

## Sähköautojen moottorien purku ja kierrätys

Prizztech Oy

Megumi Asano-Ulmonen

30.8.2023

## Esipuhe

Tämän selvityksen on tehnyt Megumi Asano-Ulmonen Prizztech Oy:ssä. Selvitystyöhön ovat osallistuneet myös Jarkko Vuorela ja Minna Haavisto Prizztech Oy:stä sekä Pekka Suominen ja Timo Santa-Nokki Satakunnan ammattikorkeakoulusta. Selvitys on tehty osana ”RoboAI Green – Teknologiametallien kiertotalouden osaamiskeskittymä” EAKR-hanketta.

Hanke on toteutettu ajalla 1.10.2021-30.8.2023 SAMK:n ja Prizztechin yhteistyönä ja sitä on rahoitettu REACT-EU määrärahoista osana Euroopan unionin COVID-19-pandemian johdosta toteuttamia toimia.



**SATAKUNTALIITTO**



Lyhenteet .....	3
1. Johdanto .....	4
2. Tieliikenteen sähköistyminen .....	4
Päästövähennystavoite tieliikenteen sähköistymisen moottorina .....	4
Henkilöautokannan sähköistyminen Suomessa.....	5
2.1. Sähköautomarkkinoiden kehitys maailmalla.....	8
2.2. ....	
3.2.3. Romuajoneuvojen kierrätysjärjestelmä .....	9
Romuajoneuvojen kierrätysjärjestelmä Suomessa.....	9
3.1. Romuajoneuvojen vastaanotto, käsittely ja kierrätys .....	10
3.2. Romuajoneuvoalan haasteet ja kehityskohteet .....	10
3.3. ....	
3.4. Romuajoneuvojen kiertotalous muualla – case Japani .....	13
4. Sähköautojen moottorien rakenne ja kehitystrendit .....	16
4.1. Sähköautojen moottorit.....	17
4.2. ....	
4.3. Sähkömoottorien rakenne ja materiaalit.....	18
4.4. Sähkömoottorien purku- ja kierrätysprosessin koneellistaminen .....	23
Sähkömoottorien kehitystrendit.....	28
5. ELV kiertotalouden mahdollistajat Satakunnassa .....	29
6. Yhteenveto .....	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
8.1. ....	
7. Lähteet.....	32
8. Liitteet.....	36
Tyypillisesti uudelleenkäytettäviä ICE, HEV/PHEV, ja EV autosia .....	36

## Lyhenteet

Termi tai lyhenne	Määritelmä
<b>ASR</b>	(Automotive Shredder Residue) Autojen murskauslaitoksessa syntyvä hienojakoinen sivutuote, johon sisältyy muovia, tekstiiliä, lasia ym., ja on sellaisenaan vaikeasti kierrätettävä.
<b>BEV</b>	(Battery Electric Vehicle) Sähköauto, joka saa energiansa vain ajoneuvon sisäisestä akusta. Sähköautossa yksi tai useampia sähkömoottoreita muuntaa akkuun varastoituneen energian liike-energiaksi.
<b>ELV</b>	(End of Life Vehicle) Romuajoneuvo. EU:n romuajoneuvodirektiivi (2000/53/EY) asettaa romuajoneuvojen uudelleenkäyttöä, kierrätystä ja hyödyntämistä koskevat tavoitteet, sekä edellyttää romuajoneuvojen jätehuollon järjestämistä tuottajavastuun pohjalta.
<b>EV</b>	(Electric Vehicle) Sähkökäyttöinen ajoneuvo. Yleisnimitys, joka kattaa BEV, PHEV sekä HEV.
<b>HEV</b>	(Hybrid Electric Vehicle) Hybridiajoneuvo, jossa sähkömoottori ja pieni akusto tukevat polttomoottoria ja parantavat ajoneuvon hyötysuhdetta. Hybridiajoneuvoa ei yleisesti pysty ajamaan pelkällä sähköllä, mutta akuston koko vastaa tyypillisesti alle 10 km:n ajosuoritetta.
<b>ICE</b>	(Internal Combustion Engine) Perinteinen polttomoottori.
<b>PHEV</b>	(Plug-in Hybrid Electric Vehicle) Ladattava hybridiajoneuvo, jolla voidaan tyypillisesti ajaa lyhyitä matkoja (< 100 km) kuten sähköautoa. Akuston tyhjennyttä ajoa voidaan jatkaa polttomoottorin, bensa tai diesel, avulla ja samalla ladata auton akustoa.

