessa selvitettiin, millaiseen toimintaan eri EU-alueella toimivat autonvalmistajat osallistuvat, suunnittelevat osallistuvansa tai harkitsevat osallistuvansa litiumioniakkujen kiertotalouteen liittyen. Tutkimuksessa kerätyn tiedon perusteella yli kaksi kolmasosaa 25 tarkastellusta autonvalmistajasta on kiinnostunut

jostain akkujen kiertotalouden osa-alueesta. Tutkitut osa-alueet käyttöön ja käytöstä poistuvien akkujen hyödyntämiseen liittyvät tekijät olivat: käytön tehostaminen, korjaus, kunnostus, uudelleenvalmistus, uusiokäyttö ja suljetun kierron kierrätys (tässä mallissa materiaali palaa autonvalmistajille). Valtaosa osallistuu tai harkitsee osallistuvansa uusiokäyttöön. Kiinnostusta on herättänyt myös pienemmässä määrin uudelleenvalmistus ja muu kunnostaminen, kierrätys takaisin akkumateriaaleiksi sekä alkuperäisessä käytössä käytön tehostaminen. Tutkimuksessa tarkasteltujen autonvalmistajien sekä kierrätykseen ja uusiokäyttöön liittyvien toimijoiden (13 autonvalmistajien edustajaa, yksi uusiokäytön edustaja ja yksi kierrätystoimijan edustaja) haastattelujen perusteella kiertotalousmallit alkavat käytettyjen akkujen vastaanotolla. Strategiaan kuuluu vaihdettujen akkujen takaisin keräys, joka tapahtuu autokauppojen kautta, sekä käytöstä poistuvista autoista kerättyjen akkujen takaisin saanti tuottajayhteisöjen kautta. Autonvalmistajat uskovat, että akkujen palautuminen heille ei ole ongelma. Palautuvien akkujen käsittely (kunnontarkastus) voitaisiin tehdä joka vastaanottopäässä (autokaupat) tai keskitetysti autonvalmistajan omissa tiloissa. (Albertsen ym. 2021)

Vaikka julkisesti autonvalmistajat eivät usein mainosta akkujen kunnostusta, useat näistä yrityksistä tarjoavat kunnostus-, korjaus- ja ylläpitotoimintoja. Uusiokäyttö on vielä pilotointivaiheessa ja liittyy lähinnä latausasemiin ja sähköntuotantoon liittyvään varastointiin ja muihin aputoimintoihin, mutta myös muita sovelluksia on testattu (muut kulkuneuvot, off-grid sovellukset). Toiset autonvalmistajat sisällyttävät uusiokäytön omaan toimintaansa (mahdollisesti yhteistyö kumppaneiden kanssa), mutta on myös toimijoita, jotka myyvät käytöstä poistuvat akut eteenpäin. Eroja ilmenee myös uusiokäytön tasossa: toiset toimijat käyttävät akustot suoraan, kun taas toiset purkavat akustot moduuleiksi tai jopa kennoiksi ja hyödyntävät nämä uusissa kohteissa uusina kokonaisuuksina. (Albertsen ym. 2021)

Vaikka Euroopassa on useita merkittäviä suljetun kierron kierrätystoimintaa harjoittavia tahoja, eivät autonvalmistajat ole toistaiseksi suuremmin osallistuneet näihin. Siten ajovoima-akut siirtyvät oletettavasti avoimeen kiertoon autonvalmistajien luopuessa niistä. Tätä tukee näkemys siitä, että materiaalin tuomat tulot kierrätysyritykselle eivät kata kierrätyksen aiheuttamia kuluja. Lisäksi erään kierrätystoimijan mukaan suurin osa kierrätetystä materiaalista on arvoltaan alempaa kuin syötemateriaali (akkuihin käytettävät materiaalit), sillä tällaiseen laatuun materiaalien puhdistaminen on liian kallista. Valmistajat kokivat, että oleellista olisi riittävä kierrätyslaitosten määrä sekä niiden läheisyys kenno- ja autonvalmistukseen, jotta suljetun kierron kierrätys olisi mahdollista. Näin kuljetuskustannukset voitaisiin minimoida. (Albertsen ym. 2021)

Autonvalmistajien näkemykset kiertotalousmalliin ja siten arvoketjuun vaikuttavista tekijöistä poikkeavat jonkin verran Wrålsenin ym. (2021) tutkimuksen asiantuntijoiden näkemyksistä. Autonvalmistajat näkivät useita sisäisiä sekä ulkoisia vaikuttavia tekijöitä. Ulkoisista tekijöistä eniten esiin nousivat taloudelliset sekä tekniset tekijät. Akkujen sekä niiden materiaalien ja sähkön hinta ja uusiokäytön markkinat vaikuttavat autonvalmistajien päätöksiin sopivasta kiertotalousmallista. Akkukemia, suunnittelu sekä kunnan tarkastelu nostettiin esiin teknisistä tekijöistä. Samalla poliittisen ohjauksen akkuarvoketjun rakentamiseen liittyen sekä kasvavan ympäristötietoisuuden uskottiin ohjaavan muutosta. Nykyisen poliittisen ohjauksen esimerkiksi tuottajavastuun kautta ei koeta olevan kannustavaa, sillä mm. keräysvaade on niin matala, että se on helppo täyttää ilman suurempaa vaivannäköä. Toisaalta tulevan akkulainsäädännön vaateet koetaan olevan mahdollisesti jopa ylikunnianhimoisia. Uusiokäyttöön liittyvän lainsäädännön selkeyttäminen uuden direktiivin myötä tuo toivottavasti vastauksia nykyiseen epäselvyyksiin koettuun tilanteeseen. Sisäisinä tekijöinä autonvalmistajat näkivät yritysstrategioiden, yritysten resurssien sekä arvoketjun ja näiden alaisten tekijöiden vaikuttavan siihen, millaista kiertotalousmallia tullaan käyttämään. (Albertsen ym. 2021)

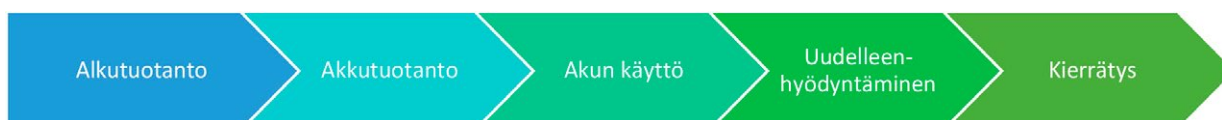
Rakentuvaan malliin liittyy vielä monia haasteita ja riskitekijöitä. Tyypillisiä esiin nostettuja tekijöitä ovat niin tutkimuksen kuin asiantuntijoiden puolelta: **lainsäädäntö ja muut normit**, tai niiden puute, epäselkeys sekä kannustavuus; **taloudelliset haasteet** eli esimerkiksi uudelleenhyödyntämisen sekä kierrätyksen kannattavuus, akkujen hinta ja valmistukseen liittyvät kustannukset (työ, energia ja raaka-aineet); **kuluttajakäyttäytyminen**, eli ovatko kuluttajat halukkaita maksamaan uudelleenhyödyntämisestä ja onko uudelleenhyödyntämiseen luottamusta mm. turvallisuuden suhteen; sekä **tekniset haasteet**, kuten tarvittavien teknologioiden puute (automaatio, kunnonarviointi, kierrätys), turvallisuus ja tiedon puute sekä muuttuvat akkukemiat. (Albertsen ym. 2021, Hua ym. 20, Hua ym. 21, Lai ym. 2021a, Wrålsen ym. 2021)

Esitetyt mallit keskittyvät suuriin linjoihin, eikä varsinaista käytännön toteutusta olla suuremmin painotettu tai yksityiskohdaisemmin tarkasteltu. (Abdelbaky ym. 2021, Albertsen ym. 2021, Bobba ym. 2019, Hua ym. 2020, Hua ym. 2021, Lai ym. 2021a, Lai ym. 2021b, Lebedeva ym. 2016, Reinhardt ym. 2019, Wrålsen ym. 2021) Koska moniin akkuketjun osa-alueisiin on laaja kirjo erilaisia menetelmiä ja tapoja toteuttaa materiaalin kiertoa, yksittäisen kattavan yleispätevän arvoketjumallin luominen on haasteellista. (Hua ym. 2020) Yleiskuva arvoketjusta kokonaisuutena kirjallisuuden perusteella on edellä kuvattu, mutta se miten kukin osa ketjusta toteutetaan, riippuu sekä akkukemiasta, akun rakenteesta, sen uudelleenhyödyntämistavasta että kierrätysmenetelmästä. Suomessa ja EU-alueella on useita toimijoita, jotka toimivat arvoketjun eri osa-alueilla. (Adolfsson-Tallqvist, Ek, Forstén, Heino, Holm, Jonsson, Lankiniemi, Pitkämäki, Pokela, Riikonen, Rinkkala, Ropponen & Roschier 2019, Lebedeva ym. 2016) On kuitenkin useita osa-alueita, joissa on tunnetusti vajeista EU-alueen sisällä. Esimerkiksi kenno- ja akkuvalmistus on vähäistä, mutta halua siirtää tuotantoa Eurooppaan on olemassa. (Lebedeva ym. 2016) Riippuvuus ulkoa tulevista raaka-aineista on merkittävä, mutta tätä pyritään lieventämään mm. uuden akkudirektiivin myötä (kierrätysmateriaalin käyttövaateet). (Komission ehdotus COM(2020) 798 final, Lebedeva ym. 2016)

Olemassa oleva yritystoiminta, infrastruktuuri, toimintatavat ja lainsäädäntö luovat kuitenkin sen pohjan, jonka päälle arvoketjua rakennetaan nyt ja tulevaisuudessa. Kokonaisuudessaan on siis olemassa jo melko selkeä runko ja yksimielisyys siitä, mitä arvoketjuun sisältyy. Kirjallisuuden perusteella muodostuu myös kuva siitä, mitä riskejä arvoketjussa nähdään erilaisten asiantuntijoiden sekä taloudellisten toimijoiden näkökulmista.

3 KIRJALLISUUDESSA ESITETYT ERILAISET TOTEUTUSTAVAT

Kuvio 1 antaa yleiskuvan kirjallisuuden perusteella hahmottuvasta akkujen arvoketjusta tarvittavien raakamateriaalien tuotannosta aina kierrätykseen, joka tuottaa syötettä takaisin alku- ja akkutuotantoon. (Abdelbaky ym. 2021, Albertsen ym. 2021, Bobba ym. 2019, Hua ym. 2020, Hua ym. 2021, Lai ym. 2021a, Lai ym. 2021b, Lebadeva ym. 2016, Reinhardt ym. 2019, Wrålsen ym. 2021) Näihin eri osa-alueisiin ja niiden erilaisiin toteutusmahdollisuuksiin tutustutaan tässä kappaleessa hieman tarkemmin. Tämän selvityksen lähtökohtana on arvoketjumallin luominen nimenomaan käytetyille akuille, joten ketjun tarkastelu on hyvä aloittaa käytöstäpoistumisvaiheesta. Kirjallisuuden pohjalta on todettava, että tutkimuksen parissa vaikuttaa olevan jonkinlainen yhteisymmärrys siitä, että akut tulisi uudelleenhyödyntää ennen akkujen kierrätystä. (Abdelbaky ym. 2021, Albertsen ym. 2021, Bobba ym. 2019, Hua ym. 2020, Hua ym. 2021, Lai ym. 2021a, Lai ym. 2021b, Lebadeva ym. 2016, Reinhardt ym. 2019, Wrålsen ym. 2021) Tämä johtuu siitä, että ajovoima-akut sisältävät tyypillisesti vielä merkittävän käyttöpotentiaalin akkujen liikennekäytön päättyessä. (Tong, Same, Kootstra & Park 2013, Tong, Fung, Klein, Weisbach & Park 2017) Samalla kierrätyksen ei uskota nykyisin menetelmin olevan kannattavaa, ainakaan kaikkien litiumioniakkukemioiden osalta, ja siten riippuvaista syötteestä (runsaasti kobolttia sisältävistä materiaaleista maksetaan, kun taas koboltittomat materiaalit ovat kuluerä kierrättäjille). (Albertsen ym. 2021, Lima, Pontes, Vasconcelos, de Araujo Silva Junior & Wu 2022) Kierrätyksen ei siis nähdä säilyttävän materiaalin arvoa. Myös kierrätyksen lopputulos on huomioonotettava asia: tuleeko palauttaminen alkuperäiseen käyttöön liian kalliiksi, vai tuottaako kierrätys tai tuotetaanko kierrätysmateriaaleista alemman jalostusasteen tuotteita.



KUVIO 1. Yleiskuva kirjallisuudessa esiintyvistä akkujen arvoketjumalleista.

3.1 KÄYTÖSTÄ POISTUVIEN AKKIJEN KERÄYS JA LAJITTELU

Ennen uudelleenhyödyntämistä tai kierrätystä akut on kuitenkin kerättävä käyttäjiltä sekä analysoitava, jotta niiden jäännöskapasiteetti saadaan määriteltyä. Jäännöskapasiteetin perusteella voidaan määrittellä akuston ja/tai sen komponenttien kunto ja siten se, miten akkua kannattaa käsitellä: uudelleenvalmistus, uusiokäyttö vai kierrätys. Uudelleenhyödynnettävät akut siirtyvät kunnostukseen, uudelleenvalmistukseen tai uusiokäytön materiaaleiksi ja palautuvat sitä kautta takaisin käyttöön. Tämän niin kutsutun toisen elämän (2nd life) jälkeen akut siirtyvät kierrätykseen, jonka tuotteena muodostuu raakamateriaaleja tai akkukemikaaleja takaisin akkujen valmistukseen, ja siten kierto alkaa alusta. Toki huonokuntoiset ja rikkiiniset akut, joita ei voida tai ei ole kannattavaa korjata, sekä vialliset akun komponentit siirtyvät kierrätykseen jo ennen uudelleenhyödyntämistä. Kierrätyksessä tuotettu raakamateriaali ja akkukemikaalit hyödynnettäisiin ideaalissa tapauksessa kennojen valmistuksessa. Kennot kootaan akustoiksi ja asennetaan sähköajoneuvoihin, joissa niitä käytetään, kunnes ne eivät enää sovellu kyseiseen käyttökohteeseen ja materiaalit siirtyvät jälleen uudelleenhyödynnettäviksi sekä kierrätettäviksi. (Hua ym. 2021) Vaihtoehtoisesti kierrätys voi tuottaa uusiotuotteita tai raakamateriaalia muihin käyttökohteisiin, jolloin suljetun kierron sijaan materiaalit liikkuvat vapaasti mihin tahansa käyttökohteeseen mahdollisen jalostusasteen ja markkinoiden mukaan. (Gaines 2014, Huang ym. 2018, Wang, An, Wen, Wang, Jiang, Hou, Yin & Liang 2021)

Yksityiskohtaisemmalla tasolla eri osa-alueet voidaan toteuttaa monin eri tavoin, mutta jo vakiintuneita järjestelmiä monille näitä on olemassa. Esimerkiksi käytöstä poistuvien akkujen keräystä varten EU-alueella on olemassa järjestelmiä tuottajavastuulainsäädännön myötä. (Direktiivi 2006/66/EY) Samaan aikaan sähköautojen ajovoima-akuista puhuttaessa autonvalmistajat usein keräävät akkunsaa takaisin mm. uusiokäyttöä varten jo nykyisellään, joten myös enemmän suljettua kiertoa muistuttaville järjestelmille on rakennettu pohjaa. (Albertsen ym. 2021) Tästä huolimatta tässä arvoketjun osassa on useita eri toimijoita, tuottajavastuuyhteisöt sekä niiden ja autonvalmistajien yhteistyökumppanit, kuten sopimuskorjaamot ja autokaupat sekä romuttamot. (Albertsen ym. 2021, Direktiivi 2006/66/EY) Käytöstä poistuvat akut siirtyvät kunnontarkastuksen kautta uudelleenhyödyntämistä varten muokkaukseen tai asennettavaksi, jos niiden kunto on riittävä uudelleenhyödyntämistä varten. (Hua ym. 2020, Hua ym. 2021, Lai ym. 2021a)

3.2 UDELLEENHYÖDYNNETTÄVIEN AKKIJEN KÄSITTELY JA HYÖDYNTÄMINEN

Uudelleenhyödyntäminen jakautuu moniin keskenään poikkeaviin toimintoihin ja tapoihin hyödyntää akun jäännöspotentiaali. Uudelleenvalmistus sekä erilaiset kunnostustoimenpiteet palauttavat akut takaisin alkuperäiseen käyttöön.

(Hua ym. 2021) Siten tällaiseen toimintaan osallistuvat toimijat ovat oletettavasti kytköksissä autonvalmistajaan, sillä ajovoima-akut eivät ole standardoituja, vaan niiden rakenne ja koostumus riippuu autosta. (Albertsen ym. 2021, Elwert ym. 2015) Näin ollen kunnostus ja uudelleenvalmistus vaativat todennäköisesti jonkinasteista yhteistyötä alkuperäisen valmistajan tai valmistuttajan kanssa. (Albertsen ym. 2021) Erityisesti akuston omistajuuskysymykset vaikuttavat liikku-
mavapauteen tällä osa-alueella. Jos akuston omistaa autonvalmistaja (akku liisataan kuluttajalle auton oston yhteydessä tai koko auto ostetaan palveluna), voi autonvalmistaja olla haluton luovuttamaan akkuja ulkopuolisille toimijoille mm. turvallisuuteen ja vastuihin liittyvien kysymysten takia (kuka on vastuussa uudelleenhyödynnettävän akun aiheuttamasta vahingosta). (Lai ym. 2021a, Martinez-Laserna, Gandiaga, Sarasketa-Zabala, Badeda, Stroe, Swierczynski & Goikoetxea 2018, Reinhardt ym. 2019) Autonvalmistajat voivat kuitenkin olla kuluttajan silmissä luotettavampia mahdollisten takuiden sekä etabloituneiden brändien johdosta, sillä uudelleenhyödynnettävien akkujen turvallisuus ja siihen/niihin luottaminen ovat oleellisia kysymyksiä kuluttajasovellusten kannalta. Sertifikaatit ja standardointi uudelleenhyödynnettävien akkujen turvallisuuden osoittamiseksi onkin yksi tärkeä kehityskohde niin uudelleenvalmistuksen kuin uusiokäytön kannalta. (Haram, Lee, Ramasamy, Ngu, Thiagarajah & Lee 2021, Hua ym. 2020, Hua ym. 2021)

Jos akut eivät kelpaa uudelleen autokäyttöön, ne saatetaan voida hyödyntää muissa käyttökohteissa. (Hua ym. 2020, Hua ym. 2021, Lai ym. 2021a) Koska käyttökohteet eivät ole suoraan kytköksissä autonvalmistajiin, voi toiminta kentällä olla tämän suhteen vapaampaa. Toki sillä rajoituksella, että vastuukysymykset ovat selviä. Uusiokäytön sovelluksia on monenlaisia, mutta ne voidaan jakaa energiantuotannossa, hitaissa ajoneuvoissa sekä työkalussa hyödynnettäviin sovelluksiin. (Hua ym. 2020, Hua ym. 2021, Tong ym. 2017) Täten potentiaalisia uusiokäytön harjoittajia voisivat olla akustoja valmistavat yritykset, energia-yhtiöt, hitaita ajoneuvoja (kaupunkikuljetusvälineet, maatalous- ja rakennuskoneet) valmistavat yritykset, työkalujen valmistajat, energiantuotantolaitteita ja -laitoksia valmistavat yritykset. Monista potentiaalisista olemassa olevista toteuttajista huolimatta myös uusille toimijoille on tilaa, sillä uusiokäyttö vaatii akkuasiantuntijuutta mm. turvallisuuden, kunnan ja käyttömahdollisuuksien arvioinnin osalta sekä uusioakuston suunnittelussa. (Hua ym. 2020, Lai ym. 2021a) Myös autonvalmistajat ovat osoittaneet kiinnostusta uusiokäyttöä kohtaan, ja ovatkin osallistuneet ja toteuttaneet erilaisten kumppanien kanssa useita erilaisia demonstraatioita Euroopassa. Erityisesti erilaiset uusiutuvan energian hyödyntämisdemonstraatiot usein energia-yhtiöiden kanssa ovat olleet tyypillisiä osallistumiskohteita autonvalmistajille. (Chen, Ma, Chen, Arsenault, Karlson, Simon & Wang 2019, Hua ym. 2021, Martinez-Lazerna ym. 2018, Pagliaro & Meneguzzo 2019, Rallo, Canals Casals, De La Torre, Reinhardt, Marchante & Amante 2020, Reinhardt ym. 2019, Tang, Zhang, McLellan & Li 2018)

Ajovoima-akkujen uudelleenhyödyntämisen kannalta on tärkeää ottaa huomioon myös akkujen omistusmallit. Koska osa autonvalmistajista ei myy akkuja vaan palvelua sähköauton hankkijalle, voi akun omistaja sen käytöstä poistuessa olla autonvalmistaja. Tällöin autonvalmistaja oletettavasti kerää akut takaisin itselleen. Toki autonvalmistajilla on ja tulee oletettavasti olemaan yhteistyökumppaneita akkujen kunnonarviointia, uudelleenhyödyntämistä ja kierrätystä varten paikallisesti eri puolilla maailmaa akkujen kuljetuksen haasteiden johdosta. Tämä ei siis sinänsä estä paikallista toimintaa, mutta tuo reunaehjoja akustojen käytettävyyteen. Omistussuhteen sekä jätteestä muodostuvien kustannuksien vuoksi autonvalmistajat eivät myöskään toistaiseksi ole ilmaisseet huolta siitä, etteivätkö akut palautuisi heidän käyttöönsä. (Albertsen ym. 2021)

3.3 KIERRÄTETTÄVÄT AKUT JA KIERRÄTYSTUOTTEET

Kapasiteetin kannalta loppuun kulutetut akut poistuvat eri käyttöportailta kierrätykseen, jossa arvon säilymistä tavoiteltaessa on tasapainoteltava kierrätyksen aiheuttamien kustannusten sekä ”jalostusasteen” kanssa. (Albertsen ym. 2021, Huang ym. 2018, Wang ym. 2021) Tuottajavastuujärjestelmän kautta kierrätyksen ei ole välttämätöntä olla kannattavaa, sillä tuottajien tulee kattaa kierrätyksen kulut EU-alueella, eikä akkuja saa hävittää muulla tavalla. (Direktiivi 2006/66/EY) Luonnollisesti akkujen monipuolisen materiaali- ja komponenttikirjon johdosta akkuja kierrättäessä voidaan erotella monenlaisia erilaisia tuotteita, joiden arvot sekä kierrätyskustannukset vaihtelevat. (Huang ym. 2018, Lima ym. 2022, Wang ym. 2021) Odotettu, ja jo nyt hinnoissa näkyvä, materiaalipula (luonnonresurssien hiipumisen tai tuotannon puutteiden johdosta) useiden tärkeiden materiaalien osalta tulee kuitenkin oletettavasti lisäämään kierrätyksen kannattavuutta tulevaisuudessa. (Dehghani-Sanij, Tharumalingam, Dusseault & Fraser 2019)

Materiaalien muuttuessa (akkukemioiden tasapaino markkinoilla, akkumateriaalikehitys, tulevaisuuden ei-litium-kemiat) uusien kierrätysmenetelmien käyttöönotto tulee olemaan tärkeää. Nykyisellään painopistettä ollaan siirtämässä helposti eroteltavista korkean arvon metalleista (koboltti, nikkeli), jotka on voitu erotella pyrometallurgisin menetelmin, kaikkia arvo-komponentteja erotteleviin menetelmiin, erityisesti litiumin takia. Tällaiset menetelmät ovat usein hydrometallurgisia. (Hua ym. 2020, Winslow, Laux & Townsend 2018) Toisaalta pyrometallurgiset prosessit ovat helposti teollisessa mittakaavassa toteutettavia, toisin kuin syötespesifiset menetelmät, kuten tietynlaisille syötteille optimoidut hydrometallurgiset menetelmät. (Lima ym. 2022) Sekalaisen syötteen kierrätys ei kuitenkaan ole järkevää optimaalisen materiaalikierron kannalta, sillä sekalaisista syötteistä muodostuu epäpuhtauksia sisältäviä tuotteita. (Winslow ym. 2018) Samalla suorakierrätysmenetelmät (menetelmät, joissa elektrodien materiaalit pyritään säilyttämään ehjinä ja kunnostamaan uudelleenkäyttöä

varten) ovat tulossa myös teolliseen kierrätykseen. (Akkuser, Duesenfeld, Hua ym. 2020, Huang ym. 2018, Liu ym. 2019) Eri materiaalien suhteellinen osuus kierrätysmassassa, kierrätyksen kustannukset ja menetelmän soveltuvuus erilaisille materiaaleille ovat merkittäviä tekijöitä kierrätyksen kannattavuuden kannalta. (Lima ym. 2022) Samoin tulevaisuuden litium- sekä muut tulevaisuuden akkukemiat, joiden käyttöönotto tulee muuttamaan kierrätykseen tulevan materiaalin koostumusta. Tämä seurauksena suositetaan tulevaisuudessa mahdollisesti menetelmiä, joita voidaan säätää syötteen mukaan optimaalista talteenottoa varten, sillä monipuolinen akkukemiakenttä tuskin yksinkertaistuu tulevaisuudessa.