## 1. Johdanto

Yhteiskunnan ja liikkumisen sähköistyminen on 2000-luvun megatrendi, joka on lähtenyt voimakkaaseen kasvuun viimeisen 10 vuoden aikana. Liikkumisen ilmastovaikutuksen vähentämiseksi on siirryttävä pois fossiilisen energian käytöstä. Siirtyminen sähkön käyttöön ajoneuvojen voimanlähteenä nähdään kaikkein ilmastoystävällisimpänä muutoksena.

Globaalisti sähköautojen, joihin luetaan tällä hetkellä kuuluvaksi niin hybridit, plug-in hybridit kuin täyssähköautotkin, markkinaosuus oli 14 % vuonna 2022. Markkinaosuus kasvaa lähes kaikkialla, ja samalla sähköautoteknologiaa mahdollistavien metallien kysyntä kasvaa. Näitä teknologiametalleja jalostetaan Satakunnassa. Metallienjalostuksessa käytetään neitseellisten raaka-aineiden rinnalla kierrätysmetalleja. Niiden arvo on nousussa niin hinnan, ilmastoystävällisyyden kuin toimitusvarmuudenkin vuoksi. Sähköautojen kehitystrendit vaikuttavat siten merkittävästi myös satakuntalaiseen teknologiametalliklusteriin.

Tämä "Sähköautojen moottorien purku ja kierrätys" -selvitys on tuotettu osana Satakuntaliiton EAKR-rahoituksella rahoittamaa Teknologiametallien kiertotalouden osaamiskeskittymä -hanketta. Selvitystä varten on kerätty kirjallista tietoa sekä haastateltu alan toimijoita.

Selvityksessä on tarkastettu romuajoneuvojen kierrätyksen nykytilaa ja sähköautojen yleistymisen vaikutuksia tulevaisuuden kierrätysprosessiin. Tuotelähtöinen kierrätysanalyysi auttaa hahmottamaan yhteiskunnan sähköistymisen myötä avautuvia teknologiametallien kiertotalouden mahdollisuuksia. Selvityksen keskiössä ovat sähköautojen moottorit, joiden kierrätystä on tutkittu vähemmän kuin akkujen. Akkuihin liittyvät mahdollisuudet rajattiin tämän selvityksen ulkopuolelle, koska aiheesta löytyy lukuisia julkaisuja. Prizztech on julkaissut aiemmin teknologiametallien kiertotalousteemaan liittyviä selvityksiä, kuten Sähköautot ja Satakunnan teknologiametalliklusteri (2020) sekä Sähkö- ja elektroniikkalaiteromu (SER) ja sen kierrätysmahdollisuudet Satakunnassa (2020).

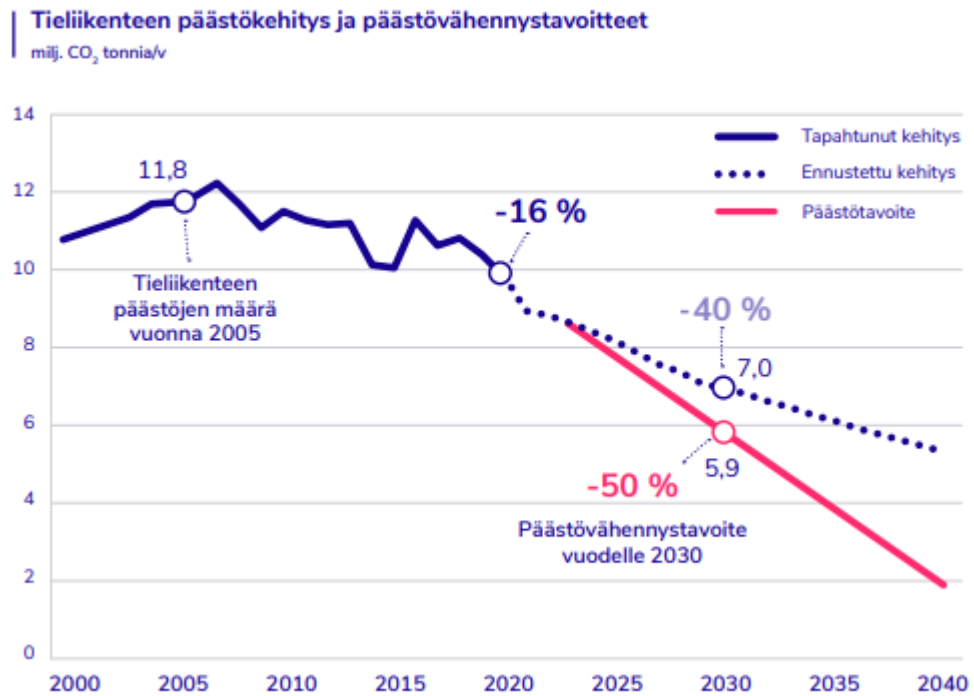
### 2.1.