Kierrätys ja se mihin asti prosessi sisältyy tämän toiminnan alle, voi olla vaihtelevaa. Kierrätys voi tuottaa pelkää raakamateriaalia, jota voitaisiin syöttää olemassa oleviin metallinjalostusprosesseihin raaka-aineena malmin rinnalla. (Hua ym. 2020, Winslow ym. 2018) Yhtä hyvin kierrätys voi tuottaa raakakemikaaleja tai akkukemikaaleja, jotka voidaan taas syöttää akkukemikaalien sekä kennokomponenttien valmistukseen. Kierrätys voisi tuottaa jopa suoraan elektrodimateriaaleja (mm. suorakierrätysprosessit). (Hua ym. 2020, Huang ym. 2018, Liu ym. 2019) Raakamateriaalin jalostus sekä kemikaali- ja komponenttituotanto voi kuitenkin yhtä hyvin tapahtua erillisten toimijoiden toimesta. Valmistajasta huolimatta valmistetut akkukemikaalit (mustanmassan komponentit ja sidosaineet) ja komponentit (virrankeräinten foliit, kuoret, separaattorit ym.) siirtyvät kennonvalmistukseen, ja kennot siirtyvät edelleen akustojen valmistukseen, akkujen asennukseen käyttökohteeseen ja edelleen akkujen käyttöön. (Hua ym. 2020)

Kennojen valmistus, akkujen kokoaminen ja käyttötarkoitusta varten rakentaminen vaativat paljon suunnittelua, ja suunnittelu onkin laaja ja merkittävä osa arvoketjua ja arvon muodotusta akuissa. Esimerkiksi sähköautojen ajovoima-akkujen valmistuksessa on eri strategioita, jotka vaativat erilaisia toimenpiteitä valmistuksen kannalta. Akustoja suunniteltaessa voidaan lähteä siitä, että valmistetaan akkuun sopivia kennoja, maksimoiden mm. tilankäytön mahdollista vapautta mm. kennojen muodon suunnittelun kautta (pussi ja prismaattisia kennoja käyttävät automerkit, kuten BMW ja Nissan). Vastaavasti voidaan katsoa valmistusta eri näkökulmasta ja valita tyyppillinen standardikenno, ja rakentaa akku näiden optimaalisen käytön kannalta (Tesla). (Elwert ym. 2015) Ajovoima-akkujen tapaan myös uusiokäyttö vaatii suunnittelua. Miten akustot hyödynnetään, mitä rajoitteita ja vaatimuksia akustolle on tarve asettaa, jotta ne toimivat käyttökohteessa, ovat kysymyksiä, johon suunnittelu pohjautuu. Esimerkiksi autoissa akkujen halutaan olevan mahdollisimman kevyitä sekä pieniä, jotta energiaa kuluisi sen liikutteluun mahdollisimman vähän ja se veisi mahdollisimman vähän tilaa (energiatiheys tärkeää), samalla akun tehon tuotannon on oltava korkea (kiihdyttäminen). (Canals Casals, Barbero & Corchero 2019) Uusiokäytössä määreet ovat erilaisia. Esimerkiksi paikallaan olevassa energian varastointisovelluksessa akun ulkomiotoilla tai painolla ei ole juurikaan väliä, sillä niitä ei tarvitse liikuttaa, ja niiden käyttötila on mahdollista valmistaa akun vaatimusten mukaan. Jos akkuja taas käytetään matalien nopeuksien liikennevälineissä, koolla sekä painolla on jälleen merkitystä, mutta kiihtyvyyden ei ole yhtä oleellinen ominaisuus kuin sähköautoissa käytön erilaisen luonteen johdosta.

Tulevaisuuden uudet akkukemiat ja niiden käyttöönotto voivat muuttaa akku- sekä kennotuotannon toimintakenttää radikaalistikin, vaikka usein uudet teknologiat pyritään kehittämään niin, että mm. olemassa olevia laitteistoja pystytään käyttämään, mahdollistaen kohtuullisen kivuttoman muutoksen teknologioiden välillä valmistusnäkökulmasta. Jo nykyisellään tasapainon siirtyminen eri litiumioniakkukemioiden välillä muuttaa materiaalien arvoa ja käsittelymahdollisuuksia. (Huang ym. 2018, Lima ym. 2022) Markkinat monenlaisten eri sähköisten ja akkutoimisten laitteiden osalta kasvavat jopa räjähdysmäisesti, joten akkujen käytölle ei näy esteitä kysynnän puolesta. (Shafique, Raifiq, Azam & Luo 2022) Myös käytöstä poistuvien akkujen keräys on kohtuullisen hyvällä tasolla Euroopassa, kun pitkäjänteisen työn tuloksena on luotu keräysjärjestelmiä ja alueella toimii monia vakiintuneita kierrätystoimijoita. (Eurostat 2021, Meshram, Pandey & Mankhand 2014, Winslow ym. 2018)

3.4 ARVOKETJUN TOIMIJAT JA KÄYTÄNNÖN TOTEUTUS ERI OSA-ALUEILLA NYKYISELLÄÄN SEKÄ TULEVAN LAINSÄÄDÄNNÖN MUKANAAN TUOMAT MUUTOKSET

Arvoketjuun liittyvät toimijat ovat odotettuja: autokorjaamot, romuttamot, autokaupat, autonvalmistajat, akkuihin tarvittavien materiaalien (kemikaalit, polymeerit, metallit, elektroniikka), kennojen sekä akkujen valmistajat, uudelleenhyödyntämiseen sekä kierrätykseen liittyvät toimijat. Arvoketjuun liittyy kuitenkin kiinteästi myös toimijoita, jotka eivät ole suoraan tekemisissä akkuarvoketjun osa-alueissa, mutta joiden toiminta liittyy jollain tapaa mm. akkujen hyödyntämiseen ja niiden välittämiseen sekä kuljettamiseen. Monenlainen suunnittelu-, kehitys- ja tutkimustoiminta on myös oleellista kehittyvän akkukentän arvoketjussa, ja tähän työhön osallistuvat niin tutkimuslaitokset kuin yritykset.

Käytännön tasolla nykyisellään keräys toteutetaan tuottajavastuujärjestöjen sekä autonvalmistajien toimesta, välillisesti tähän ketjuun toki oletettavasti liittyvät korjaamot ja romuttamot, joille epäkunnossa olevat akut päätyvät. Nämä kerätyt akut päätyvät kierrätykseen, jossa ne käsitellään käsin tai akut päätyvät uusiokäyttöön autonvalmistajien kautta tai uusiokäytettäväksi kokeilujen tai startup-toimijoiden kautta. Kierrätystoiminta on niin ikään melko vakiintunutta, vaikka kapasiteetin kasvua vaaditaankin ja uusia yrityksiä on muodostunut uuden teknologian myötä. (Duesenfeld, Li-Cycle) Kierrätyksessä akut käsitellään pääasiassa pyro- ja hydrometallurgisilla menetelmillä ja kierrätystuotteet eivät joidenkin mukaan ole käytettäviä akkujenvalmistukseen. Akkukemikaalien, kennojen akkujen ja autojen tuotanto on vakiintunutta,

vaikkei kennojen, akkujen, tai niihin tarvittavien materiaalin suhteen olekaan keskittynyt Eurooppaan. Akkujen markkinoille saattaminen, käyttö ja käytön jälkeinen keräys tapahtunee tulevaisuudessa jo luotujen kanavien kautta (tuottajavastuuyhteisöt, autokaupat, korjaamot/romuttamot, kuluttajat). (Albertsen ym. 2021, Direktiivi 2006/66/EY)

Uuden lainsäädännön tuomat muutokset voivat kuitenkin siirtää painopistettä Euroopan suuntaan, sillä tuleva direktiivi asettaa merkittäviä tavoitteita mm. kierrätysmateriaalien käytön sekä tuotantoketjun läpinäkyvyyden suhteen. Tämän seurauksena sekä myös tahtotilan mukaisesti akkukemikaalien ja -materiaalien tuotantoa sekä kenno- ja akkutuotantoa odotetaan siirtyvän EU-alueelle. Tuleva lainsäädäntö asettaa kierrätysvaateita, joten kierrätyksen on kehityttävä siihen suuntaan, että akuista otetaan talteen myös muu kuin helposti eroteltavat materiaalit. Samalla kierrätystä kuitenkin myös edistetään parantuvien merkintöjen myötä, mikä helpottaa akkujen lajittelua ja parantaa kierrätysjakeiden puhautta ja edelleen materiaalien erottelua toisistaan. Myös vastuukysymykset selkiytyvät uuden lainsäädännön myötä uudelleenhyödyntämisen osalta, ja laki tulee velvoittamaan akkujen valmistajat tai valmistuttajat jakamaan oleellista tietoa uudelleenhyödyntämisestä ja kierrätystä harjoittaville toimijoille (tietoa purkamisesta, akun käyttöhistoriasta jne.). (Komission ehdotus COM(2020) 798 final)

Uusi lainsäädäntö ratkaisee monia ongelmia, haasteita ja avoimia kysymyksiä, mutta on myös ongelmia, joihin se ei vastaa, sekä haasteita, joihin lainsäädännöllä ei voida puuttua. Tulevan nopeasti kasvavan akkujättemäärän seurauksena uskotaan, ettei kierrätyksessä ole riittävästi kapasiteettia vastaamaan kierrätystarpeeseen. Myös tämän vuoksi uudelleenhyödyntäminen on koettu hyödylliseksi. (Skeete ym. 2020, Yang ym. 2020) Jättemäärän lisäksi akustot itsessään ovat haaste kierrätysjärjestelmälle, sillä akustot täytyy purkaa ennen kierrätysprosesseihin syöttöä. (Hua ym. 2020) Akustojen purkaminen ei kuitenkaan ole automatisoitua, lisäksi se on haastavaa ja vaarallista työtä, eli vaatii runsaasti osaavaa työväkeä sekä erikoistyötiloja ja -välineitä. (Hua ym. 2020, Lai ym. 2021a) Suurimmat haasteet käytännössä ovat kierrätyksen lisäksi uudelleenhyödyntämisen ja kierrätyksen saralla. Uudelleenhyödyntäminen on vielä lapsenkengissä. Tuoreena lisäyksenä arvoketjuun uudelleenhyödyntäminen on vielä uutta toimialaa monille arvoketjun jo vakiintuneille jäsenille, kuin myös tämän osa-alueen myötä ketjuun liittyville toimijoille. Tämän seurauksena toiminta ei luonnollisestikaan ole vielä vakiintunutta tai laajaa. Samalla uudelleenhyödyntämisen taloudellisen kannattavuuden uskotaan olevan hyvin tapauskohtaista ainakin vielä nykyisellään. Lisäksi vakiintuneita toimintamalleja, standardeja tai muuta yleistä normistoa ei ole vielä muodostunut. (Haram ym. 2021, Hua ym. 2021)

4 ERILAISTEN ARVOKETJUN OSA-ALUEIDEN TOTEUTETTAVUUS SEKÄ ARVOKETJUUN POTENTIAALISESTI OSALLISTUVAT TOIMIJAT SUOMESSA

Suomi on pienehkö toiminta-alue, eikä johtava maa sähköautojen käytössä, joten akkujen käsittelyn kannattavuuden kannalta tarpeeksi suurten käsittely-yksiköiden luominen voi olla haastavaa materiaalin riittävyys huomioiden. (EAFO) Siten keskitetty malli voisi olla lupaava, kun kaikki käytössä oleva materiaali päätyisi samaan käsittelyyn. Ajovoima-akkujen keräys on kuitenkin hajautettua ja siihen osallistuu useita toimijoita jo nykyisellään. Eri tavoin ja monien toimijoiden toimesta kerätyt akut täytyisi keskitetyssä mallissa toimittaa keskuslaitokselle, joten kuljetuskustannuksia muodostuisi runsaasti, ei vain itse kuljettamisesta vaan myös näiden vaarallisiksi luokiteltujen materiaalin vaatimien erikoisjärjestelyiden vuoksi (erikoiskalusto, pakkaaminen akkulaatikoihin, muut kuljetusrajoitukset). Samalla akut, joiden kunto on tuntematon, ovat riskitekijä kuljetuksessa, ja ne voivat aiheuttaa vaaratilanteita. Toisaalta samaan aikaan kuluttaja-akkujen ja -paristojen keräys on hajautettua ja kierrätys keskitettyä. Tämä materiaali tosin poikkeaa akustoista, sillä koko materiaali on kierrätettävää, kun taas akustoista jopa merkittävä osa voi kuitenkin olla hyödynnettävissä uudelleen. Tällöin keskitetyn akustoja kierrättävän laitoksen tulisi toimia niin kunnan arvioinnin, uudelleenhyödyntämistä varten valmistamisen kuin kierrätyksen saralla, tai lähettää materiaalia muualle jatkotoimenpiteisiin, lisäten kuljetustarvetta, mikäli laitos hoitaa vian osaa käyttöpotentiaaliltaan monipuolisen massan käsittelyyn tarvittavista tehtävistä. Toki keskitetty toiminta voi koskea vain tietyt osa-alueita, kuten kierrätystä, jolloin esimerkiksi akkujen kunnonarviointi ja uudelleenhyödyntämistoimenpiteet sekä purkaminen voitaisiin tehdä paikallisesti siellä, minne käytöstä poistuvat akut ensimmäiseksi päätyvät, eli korjaamoissa ja romuttamoissa. Tällainen osin hajautettu malli vähentäisi vaarallisen materiaalin siirtelyä, kuljetuskustannuksia ja mahdollistaisi paikallista liiketoimintaa eri puolella Suomea. Kokonaan hajautettu malli, jossa kaikki toiminnot olisivat paikallisia, on lähitulevaisuudessa haastavaa pienen sähköautomäärän vuoksi, mutta myös mahdollisuus, mikäli sähköautot muodostavat tulevaisuudessa valtaosan autokannasta. Osin hajautettu malli voisi osoittautua Suomessa parhaaksi vaihtoehdoksi nykytilanteessa.

Hajautetun toiminnan ei kuitenkaan välttämättä tarvitse olla kiinteää infrastruktuuria, vaan siirrettävät analysointi- ja käsittely-yksiköt ovat potentiaalinen vaihtoehto pitkien välimatkojen Suomessa. Tällaiset liikkuvat yksiköt mahdollistaisivat myös toiminta-alueen laajentamisen rajojen ulkopuolelle, kuten Ruotsiin ja Norjaan tai Baltian maihin. Tämä voisi olla hyödyllistä varsinkin lähitulevaisuudessa, kun akustoja ei odoteta Suomessa syntyvän vielä suuria määriä. Tällaista liikkuvaa toimintaa on ideoitu CarE-Service -projektissa, jossa akuston kunnan arviointi ja purkaminen olisivat liikkuvia yksiköitä. Nämä siirrettävät yksiköt on rakennettu ajoneuvoyhdistelmään liitettävään perävaunun päälle, mahdollistaen niiden siirrettävyys. (CarE-Service) Tällöin purkamista ja kunnontarkastelua voitaisiin myydä palveluna mm. autokorjaamoille ja romuttamoille. Kunnonarviointia palveluna tarjoaa jo nykyään Pohjoismaissa Stena Recycling, joka toimii myös Suomessa. (Stena Recycling) Tällaiset mobiilit ratkaisut lisääisivät kuljetuksen turvallisuutta sekä vähentäisivät tarvittavaa kuljetustilaa varotoimien tarpeen vähentyessä. Samalla esimerkiksi uudelleenhyödyntämiseen sopimattomia akkuja ei kuljetettaisi turhaan uudelleenhyödyntämiseen muokkausta harjoittaville toimijoille, vaan ne voitaisiin suoraan ohjata kierrätykseen tai toisinpäin, vähentäen materiaalin kuljetuskilometrejä.

Erilliset analysointipalvelut mahdollistaisivat myös matalamman kynnyksen paikallisille pienemmille yrityksille osallistua arvoketjuun uudelleenhyödyntämisvaiheessa, kun diagnosointi- ja arviointilaitteistojen hankkiminen ei ole suora vaatimus toimintaan osallistumiselle. Toimijat voivat tällöin ostaa uudelleen hyödyntämiseen kelpaavat akut tai niiden osia sekä näiden kunnonarviot uudelleenhyödyntämisen vaativalta kunnostusta varten analyysipalveluita tarjoavalta toimijalta, tai tällaisen yksikön palveluita ostaneelta keräystä toteuttavalta toimijalta (esimerkiksi autokaupat ja -korjaamot).

Kun akustojen käyttöpotentiaali on täytetty uudelleenhyödyntämisen myötä, arvon säilyttäminen siirtyy kierrätyksen kontolle. Tehokas ja toimiva kierrätys säilyttää materiaalin uutta vastaavana korkealla kierrätysasteella minimoiden jätemateriaalin. Kuten edellä on esitetty, myös kierrätystä avustamaan voidaan tuoda liikkuvia toimijoita. Suomessa on kuitenkin jo nyt rakennettua ja rakenteilla olevaa kierrätyskapasiteettia, jonka syötemäärät ylittävät Suomesta saatavan materiaalin määrän. Lisäksi käytössä on ja tulee olemaan modernia teknologiaa, sillä Akkuser harjoittaa mekaanista kierrätystä ja Fortum mekaanista ja hydrometallurgista kierrätystä. (Akkuser, Fortum 2021 a, Fortum 2021b) Ajovoima-akut ovat tässä vaiheessa suuntaamassa Fortumin laitokselle. (Fortum 2021a) Akkuser puolestaan käsittelee kuluttajilta palautuvia kannettavia akkuja ja paristoja. (Paristokierrätys) Koska olemassa olevaa kierrätystoimintaa on ja sen kapasiteettia kasvatetaan, tulee tämä järjestely olemaan tulevaisuudessa osa arvoketjua. Tulevaisuuden uudet kierrätysmenetelmät ja akkukemiat tuovat tullessaan uusia toimijoita ja ratkaisuja kentälle, mutta toistaiseksi nämä pitkän linjan toimijat osallistuvat oletettavasti kierrätykseen Suomessa ja ovat siten pääasiallisia toimijoita kierrätyksen arvoketjussa. Kierrätys tuottaa materiaalia takaisin ketjun alkupäähän. Kierrätetty materiaali voidaan palauttaa takaisin kemikaalituotantoon tai tuotteesta riippuen suoraan valmistukseen. Suomessa toimii raakamateriaalituotannon (koboltti- ja tuleva litiumkaihos) lisäksi jo monia akkuihin käytettävien kemikaalien tuottajia (Umicore, Freeport, Terrafame, Keliber), jotka voisivat vastaan ottaa näitä raaka-aineita. Samalla tulevaisuudessa on odotettavissa, että myös akkutuotantoa tulee Suomesta löytymään, jolloin arvoketju on mahdollista sulkea Suomen sisällä. (Adolfsson-Tallqvist ym. 2019, Terrafame, Keliber 2022a)

Käytännön tasolla koko ketju muodostuu monista eri toimijoista, joiden toiminta liittyy yhteen tai useampaan edellä esitetyistä arvoketjun osa-alueista. Se kuinka monta toimijaa ja millaisia kokonaisuuksia he hoitavat, riippuu tietysti yrittäjistä ja yrityksistä, sekä niiden kiinnostuksista ja toiminnasta, markkinoista, lainsäädännöstä sekä muista oleellisista tekijöistä. Tästä huolimatta tapoja on monia ja näitä pyritään pohtimaan seuraavaksi yhdeksän eri arvoketjun osa-alueen kautta. Nämä osa-alueet ovat keräys, kunnontarkastelu, uudelleenhyödyntäminen, kierrätys, raakamateriaalit, akkukemikaalit, kennojen valmistus, akkujen valmistus ja akkujen käyttö (KUVIOT 2-11). (Adolfsson-Tallqvist ym. 2019, Harju 2022, HSL, Paristokierrätys) Kuvioihin 2-11 kerätyt esimerkkiyritykset on kerätty eri lähteistä täydentäen niitä Battery Recycle – Akkupuisto -hankkeen verkostoon kuuluvilla yrityksillä. Näillä yrityksillä on toimintaa Suomessa ja akkujen osalta kyseiset yritykset toimivat joko aktiivisesti tai suunnittelevat toimintaa osana arvoketjua.

KÄYTÖSTÄ POISTUVAT AKUT (keräys)	
<p>Toimijat: Useita toimijoita, jotka vastaanottavat käytöstä poistuvia akustoja</p> <ul style="list-style-type: none"> • Korjaamot • Autokaupat • Romuttamot 	<p>Toiminta: Keräys ja eteenpäin välittäminen, mahdollisesti kunnan tarkastelu ja kunnostus alkuperäiseen käyttöön</p>
<p>Esimerkkitoimijat:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suomen autokierrätys 	<p>Liittyvä toiminta: Ketjun sisällä</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kunnonarviointi • Uudelleenhyödyntäminen

KUVIO 2. Akkujen keräykseen liittyvä yritystoiminta.

Käytöstä poistuvat akut on laajennetun tuottajavastuun kautta lain mukaan kerättävä ja kierrätettävä. (Direktiivi 2006/66/EY) Uusi akkudirektiivi lisää myös uudelleenhyödyntämisen tämän vastuun alaiseksi. (Komission ehdotus COM(2020) 798 final) Tämä varmistaa, että käytöstä poistuvat akut tulee kerättyä, vaikka niiden valmistajat eivät siitä olisi kiinnostuneita muuten (eivät ole kiinnostuneita itse hyödyntämään uudelleen tai kierrättämään suljetussa kierrossa takaisin valmistajalle). Suomessa ajovoima-akkujen keräystä hoitaa tuottajavastuuyhteisönä Suomen Autokierrätys Oy. (Suomen autokierrätys) Keräys on nivelkohta akun ensimmäisen elämän ja uudelleenhyödyntämisen sekä toisen elämän ja kierrätyksen välissä. Suorassa yhteydessä kuluttajalta keräiltävien akkujen kanssa ei kuitenkaan ole tuottajayhteisö, vaan sen yhteistyökumppanit, kuten autokaupat, sekä muut toimijat, kuten korjaamot ja romuttamot. Keräys, vaikkakin kuluerä, on välttämätön osa arvoketjua, sillä muuten akkujen sisältämä potentiaalia ei saada käyttöön ja siten arvoa ei saada säilytettyä. Kuviossa 2 on esitetty käytöstä poistuviin akkuihin liittyviä toimijoita ja toimintoja.

Kunnonarviointi (KUVIO 3) on keräystä seuraava vaihe, joka voi toiminnan puolesta olla yhdistetty mm. uudelleenhyödyntämistä varten muokkaamiseen. Kunnonarviointi voi olla myös erillinen toiminto tai yhdistyä keräykseen liittyvien toimijoiden liiketoimintaan (autokaupat, korjaamot, romuttamot). Kunnonarvioinnin avulla arvioidaan akun jäljellä olevaa arvoa ja sitä, mikä on järkevä seuraava piste/toiminto yksittäiselle akulle ja sen arvon säilyttämiselle. Kunnonarviointia voidaan tuottaa palveluna tai kunnonarviointi voi olla osa käytöstä poistuvia akkuja keräävää tai käsittelevää liiketoimintaa. Kuntoa arvioivat tahot voivat mm. ostaa akut ja myydä niitä eteenpäin, toimien niiden välittäjinä soveltuviin jatkotoimenpiteisiin.

KUNNONARVIOINTI

Toimijat:

Yksi tai useita toimijoita, potentiaalisesti liikkuvaa toimintaa.

- Korjaamot
- Autokaupat
- Romuttamot

Toiminta:

Akkujen jäännöskapasiteetin arviointi palveluna tai osana uudelleenhyödyntämis- ja/tai kierrätystoimintaa.

Esimerkkitoimijat:

- Akkurate

Liittyvä toiminta:

Ketjun sisällä

- Autokorjaamot
- Uudelleenhyödyntäminen
- Kierrätys

KUVIO 3. Akkujen kunnonarviointiin liittyvä yritystoiminta.

Uudelleenhyödyntämiseen kelpaavat akut päätyvät sitten toimijoille, jotka voivat nämä akut kunnostaa, korjata, uudelleenvalmistaa tai muokata uusiokäyttöä varten, siten että akkujen arvo saadaan maksimoitua ja säilytettyä ensimmäisen elämän jälkeen mahdollisimman pitkään (KUVIO 4). Kaikki edellä mainitut toiminnot voivat olla erillisten toimijoiden tuottamia, joten tämä ketjun linkki on melko leveäläinen. Tällainen toiminta voisi olla erillistä toimintaa taikka esimerkiksi korjaamoiden tai akkuvalmistuksen sivutoimi. Autojen valmistajat ovat oletettavasti kiinnostuneita palauttamaan autokäyttöön sopivat akut omiin autoihinsa, ja siten autonvalmistajat tai niiden yhteistyökumppanit olisivat looginen uudelleenkäyttöön muokkaaja. Materiaali, mikä siirtyy uusiokäyttöön, siirtyisi mahdollisesti autonvalmistajien kannalta ulkopuolisille toimijoille, jotka voisivat muokata akkuja erilaisiin uusiokäyttökohteisiin, kuten energian varastointiin, matalien nopeuksien liikennevälineisiin, työkoneluihin jne., ja myydä akut eteenpäin tai tarjota akkujen käyttöä palveluna. Uudelleenhyödyntämistä varten muokkauksesta akut siirtyvät käyttöön, jonka päätyttyä akut mitä todennäköisimmin siirretään suoraan kierrätykseen, vaikka teoriassa tarpeeksi hyväkuntoiset osat voidaan edelleen hyödyntää uudelleen.

UUDELLEENHYÖDYNTÄMINEN

Toimijat:

Useita toimijoita, voivat erikoistua

- Uudelleenvalmistus
- Uusiokäyttö

Toiminta:

Akkujen uudelleenhyödyntämisen mahdollistaminen

- Toimivien osien erottelu
- Kunnostaminen ja korjaaminen
- Uudelleenvalmistaminen
- Uusioakkujen rakentaminen

Esimerkkitoimijat:

- Cactos
- Pistokeyhybridi.fi
- Hellen
- Fortum
- Wärtsilä
- Merus Power
- Akkurate
- ABB

Liittyvä toiminta:

Ketjun sisällä

- Autokorjaamot
- Uudelleenhyödyntäminen
- Kierrätys

Ketjun ulkopuolella

- Autoteollisuus/ muu kulkuväline
- Energian tuotanto
- Varavirran säilöntä

KUVIO 4. Akkujen uudelleen hyödyntämiseen liittyvä yritystoiminta.

Kierrätykseen pitäisi arvon säilymisen kannalta päätyä vain käyttökelvottomat akut. Kierrätyksen parissa toimivat kierrätysyritykset (KUVIO 5), jotka voivat olla kytköksissä raaka-ainevalmistukseen ja tuottaa joko raakamateriaaleja tai akkukemikaaleja prosesseissaan. Kierrätys kerää talteen akkujen sisältämien materiaalien arvon, kun akulla ei ole enää käyttöarvoa energian varastoinnissa. Kierrätys on melko itsenäinen ja selkeärajainen toiminto arvoketjussa, johtuen osin prosessin erilaisuudesta ja osin siitä, että kierrätys on loppujen lopuksi melko hyvin vakiintunut kenttä. Samalla kierrätys on lakisääteistä, joten kannattamattoman kierrätyksen kustannukset kattavat tuottajavastuulla akkujen markkinoille tuojat. Kierrätystoimijat voivat potentiaalisesti toimia yhdessä kennovalmistajien ja muiden toimijoiden kanssa muodostaen suljettuja materiaalikiertoja.