## 2. Tieliikenteen sähköistyminen

### Päästövähennystavoite tieliikenteen sähköistymisen moottorina

Vuonna 2020 kotimaan tieliikenteen kasvihuonekaasupäästöt olivat 9,9 miljoonaa tonnia CO<sub>2</sub>-ekv, mikä oli 20,6 % Suomen kasvihuonekaasupäästöistä (ilman maankäyttö/LULUCF-sektoria). Kansallisen energia- ja ilmastostrategian ja keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelman mukaisesti Suomen tavoitteena on vähentää liikenteen päästöjä puolella vuoteen 2030 mennessä vuoden 2005 tasosta (kuva 1). Autoalan tiedotuskeskuksen laatimassa liikenne- ja kuljetusalan vähäpäästöisen liikenteen tiekartassa on esitetty lukuisia toimenpiteitä päästöjen vähentämiseksi kohti hiilineutraalia liikennettä. Hiilineutraalia liikennettä tavoitellaan kokonaisvaltaisesti eri keinoin, tehostamalla liikennettä ja liikennekäytöstä, parantamalla ajoneuvojen tehokkuutta, sekä lisäämällä uusiutuvia ja vaihtoehtoisia hiilineutraaleja polttoaineita. [1] Autokannan sähköistyminen on yksi merkittävimmistä päästövähennystoimenpiteistä ja tarjolla olevien sähköautomallien määrä onkin kasvanut huomattavasti viime vuosina. Euroopan unionin

uusin tavoite on, että vuonna 2035 kaikki EU:ssa myytävät uudet henkilö- sekä pakettiautot ovat päästöttömiä.



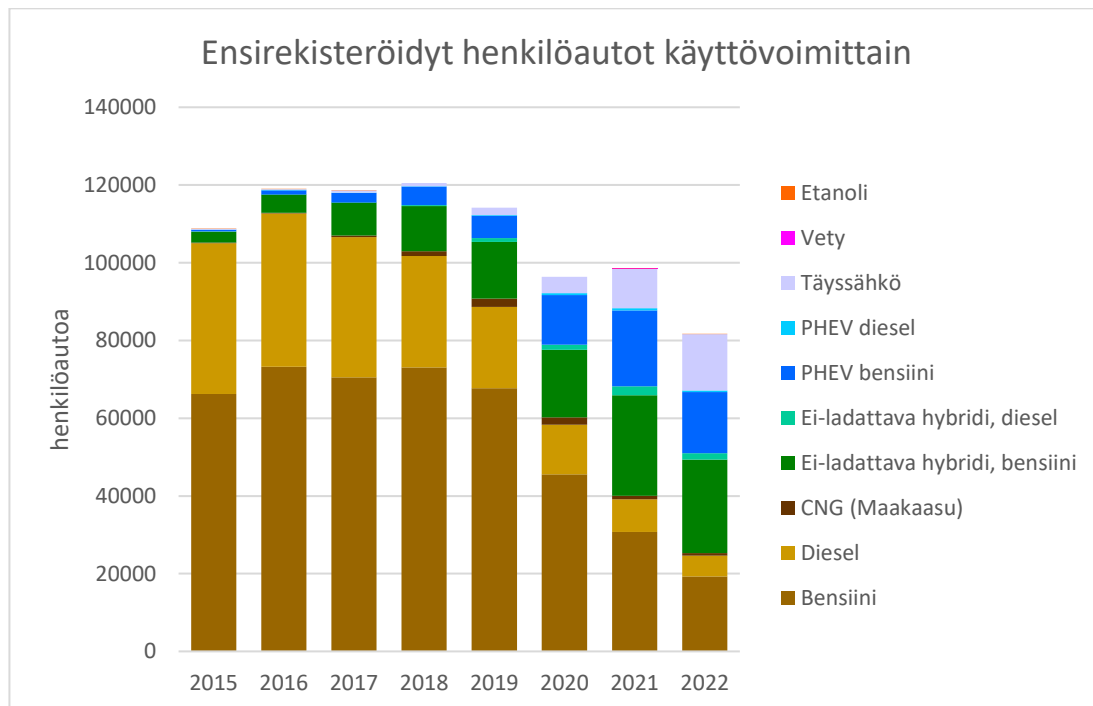
**Kuva 1** Tieliikenteen päästövähennyspolku vuosille 2030 ja 2045. [1]

2.2.