KIERRÄTYS	
<p>Toimijat: Useita kierrätystoimijoita, voivat erikoistua esim. tiettyyn materiaaliin tai akkutyypin</p>	<p>Toiminta: Akkujen kierrätys ja kierrätystuotteiden valmistus.</p>
<p>Esimerkkitoimijat:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Akkuser • Fortum • Stena Recycling 	<p>Liittyvä toiminta: Ketjun sisällä</p> <ul style="list-style-type: none"> • Uudelleenhyödyntäminen • Raaka-aineiden valmistus • Kennojen valmistus

KUVIO 5. Akkujen kierrätykseen liittyvä yritystoiminta.

Kierrätys voi akkuraakamateriaalin lisäksi tuottaa uusiutuotteita tai niiden raakamateriaaleja. Uusiutuotteet ovat tuotteita, jotka poikkeavat kierrätykseen tulevasta materiaalista. Esimerkiksi suomalainen TraceGrow Oy tuottaa alkaliparistojen mustasta massasta lannoiteliuoksia maatalouskäyttöön. Samaan tapaan myös litiumioniakkujen komponenteista voidaan potentiaalisesti valmistaa uusiutuotteita muuhun kuin akkukäyttöön. Esimerkiksi näistä akuista löytyville litiumille, koboltille sekä nikkellille on runsaasti muitakin käyttökohteita. Kuviossa 6 on esitetty uusiutuotteisiin liittyvää toimintaa.

UUSIOTUOTTEET	
<p>Toimijat: Useita toimijoita eri teollisuuden aloilta</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kemianteollisuus • Metalliteollisuus 	<p>Toiminta: Akkujen kierrätysmateriaaleista uusiutuotteiden tuottaminen</p>
<p>Esimerkkitoimijat:</p> <ul style="list-style-type: none"> • TraceGrow (alkaliparistot) 	<p>Liittyvä toiminta: Ketjun sisällä</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kierrätys <p>Ketjun ulkopuolella</p> <ul style="list-style-type: none"> • Uusiutuotteen käyttäjät

KUVIO 6. Akkujen ja paristojen uusiutuotteisiin liittyvää liiketoimintaa.

Raaka-aineiden valmistus ja jatkojalostus ottaa syötteitä kaivosteollisuudelta sekä kierrätyksestä, ja toimijat voivatkin toimia kaikilla näillä aloilla. Akkukemikaalit ovat kuitenkin erikoiskemikaaleja, joilla on korkeat puhtausvaatimukset, joten niiden tuotanto ei ole aivan yksinkertaista, eikä siten myöskään halpaa. Toimintaa Suomessa on jo nykyisellään raaka-aineiden sekä akkukemikaalien osalta. Samalla on suunnitteilla myös uusia laitoksia mm. akkukemikaalien sekä katodimateriaalien valmistukseen liittyen (KUVIOT 7 ja 8). Kennojen osien tai kennon valmistukseen tarvittavien komponenttien, kuten kuorten tai virranjohdinverkkojen sekä erilaisten kalvojen valmistus on myös osa akkumateriaalienttä.

RAAKA-AINEET

Toimijat:

Useita toimijoita eri toimialoilta

- Kaivosteollisuus
- Kierrätysyritykset

Toiminta:

Akkujen raaka-aineiden tuottaminen

Esimerkkitoimijat:

- Finncobalt
- Keliber
- Terrafame
- Akkuser
- Fortum

Liittyvä toiminta:

Ketjun sisällä

- Kierrätys
 - Kennojen valmistus
- Ketjun ulkopuolella
- Kaivosteollisuus

KUVIO 7. Akkujen raaka-ainetuotantoon liittyvä yritystoiminta.

AKKUKEMIKAALIEN VALMISTUS

Toimijat:

Useita toimijoita

- Kaivosteollisuus
- Kierrätysyritykset
- Kemianteollisuus

Toiminta:

Akkujen valmistuksessa käytettävien elektrodimateriaalien ja niiden esiasteiden valmistus, sekä muiden tarvittavien materiaalien valmistus (separaattorit, elektrolyytit jne.)

Esimerkkitoimijat:

- Umicore
- Freeport Cobalt (nyk. Jervois)
- BASF
- Fortum
- Nornickel
- Keliber
- Terrafame
- Boliden

Liittyvä toiminta:

Ketjun sisällä

- Kierrätys
 - Kennojen valmistus
- Ketjun ulkopuolella
- Kaivosteollisuus

KUVIO 8. Akkukemikaalien valmistukseen liittyvä yritystoiminta.

Kennojen valmistus tapahtuu usein erillään akkujen valmistuksesta, sillä se on oma erikoisalansa. Tämä valmistus voi integroitua mm. autoteollisuuden kanssa siten, että koko suuri osa arvoketjusta on yhteydessä autoteollisuuteen suoraan. Oletettavaa kuitenkin on, että kennovalmistajia tulee olemaan lukuisia ja ne ovat luonnollisesti kytköksissä erilaisiin akkujen käyttökohteisiin sekä raaka-ainetuotantoon. Joitain kennovalmistajia löytyy Suomesta jo nyt (KUVIO 9).

KENNOJEN VALMISTUS

Toimijat: Useita toimijoita	Toiminta: Kennojen valmistus akustojen valmistukseen, elektroniikkaan ja kuluttajille.
Esimerkkitoimijat: <ul style="list-style-type: none">• Broadbit• Geysler batteries	Liittyvä toiminta: Ketjun sisällä <ul style="list-style-type: none">• Kierrätys• Akkukemikaalien valmistus• Akustojen valmistus Ketjun ulkopuolella <ul style="list-style-type: none">• Kuluttajaelektronikan valmistus

KUVIO 9. Kennojen valmistukseen liittyvä yritystoiminta.

Moduulien ja akustojen valmistus liittyy tyypillisesti samaan toimijaan, sillä moduulit on suunniteltu kyseiseen akustoon ja akusto taas tiettyyn automalliin tai muuhun käyttökohteeseen, joten toiminnot liittyvät kiinteästi toisiinsa ja läheisesti akkukäyttöisten tuotteiden valmistukseen. Akut voidaan koota suoraan näiden tuotteiden valmistajan toimesta tai ns. sopimusvalmistajien kautta. Akkujen valmistukseen liittyy kiinteästi niiden suunnittelu ja testaus varsinaisen kokoamisen lisäksi. Tätä kautta akkuja valmistavat tahot voivat olla kytköksissä myös uudelleenhyödyntämiseen, kennovalmistuksen sekä akkujen käytön rajapinnan lisäksi, kuten kuvioista 10 nähdään.

AKUSTOJEN VALMISTUS

Toimijat: Useita toimijoita	Toiminta: Akustojen kokoaminen, suunnittelu, testaus
Esimerkkitoimijat: <ul style="list-style-type: none">• Valmet Automotive• Broadbit• Geysler batteries	Liittyvä toiminta: Ketjun sisällä <ul style="list-style-type: none">• Kennojen valmistus• Akustonkäyttö• Akustojen uudelleenhyödyntäminen Ketjun ulkopuolella <ul style="list-style-type: none">• Autoteollisuus

KUVIO 10. Akkujen ja akustojen valmistukseen liittyvä yritystoiminta.

Akuston käyttökohteet ensimmäisen elämän aikana keskittyvät lähinnä autokäyttöön, kun ideana on jäsentää ajovoimaa akustojen arvoketjua. Tämä ei kuitenkaan tarkoita pelkkiä henkilöautoja, eikä poissulje muita kulkuvälineitä kuten moottoripyöriä tai skoottereita. Henkilö- ja kuljetusajoneuvoista saatavat suuret akut ovat kiinnostava ja suurivolyyminen akkujen lähde uudelleenhyödyntämiselle sekä kierrätysmateriaaliksi, verrattuna mihin tahansa muuhun materiaalilähteeseen, josta käytettyjä akkuja saadaan. Akuston käyttöä on myös sen uudelleenhyödyntäminen osin tai kokonaan muissa kohteissa. Akkujen uudelleenhyödyntämiselle löytyy monenlaisia sovelluksia. Matalan nopeuden ajoneuvoja voivat olla kaupungeissa käytettävät pienet kuljetusvälineet, kuten Postin kolmipyörät tai kuriiripalvelut. Esimerkkejä tällaisista uusiokäyttökohteista on mm. Kiinasta (Hua ym. 2021) Julkinen liikenne kuten palvelutaksit voisivat olla potentiaalinen kohde kuljettaessa matalilla nopeuksilla ja lyhyitä matkoja, jolloin akun huonompi kunto ei välttämättä ole haitaksi (kiihtyvyyden ja ajosäde ovat riittävät kaupunkiympäristöön suunnitelluilla lastausrutiineilla). Tämän lisäksi akkuja voidaan hyödyntää työkaluissa, kuten rakentamiseen tarvittavissa laitteissa (nosturit, työkalut), maataloudessa ja yleiskoneissa kuten trukeissa. (Hua ym. 2021, Lai, Qiao, Zheng, Ouyang, Han & Zhou 2019, Mossali, Picone, Gentilini, Rodriguez, Pérez & Colledani 2020) Lisäksi sähköverkkoon liittyvät sovellukset ovat merkittävä sovelluskohde (verkon kuormituksen tasoitus, uusiutuvan energian tuotannon mahdollistaminen energian varastoinnin myötä ym. aputoiminnot). (Chen ym. 2019, Hua

ym. 2021, Martinez-Lazerna ym. 2018, Pagliaro & Meneguzzo 2019, Rallo ym. 2020, Tang ym. 2018) Tämän seurauksena toiminnan parissa on laaja kenttä erilaisia yrityksiä ja sovelluksia (KUVIO 11.).

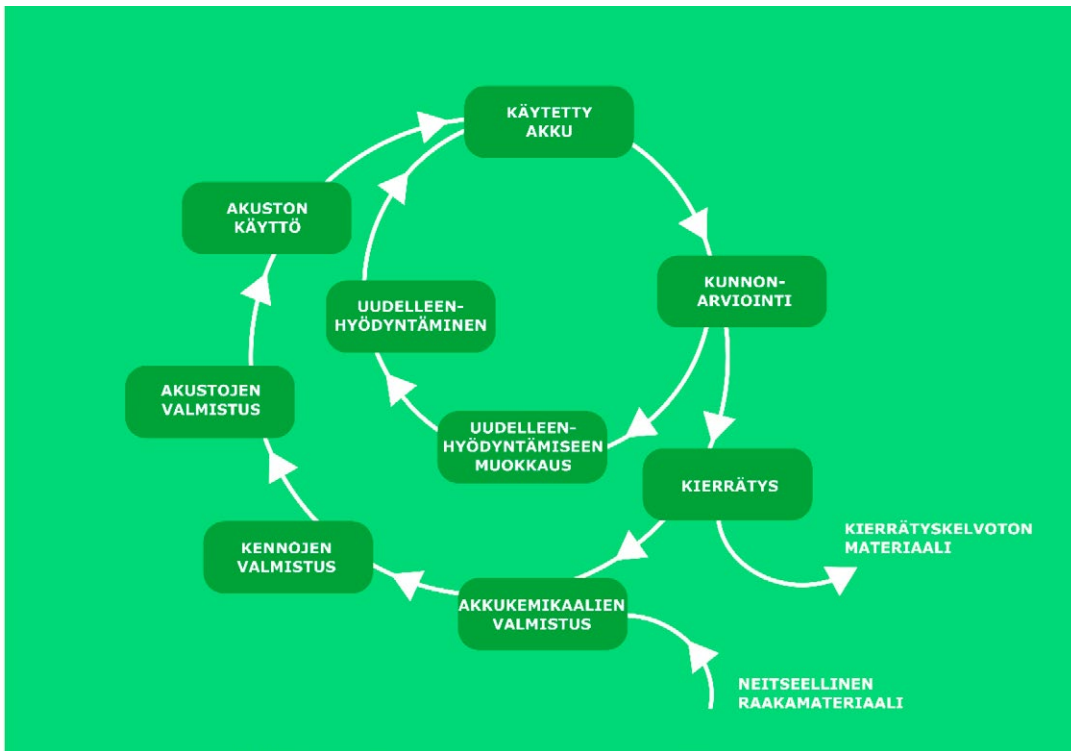
AKUSTON KÄYTTÖ	
Toimijat: Kuluttajat, auto- ja kuljetusala, sähkön tuottajat ja sähköverkot, maatalous, rakentaminen, teollisuus.	Toiminta: Sähköajoneuvojen käyttö, energiavarastojen käyttö (akku)
Esimerkkitoimijat: <ul style="list-style-type: none">• Liikenne, kuljetus (HSL, Kalmar)• Sähköntuottajat ja jakelijat (Vaasan sähkö, Hyötytuuli, Ampner)• Sähköautojen lataus (Plug In, Parkkisähkö, Kempower, Virta, Powerfinn)• Sähköautojen valmistus (Valmet automotive, Linkker)• Teknologiayritykset (Wärtsilä, Nokia, ABB, Siemens, Danfoss, Sandvik, Ensto)• Ohjelmistoyritykset (Wapice)• Akkuratkaisut ja -valmistus (AKKURATE, Celltech)	Liittyvä toiminta: Ketjun sisällä: <ul style="list-style-type: none">• Keräys• Uudelleenhyödyntäminen Ketjun ulkopuolella: <ul style="list-style-type: none">• Autokaupat• Ammattiautoilu (taksit, kuljetusala, julkinen liikenne)• Teollisuus• Energiantuotanto

KUVIO 11. Akkujen käyttöön liittyvä yritystoiminta.

Näiden erilaisten arvoketjun pääosa-alueisiin liittyvien toimijoiden lisäksi arvoketjuun liittyy luonnollisesti paljon toimijoita, jotka osallistuvat ketjun toimintaan, mm. teollisuusinfran rakentamiseen, kuljetuksen, tutkimuksen ja koulutuksen markkinoinnin kautta, laajentaen akkuarvoketjun vaikutuksia ympäröiviin toimijoihin sekä toimialoihin. Kaiken kaikkiaan arvoketju mahdollistaa useiden toimijoiden monipuolisen osallistumisen ketjuun ja akkujen arvon säilyttämiseen.

5 ESITETTY ARVOKETJUMALLI

Edeltävän pohjalta esitetään seuraavanlaista arvoketjumallia, joka pääosin myötäilisi kirjallisuudessa esitettyä mallia, sillä erotuksella, että kunnonarviointi on eritelty omaksi osakseen, sen sisältämän erillisen yritystoimintamahdollisuuden vuoksi. Malli on graafisesti tiivistetty kuvioon 12, joka esittelee eri pääosa-alueet. Useisiin näistä osa-alueista liittyy monenlaista arvon muodostusta ja toimintaa itse akuston tai sen materiaalien käsittelyn lisäksi, kuten hallinnollisia ja markkinointitehtäviä, joiden muodostamat kuluerät sekä arvonlisäykset ovat oleellinen osa arvoketjua. Näitä Aspekteja ei kuitenkaan käsitellä tässä mallissa, jolla pyritään esittämään karkea potentiaalinen versio siitä, miten akustojen elämänsykli toteutuu Suomessa EU-järjestelmän sisällä.



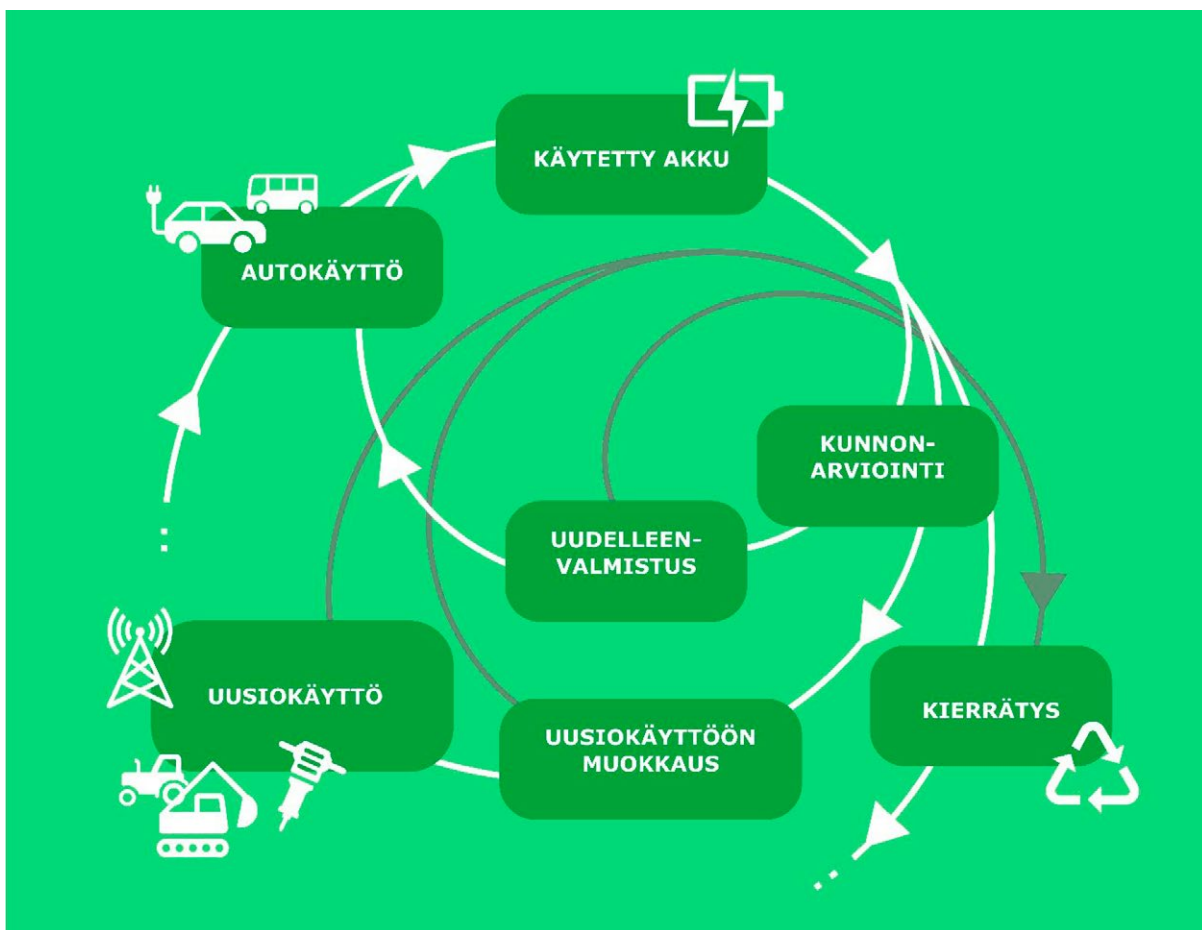
KUVIO 12. Esitetty akkuarvoketjumalli.

Tiivistetysti esitetystä mallista käytöstä poistuvien akkujen kunto tarkastettaisiin. Tarkastelun perusteella toimivat osat siirtyisivät uudelleenkäyttöön ja muut osat kierrätykseen. Uudelleenhyödyntäminen sekä siihen muokkaus ovat erillisiä osia arvoketjussa säilyttäen akkujen arvoa pitempään, kunnes ne päättyvät jälleen käytetyiksi akkuiksi ja edelleen kierrätykseen (potentiaaliset toimivat osat voidaan edelleen uudelleen hyödyntää). Kierrätykseen lopulta päätyessään akustojätteestä erotellaan eri komponentit, ja ne kierrätetään takaisin akkukäyttöön tai muihin korkean arvon tuotteisiin, mikäli kyseiselle materiaalille ei ole enää käyttöä akkuteollisuudessa (muuttuvat ja kehittyvät akkukemiat). Kierrätys tuottaa joko raakamateriaalia akkukemikaalien valmistukseen tai akkumateriaaleja suoraan yhdistäen ketjun eri toimintoja. Akkukemikaalien valmistusta seuraa kennojen tai niiden komponenttien valmistus. Tämä kaikki voidaan yhdessä kierrätyksen kanssa potentiaalisesti muodostaa yhdeksi linjastoksi. Akustojen valmistus tapahtuu kuitenkin todennäköisimmin tästä erillään, sillä ainakin toistaiseksi akustot valmistetaan automallikohtaisesti, jolloin ne kasataan usein autonvalmistusta lähellä. Tällöin myös niiden liikuttelu jää minimaaliseksi. Valmiit akustot palaavat käyttöön ja sykli alkaa alusta, muodostaen melko suljetun kiertotalousjärjestelmän ja syklisen arvoketjun.

Akustot tulevat Suomeen autojen mukana Euroopasta tai sen ulkopuolelta, pääasiassa autokauppojen kautta, olivatpa autot sitten uusia tai käytettyjä. Käyttöönoton jälkeen esitetystä mallista akustoja käytetään ajovoima-akkuina, kunnes niiden kunto ei ole enää riittävä tähän käyttöön, jolloin muodostuu ns. käytetty akku. Tämä käytetty akku kerätään Suomessa todennäköisesti autokorjaamojen tai autokauppojen kautta arvioitaviksi. Erityisesti uutena ostetuissa autoissa on otettava huomioon myös potentiaalinen autonvalmistajien kiinnostus niiden palautumiseen heidän käyttöönsä. Jotkut käytöstä poistuvat akut päättyvät käyttäjiltä suoraan romutukseen autojen mukana. Romuttamoissa akut voidaan ottaa talteen ja toimittaa niitä käsitteleville tahoille.

Kerättyjen akkujen kunnan tarkastelu voi tapahtua kerääjien toimesta, analysointiin erikoituneiden toimijoiden kiinteillä toimipisteillä tai liikkuvasti. Liikkuvat analysointiyksiköt sekä potentiaalisesti niihin yhdistyvät purkamisyksiköt voisivat parantaa tällaisen liiketoiminnan kannattavuutta matalan populaatiotiheyden ja vielä varhaisessa vaiheessa olevan sähköajoneuvomarkkinoiden alueilla, kuten Suomessa. Tämä vähentäisi paikallisten toimijoiden tarvetta hankkia kalliita laitteistoja sekä osaavaa henkilökuntaa hoitamaan kunnontarkastelua. Analysointi voitaisiin siis järjestää ostopalveluna käytöstä poistuvia akkuja vastaanottaville toimijoille, jotka voivat hyödyntää tätä tietoa välittäessään tai jatkokäsittellessään näitä akustoja.

Kunnon perusteella akustojen käyttöpotentiaali eri käyttökohteisiin saadaan selville ja ne voidaan siirtää sopivaan muokkaukseen tulevaa käyttökohdetta varten. Akustojen jatkojalostus voi siis tapahtua joko kerääjien toimesta tai keräjä voi välittää ne eteenpäin korjaukseen, uudelleenvalmistukseen ja/tai uusiokäyttöön erikoituneille toimijoille. Tämä riippuu kuitenkin pitkälti myös siitä, miten akkujen omistus tulee jatkossa toimimaan. Mikäli akustot liisataan auton mukana (akun omistaa autonvalmistaja), akut kulkevat huomattavasti suljetummassa kierrossa, sillä ne palautuvat analysoitavaksi ja käsiteltäviksi autonvalmistajille tai niiden yhteistyökumppaneille. Tämä ei kuitenkaan sulje pois paikallista toimintaa, eritoten koska akustojen kuljetus on kallista, jättäen kerättyjen akkujen analysoinnin ja jatko-hyödyntämisen sopimus-toimijoille, jotka toimivat yhteistyössä valmistajien kanssa. Mikäli akun omistajuus siirtyy käyttäjälle auton hankinnan yhteydessä, tällöin akku poistettaessa kuluttaja tai yritys voisi myydä akun kerääjille tai muille toimijoille ennen tai jälkeen kunnonarvioinnin. Molempien strategioiden uskotaan alentavan akkujen kuluttajahintaa, sillä liisaus on todennäköisesti halvempaa kuin ostaminen, mutta ostaessa, on akulla jälleenmyyntiarvoa autokäytön jälkeen. (Haram ym. 2021, Martinez-Lazerna ym. 2018)

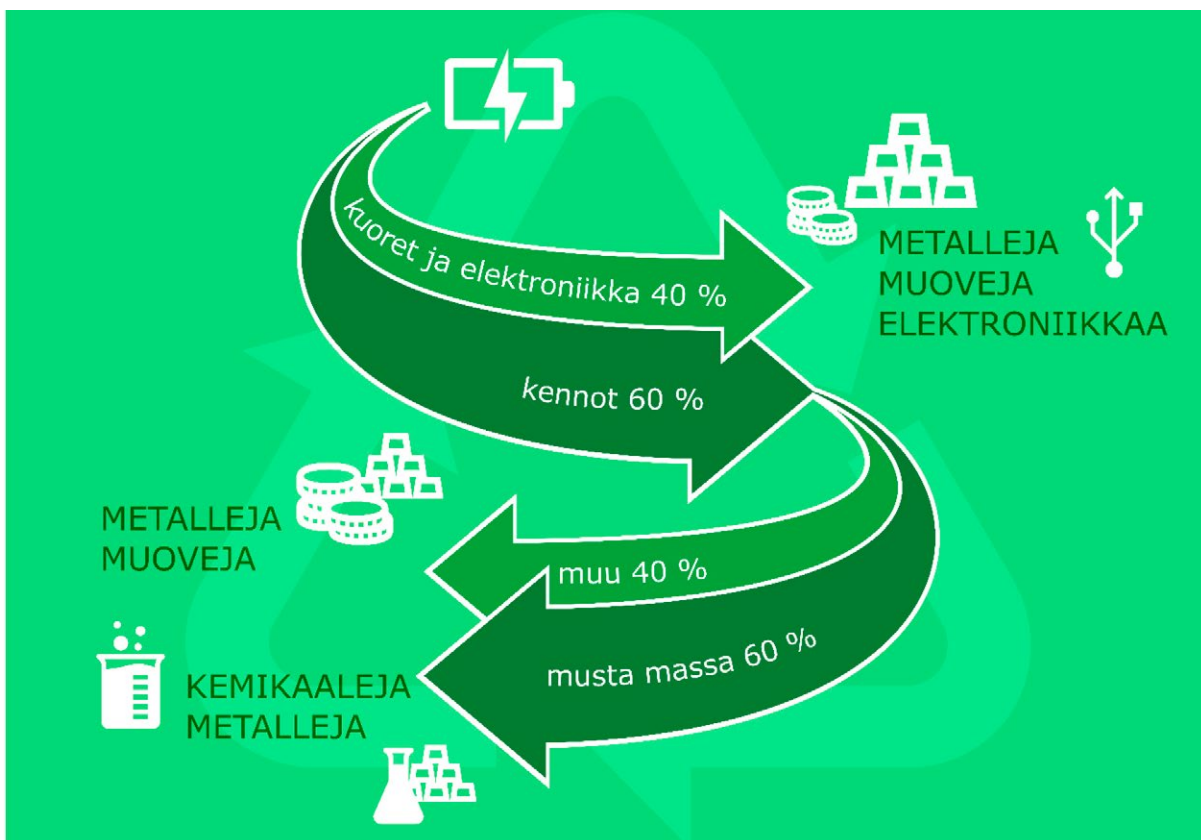


KUVIO 13. Käytetyn akun hyödyntäminen.

Uudelleenhyödyntämistä varten korjatut kunnostetut ja muokatut akustot palautuvat markkinoille ja käyttöön näiden toimijoiden kautta säilyttäen maksimaalisen arvonsa. Uudelleenhyödyntämisen jälkeen nämä, sekä ne akustot ja akustojen osat, jotka eivät ole uudelleenhyödynnettävissä ensimmäisen elämän jälkeen, siirtyvät kierrätykseen. Kuviossa 13 on esitetty uudelleenhyödyntämisen osa-alueita arvoketjun sisällä sekä sitä, miten ja mihin käyttötarkoituksiin materiaalit liikkuvat ketjun sisällä. Akustojen kohdalla kierrätys alkaa latauksen purkamisella, joka voi tapahtua analysoinnin yhteydessä. Tämän jälkeen jännitevapaat akut puretaan osiksi (kennoiksi ja muuksi materiaaliksi). Purkamisen on toiminto,

joka liittyy kiinteästi niin kierrätykseen kuin uudelleenhyödyntämiseen (jännitteisten akkujen purkaminen). Purkaminen vaatii osaavaa työvoimaa ja erikoisvälineitä, joten tämä on myös oma erikoistumisalansa ja potentiaalisesti myös erillistä liiketoimintaa. Mahdollisesti myös liikkuvaa toimintaa, joka voisi potentiaalisesti olla yhteydessä liikkuvaan kunnontar- kasteluun sekä potentiaalisesti alustavaan kierrätyskäsittelyyn.

Liikkuva kierrätykseen liittyvä esikäsittely on yksi mahdollisuus kuljetuskustannusten sekä turvallisen kuljettamisen mahdollistajana, joka voisi toimia myös Suomessa, muun esitetyn liikkuvan hajautetun toiminnan rinnalla. Esikäsittelyyn sisältyy kennojätteen mekaaninen ja fysikaalinen käsittely, jonka avulla kennojen eri komponentit ja materiaalit saadaan eroteltua. Näitä jakeita on esitelty kuviossa 14, joka kuvastaa akustoista saatavia materiaaleja ja niiden osuuksia kier- rätettävästä massasta karkeasti. Jatkojalostamalla tätä ideaa voitaisiin myös eri materiaali- jakeiden erottelu sisällyttää tällaiseen liikkuvaan toimintaan, jolloin jalostettavat jakeet (mm. musta massa, kuorimateriaalit, alumiini- sekä kuparifoliot) voitaisiin toimittaa suoraan näitä käsitteleville laitoksille. Toisaalta Fortumin ja sen yhteistyökumppaneiden investoinnit niin akustojen purkamiseen kuin kierrätykseen linkitettyinä potentiaaliseen jatkojalostukseen ohjaavat arvoketjua kier- rätysten osalta keskitettyyn toimintaan, laitosten (purkamislaitos ja kierrätyslaitos) merkittävän kapasiteetin johdosta.



KUVIO 14. Kierrätyksen materiaali- jakeet.

Kierrätyksessä sekä kierrätysmateriaalin jatkojalostuksessa on tärkeää, että jalostusaste muodostuu kierrätystuotteilla järkeville tasolle, akkukäyttöön sopivaksi materiaaliksi, jotta suljettu tai akkuteollisuuden sisäinen kierto on mahdollista. Mikäli akkukemikaalien tai niiden raaka- aineiden valmistus ei massasta ole mahdollista, tulisi kierrätyksessä pyrkiä mahdollisimman korkean arvon jalosteeseen materiaalin arvon säilyttämisen kannalta. Akkukemikaalien ja niiden raaka- aineiden tuotantoa harjoitetaan Suomessa jo melko laajalti (mm. Terrafame, Umicore, Jerevois (ent. Freeport Cobalt)) ja uusia sekä tulevia akkukemikaali- ja niiden jalostuslaitoksia on avattu ja suunnitellaan (Terrafame, BASF). (Adolfsson-Tallqvist ym. 2019, Terrafame, Fortum 2020) Tuleva akkulainsäädäntö ohjaa myös kierrätysmenetelmiä, sillä mm. litiumin talteenotolle tulee tulevaisuudessa vaatimuksia, jonka seurauksena pyrometallurgiset menetelmät väistyvät hydrometallurgisten ja suorakierrätysmenetelmien tieltä litiumioniakkujen käsittelyssä. (Komission ehdotus COM(2020) 798 final)

Kennovalmistus on Suomessa vielä ainakin toistaiseksi pientä, mutta myös herättänyt kiinnostusta, ja alalla toimiikin jo joitain yrityksiä alalla, samoin akkujen valmistuksen parissa. Valmistus tapahtuu omilla erikoislaitoksillaan, jotka sijoi- tuvat todennäköisesti hyvien vienti- sekä tuontiyhteyksien läheisyyteen materiaalien saamisen sekä globaalien mark- kinoiden seurauksena. Erilaisia akkutehdassuunnitelmia (akkumateriaali sekä akkuvalmistus) on esimerkiksi Keliberillä,

Terrafamella sekä CNGR Finland:lla. (Keliber 2022b, MineralsGroup 2021, MineralsGroup 2022, Terrafame). Myös akkujen kokoonpanoa on käynnistetty Suomessa, Salossa - Valmet Automotiven akkutehtaalla akkujen rakentaminen käynnistyi vuoden 2021 aikana. (Hiltunen 2021)

Yhteen vedettynä, akkumateriaali tulee markkinoille Suomen ja ainakin toistaiseksi Euroopan ulkopuolelta autojen, muiden kulkuneuvojen, elektroniikan ja akkujen muodossa. Käytettynä ne kerätään Suomen sisällä valmiiden järjestelmien kautta (tuottajavastuuverkosto) ja päätyvät täällä uudelleenhyödynnettäviksi ja kierrätettäviksi, sillä kuljetusriskit varsinkin suurten akkujen kanssa tekee siirtelystä kallista. Tällä hetkellä uudelleenhyödyntämisen parissa toimii monia pienempiä yrityksiä ja startupeja, ja kiinnostusta varsinkin käyttöön on monilla suurilla toimijoilla. (Adolfsson-Tallqvist ym. 2019, Harju 2022) Kenttä näyttää siis tässä valossa monipuoliselta ja mahdollistaa täten laajaa paikallista toimintaa. Kierrätys taas näyttäisi toistaiseksi keskittyvän Fortumin ja Akkuserin käsiin, muodostaen keskitetyn järjestelmän kierrätyksen osalta. Akkumateriaalien valmistuksen ja jalostuksen osalta toimijoita on nykyisellään jo useita, ja myös suunnitelmia on. Näiden perusteella voidaan sanoa tällaisen toiminnan keskittyvän hyvien kulkuyhteyksien läheisyyteen. Erityisesti meriyhteys on oleellista materiaalin tuonnin ja viennin kannalta. Esimerkkinä tästä ovat mm. olemassa oleva toiminta Kokkolassa sekä Satakunnassa hyvien rata- ja satamayhteyksien läheisyydessä. Olemassa olevan toiminnan lisäksi suunniteltuja kohteita on ehdotettu rakennettavaksi mm. Vaasaan, Kotkaan ja/tai Haminaan. Mahdollisen kenno- ja akkuvalmistuksen sijoittuminen on oletettavasti vastaavan suuntaista, jolleivät akut esimerkiksi tule käyttöön suoraan Suomessa, jolloin kenno- ja akkutuoanto sekä niiden sovelluskohde tai sen kokoonpano tulisi olla lähellä ja hyvien kulkuyhteyksien päässä toisistaan. Esimerkkinä tästä Valmet Automotive Salon ja Uudenkaupungin tuotanto ja niiden välinen liikenneyhteys Turun kautta. Valmistettu kemikaali ja akku tai tuotemateriaali (autot jne.) on osa vientituotteita, joiden kohde muuttuvan lainsäädännön myötä on todennäköisesti Eurooppa, jossa markkinoita eettisesti tuotetulle valmistusketjultaan läpinäkyvälle materiaalille sekä kierrätetylle materiaalille tulee ainakin oletetusti ensimmäisenä olemaan. Täältä tulevaisuudessa akkumateriaalit päätyvät takaisin Suomeen mm. autojen mukana jatkaen kiertoaan niin Suomen kuin Euroopan sisällä säilyttäen arvonsa pitkälle tulevaisuuteen.

6 YHTEENVETO

Akkuarvoketjuun sekä sen erilaisiin malleihin liittyy paljon muuttujia, toimijoita ja erilaisia kilpailevia intressejä. Tämän seurauksena voidaan rakentaa monenlaisia malleja ja ketjuja, joihin monien eritasoisten ja erilaajuisesti ketjun osa-alueisiin osallistuvien toimijoiden olisi mahdollista osallistua. Esitetyssä mallissa erilaisten esimerkkitoimijoiden sekä olemassa olevan infrastruktuurin avulla on pyritty löytämään Suomen olosuhteissa toimiva ja paikallisen yritystoiminnan mahdollistava malli. Selvityksestä nähdään, että ketjuun liittyy monenlaisia liikenteeseen ja liikennöintiin sekä eri teollisuudenaloilla toimivia toimijoita, koskettaen laajasti monia merkittäviä toimialoja Suomessa, kuten kaivos- ja kemianteollisuus. Toimivan arvoketjun ja kiertotalouden malli ei monien epävarmojen tekijöiden ja muuttujien johdosta ole vielä selvä ja siten erilaisia mahdollisuuksia sen toteuttamiselle on. Malli rakentuu kuitenkin olemassa olevan infran ja mm. kierrätystoiminnan pohjalle. Nämä ja erilaiset suuremmat projektit, joita on alettu toteuttaa viime vuosina mm. Fortumin toimesta, asettavat ensimmäiset palapelin palat paikalleen erityisesti materiaalien kierrätyksen osalta. (Fortum 2020, Fortum 2021a, Fortum 2021b) Erilaiset muutokset lainsäädännössä, kannusteissa sekä akuissa itsessään tulevat ohjaamaan mallia tulevaisuudessa. (Komission ehdotus COM(2020) 798 final) Akkujen peruskomponentit, kemikaalitarpeesta akkuvalmistukseen, sekä niiden perusteelliseen käyttöön aina kierrätykseen asti eivät tästä huolimatta tule muuttumaan. Pohjaa järjestelmälle on rakennettu jo hyvän aikaa, ja kiinnostusta sijoittaa erilaisia projekteja arvoketjun eri osa-alueisiin liittyy on syrjäisestä sijainnista huolimatta mm. kaivostoiminnan kautta, kun raakamateriaaleja ja korkeammankin asteen jalosteita tuotetaan Euroopassa merkittävien esiintymien läheisyydessä. (Fortum 2020, Fortum 2021a, Fortum 2021b, Keliber 2022b, Kokemäki 2021, Kokemäki 2022, Leisti 2021, MineralsGroup 2021, MineralsGroup 2022, Terrafame, Toivonen 2021)

LÄHDELUETTELO

ABDELBAKY, M., PEETERS, J.R. & DEWULF, W., 2021. On the influence of second use, future battery technologies, and battery lifetime on the maximum recycled content of future electric vehicle batteries in Europe. *Waste Management*, **125**, ss. 1-9.

ADOLFSSON-TALLQVIST, J., EK, S., FORSTÉN, E., HEINO, M., HOLM, E., JANSSON, H., LANKINIEMI, S., PITKÄMÄKI, A., POKELA, P., RIIKONEN, J., RINKKALA, M., ROPPONEN T. & ROSCHIER, S., 2019. Batteries from Finland. Suomi. Business Finland. Loppuraportti. Saatavissa: https://www.businessfinland.fi/49cbd0/globalassets/finnish-customers/02-build-your-network/bioeconomy--cleantech/batteries-from-finland/batteries-from-finland-report_final_62019.pdf. Viitattu 22.5.2022.

AKKUSER, 2022. Korkeakobolttisen Li-ion akun kierrätys Saatavissa: <https://www.akkuser.fi/kasittelynkuvaus/korkeakobolttinen-li-ion-akku/>. Viitattu 22.5.2022

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 & Recycling*, **172**, ss. 105658-105672.

BOBBA, S., MATHIEUX, F. & BLENGINI, G.A., 2019. How will second-use of batteries affect stocks and flows in the EU? A model for traction Li-ion batteries. *Resources, Conservation & Recycling*, **145**, ss. 279-291.

CANALS CASALS, L., BARBERO, M. & CORCHERO, C., 2019. Reused second life batteries for aggregated demand response services. *Journal of Cleaner Production*, **212**, ss. 99-108.

CARE-SERVICE, 2018. Smart Mobile Modules. Saatavissa: <https://www.careserviceproject.eu/technologies/smart-mobile-modules/>. Viitattu 22.5.2022.

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), ss. 2622-2646.

DEGHANI-SANIJ, A.R., THARUMALINGAM, E., DUSSEAUULT, M.B. & FRASER, R., 2019. Study of energy storage systems and environmental challenges of batteries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **104**, ss. 192-208.

DIREKTIIVI 2006/66/EY. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0066&from=EN>. Viitattu 15.6.2021.

DUESENFELD, 2022. Ecofriendly Recycling of Lithium-ion Batteries. Saatavissa: https://www.duesenfeld.com/recycling_en.html. Viitattu 22.5.2022

EFAO, 2022. Country comparison (2021) Saatavissa: <https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/transport-mode/road/european-union-eu27/country-comparison>. Viitattu 22.5.2022

ELWERT, T., GOLDMANN, D., RÖMER, F., BUCHERT, M., MERZ, C., SCHUELER, D. & SUTTER, J., 2015. Current Developments and Challenges in the Recycling of Key Components of (Hybrid) Electric Vehicles. *Recycling*, **1**(1), ss. 25-60.

EUROSTAT, 2021. Waste statistics - recycling of batteries and accumulators. Saatavissa: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics_-_recycling_of_batteries_and_accumulators. Viitattu 9.12.2021

FORTUM, 2020. Suomalainen akkuteollisuus tiivistää yhteistyötään: Fortum, BASF ja Nornickel allekirjoittavat akkujen kierrätystä koskevan aiesopimuksen. [Lehdistötiedote]. Saatavissa: <https://www.fortum.fi>. Viitattu 17.5.2022.

FORTUM, 2021a. Fortum laajentaa sähköautoakkujen kierrätystoimintaa avaamalla uuden mekaanisen tuotantolaitoksen Ikaalisiin. [Lehdistötiedote]. Saatavissa: <https://www.fortum.fi>. Viitattu 17.5.2022.

FORTUM, 2021b. Fortum laajentaa akkujen kierrätyskapasiteettiaan ja investoi uuteen kierrätyslaitokseen Harjavallassa. [Lehdistötiedote]. Saatavissa: <https://www.fortum.fi>. Viitattu 17.5.2022.

HARAM, M. H. S. M., LEE, J.W., RAMASAMY, G., NGU, E.E., THIAGARAJAH, S.P. & LEE, Y.H., 2021. Feasibility of utilising second life EV batteries: Applications, lifespan, economics, environmental impact, assessment, and challenges. *Alexandria Engineering Journal*, **60**, ss. 4517-4536.

- HARJU, A., 2022. Muhoksella tehdään Teslan akuista varavoimaa: ”Näin se vanha sähköauton akku pitää uusiokäyttää eikä murskata palasiksi ennen aikojaan”, sanoo yrittäjä Veli-Erkki Ruotsalainen. Kaleva, 14.1.2022.
- HILTUNEN, T., 2021. Salon akkutehtailla alkoi Volvon uusien lataushybridien akkujen koonti. Yle.fi, 10.11.2021.
- HSL, 2022. Sähköbussi pelaa päästötavoitteittemme ykkösketjussa. Saatavissa: <https://www.hsl.fi/hsl/sahkobussit>. Viitattu 22.5.2022
- HUA, Y., LIU, X., ZHOU, S., HUANG, Y., LING, H. & YANG, S., 2021. Toward Sustainable Reuse of Retired Lithium-ion Batteries from Electric Vehicles. Resources, Conservation & Recycling, **168**, ss. 105249-105260.
- HUA, Y., ZHOU, S., HUANG, Y., LIU, X., LING, H., ZHOU, X., ZHANG, C. & YANG, S., 2020. Sustainable value chain of retired lithium-ion batteries for electric vehicles. Journal of Power Sources, **478**, ss. 228753-228768.
- KELIBER, 2022a. Keliberin litiumkemia- ja akkutehtaalle myönnettiin rakennuslupa. [Lehdistötiedote]. Saatavissa: <https://www.keliber.fi/ajankohtaista/tiedotteet-ja-julkaisut/8D001D169D7587EE/>. Viitattu 22.5.2022.
- KELIBER, 2022b. Mineraalivarannot ja malmivarat. Saatavissa: <https://www.keliber.fi/geologia/mineraalivarannot-ja-malmivarat/>. Viitattu 22.5.2022.
- KOKEMÄKI, 2021. Aiesopimus nikkelihydroksinilaitoksen rakentamisesta. [Tiedote]. Saatavissa: <https://kokemaki.fi>. Viitattu 17.5.2022.
- KOKEMÄKI, 2022. Kokemäen uusiyrityskeskittymä tuo töitä ja palveluita kaupunkiin. Saatavissa: <https://kokemaki.fi>. Viitattu 17.5.2022.
- KOMISSION EHDOTUS COM(2020) 798 final. Saatavissa: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:4b5d88a6-3ad8-11eb-b27b-01aa75ed71a1.0008.02/DOC_1&format=PDF. Viitattu 15.6.2021.
- LAI, X., HUANG, Y., DENG, C., GU, H., HAN, X., ZHENG, Y. & OUYANG, M., 2021a. Sorting, regrouping, and echelon utilization of the large-scale retired lithium batteries: A critical review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, **146**, ss. 111162-111182.
- LAI, X., HUANG, Y., GU, H., DENG, C., HAN, X., FENG, X. & ZHENG, Y., 2021b. Turning waste into wealth: A systematic review on echelon utilization and material recycling of retired lithium-ion batteries. Energy Storage Materials, **40**, ss. 96-123.
- LAI, X., QIAO, D., ZHENG, Y., OUYANG, M., HAN, X. & ZHOU, L., 2019. A rapid screening and regrouping approach based on neural networks for large-scale retired lithium-ion cells in second-use applications. Journal of Cleaner Production, **213**, ss. 776-791.
- LEBEDEVA, N., PERSIO, F.D. & BOON-BRETT, L. 2016. Lithium ion battery value chain and related opportunities for Europe. Alankomaat. JRC Science Hub. JRC Science for Policy Report. Saatavissa: https://ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/jrc105010_161214_li-ion_battery_value_chain_jrc105010.pdf. Viitattu 29.10.2021
- LEISTI, T., 2021. Sodankylän uusi kaivos olisi malmirikkaussuonsa vuoksi Euroopan merkittävimpiä, mutta se sijaitsee suojellulla Viiankaavalla – kaivosyhtiö vakuuttaa: ”Suo ei kuivu”. Yle.fi, 11.3.2021.
- LI-CYCLE, 2022. A unique and dependable approach to solving the global battery recycling problem. Saatavissa: <https://li-cycle.com/technology/>. Viitattu 22.5.2022.
- LIMA, M.C.C., PONTES, L.P., VASCONCELOS, A.S.M., DE ARAUJO SILVA JUNIOR, W. & WU, K. 2022. Economic Aspects for Recycling of Used Lithium-Ion Batteries from Electric Vehicles. Energies, **15**, ss. 2203-2221.
- MALINAUSKAITE, J., ANGUILANO, L. & SCHMIDT RIVERA, X., 2021. Circular waste management of electric vehicle batteries: Legal and technical perspectives from the EU and the UK post Brexit. International Journal of Thermofluids, **10**, ss. 100078-100086.
- MARTINEZ-LASERNA, E., GANDIAGA, I., SARASKETA-ZABALA, E., BADEDA, J., STROE, D.-I., SWIERCZYNSKI, M. & GOIKOETXEA, A., 2018. Battery second life: Hype, hope or reality? A critical review of the state of the art. Renewable and Sustainable Energy Reviews, **93**, ss. 701-718.

- MESHARAM, P., PANDEY, B.D. & MANKHAND, T.R., 2014. Extraction of lithium from primary and secondary sources by pre-treatment, leaching and separation: A comprehensive review. *Hydrometallurgy*, **150**, ss. 192-208.
- MINERALS GROUP, 2021. Suomen malmijalostuksen ja Beijing Easpringin CAM-tehdashanke Kotkassa etenee suunnitellusti. Saatavissa: <https://www.mineralsgroup.fi/fi/uutiset-ja-tyopaikat/uutiset/>. Viitattu 17.5.2022.
- MINERALS GROUP, 2022. CNGR Finland Oy Edistämään Haminan akkumateriaalitehdasta. Saatavissa: <https://www.mineralsgroup.fi/fi/uutiset-ja-tyopaikat/uutiset/>. Viitattu 17.5.2022.
- MOSSALI, E., PICONE, N., GENTILINI, L., RODRÌGUEZ, O., PÉREZ, J.M. & COLLEDANI, M., 2020. Lithium-ion batteries towards circular economy: A literature review of opportunities and issues of recycling treatments. *Journal of Environmental Management*, **264**, ss. 110500-110511.
- PAGLIARO, M. & MENEGUZZO, F., 2019. Lithium battery reusing and recycling: A circular economy insight. *Heliyon*, **5**, ss. e01866- e01872.
- PARISTOKIERRÄTYS, 2022. Mitä palautetuille akuille ja paristoille tapahtuu? Saatavissa: <https://www.paristokierratys.fi/nain-kierratat/kierratysprosessi/>. Viitattu 22.5.2022
- RALLO, H., CANALS CASALS, L., DE LA TORRE, D., REINHARDT, R., MARCHANTE, C. & AMANTE, B., 2020. Lithium-ion battery 2nd life used as a stationary energy storage system: Ageing and economic analysis in two real cases. *Journal of Cleaner Production*, **272**, ss. 122584-122596.
- 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*, **245**, ss. 432-446.
- SHAFIQUE, M., RAFIQ, M., AZAM, A. & LUO, X., 2022. Material flow analysis of the end-of-life lithium-ion batteries from battery electric vehicles in the USA and China. *Resources, Conservation & Recycling*, **178**, ss. 106061-106073.
- SUOMEN AUTOKIERRÄTYS, 2022. Sähköauton ajovoima-akkujen kierrätys. Saatavissa: <https://autokierratys.fi/kuluttajille/kierratysjarjestelma/sahkoauton-akkujen-kierratys/> Viitattu 16.2.2022
- STENA RECYCLING, 2022. Reuse and recycling of lithium-ionbatteries at Stena Recycling. Saatavissa: <https://www.stenarecycling.com/waste-streams/battery-recycling/> Viitattu 16.2.2022
- TANG, Y., ZHANG, Q., McLELLAN, B. & LI, H., 2018. Study on the impacts of sharing business models on economic performance of distributed PV-Battery systems. *Energy*, **161**, ss. 544-558.
- TEM, 2022. Julkaisut. Saatavissa: <https://tem.fi/julkaisut>. Viitattu 17.5.2022.
- TERRAFAME, 2021. Terrafamen akkukemikaalitehtaan tuotannon ylösajo on käynnistynyt. [Mediatiedote] Saatavissa: <https://www.terrafame.fi/>. Viitattu 17.5.2022.
- TOIVONEN, J., 2021 Euroopan isoin litiumkaivos lähellä toteutumista Kaustisille – Kaivosyhtiö Keliberille 40 miljoonan euron rahoitus eteläafrikkalaiselta kaivosjältä. *Yle.fi*, 23.2.2021.
- TONG, S., FUNG, T., KLEIN, M.P., WEISBACH, D.A. & PARK, J.W., 2017. Demonstration of reusing electric vehicle battery for solar energy storage and demand side management. *Journal of Energy Storage*, **11**, ss. 200-210.
- TONG, S. J., SAME, A., KOOTSTRA, M. A. & PARK, J. W., 2013. Off-grid photovoltaic vehicle charge using second life lithium batteries: An experimental and numerical investigation. *Applied Energy*, **104**, ss. 740-750.
- WANG, Y., AN, N., WEN, L., WANG, L., JIANG, X., HOU, F., YIN, Y. & LIANG, J., 2021. Recent progress on the recycling technology of Li-ion batteries. *Journal of Energy Chemistry*, **55**, ss. 391-419.
- WINSLOW, K.M., LAUX, S.J. & TOWNSEND, T.G., 2018. A review on the growing concern and potential management strategies of waste lithium-ion batteries. *Resources, Conservation and Recycling*, **129**, ss. 263-277.
- WRÅLSEN, B., PRIETO-SADOVAL, V., MEJIA-VILLA, A., O'BORN, R., HELLSTRÖN, M. & FAESSLER, B., 2021. Circular business models for lithium-ion batteries - Stakeholders, barriers, and drivers. *Journal of Cleaner Production*, **317**, ss. 128393-128402.

Sähköauton akkujen arvoketju

AJOVOIMA-AKKUJEN ARVOKETJUMALLI SUOMESSA

Tämän selvityksen tarkoitus on esitellä erilaisia vaihtoehtoja ajovoima-akkujen arvoketjumallille, niiden toteutettavuutta Suomessa sekä esittää tämän perusteella potentiaalinen malli sähköautojen akkujen arvoketjulle Suomessa. Kirjallisuuden ja nykyisten toimintatapojen pohjalta muotoutunut arvoketjumalli toteuttaa kiertotalouden periaatteita, mahdollistaen materiaalien kierron ja sitä kautta arvon säilymisen akkutuotanto ja käyttöketjun sisällä mahdollisimman pitkään.

Centria. Raportteja ja selvityksiä 2342-933X, 55
ISBN 978-952-7173-66-4
ISSN 2342-933X, 55