## Henkilöautokannan sähköistyminen Suomessa

Alla oleva kaavio (kuva 2) havainnollistaa autokannan sähköistymisen trendejä Suomessa. Ei-ladattavien hybridautojen (HEV, hybrid electric vehicle) lisäksi ladattavien hybridautojen (PHEV, plug-in electric vehicle) sekä täyssähköautojen (BEV, battery electric vehicle) osuus ensirekisteröidyistä henkilöautoista on voimakkaasti kasvanut viimeisen kolmen vuoden aikana. Täyssähköisen henkilöauton hankintaa tuettiin hankintatuella vuosina 2018–2022.

Autoalan tiedotuskeskuksen tilastojen mukaan Suomessa ensirekisteröidyistä henkilöautoista noin 18 % oli täyssähköautoa (BEV) ja noin 20 % oli ladattavia hybridautoja (PHEV) vuonna 2022. Lisäksi ei-ladattavien hybridien (HEV) osuus oli 31 %. Diesel- ja bensiiniautojen ensirekisteröintien määrä on voimakkaasti laskenut viime vuosina kuten näkyy alla olevassa kuvassa 2. Niiden osuus henkilöautojen ensirekisteröinneistä on enää noin 30 %. [2]

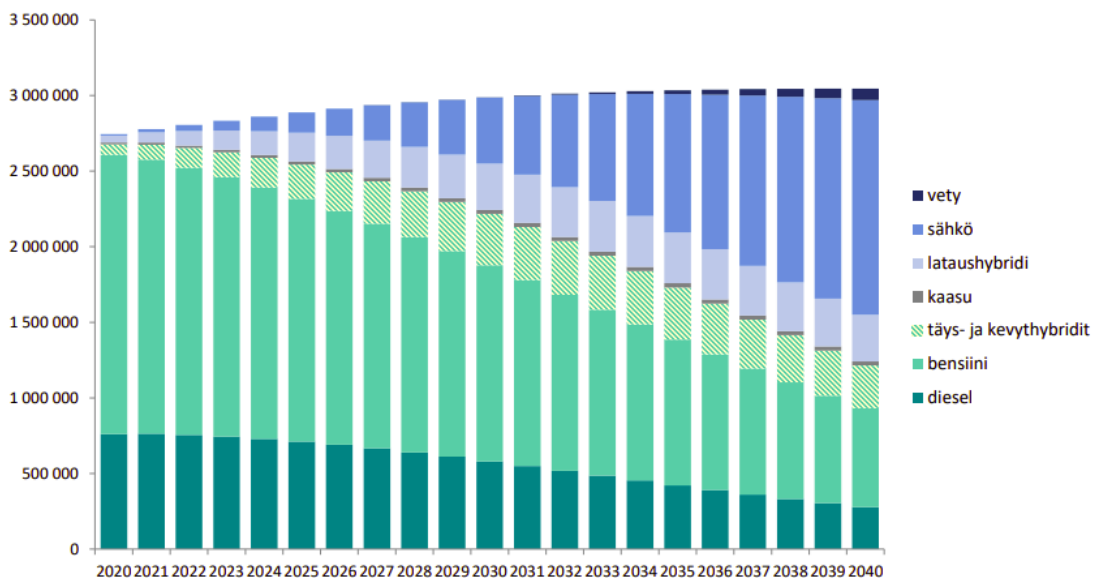


**Kuva 2 Suomen ensirekisteröidyt henkilöautot käyttövoimittain vuosina 2015–2022. [2]**

Suomen henkilöautokannassa oli vuoden 2022 lopussa 148 928 ladattavaa autoa, joista 44 889 on täyssähköautoja ja 104 039 ladattavia hybridejä. Ladattavien autojen osuus oli noin 5,4 % henkilöautokannasta. Hallituksen fossiilittoman liikenteen tiekartassa tavoitteeksi on asetettu 700 000 ladattavan henkilöauton kanta vuonna 2030, josta vähintään puolet tulisi olla täyssähköautoja. Alla olevassa kaaviossa on esitetty autoalan käyttövoimaennuste vuosille 2022–2040. Vaikka täyssähköautojen ja ladattavien hybridien määrä kasvaa, noin 80 % autokannasta kulkee vielä polttomoottorilla vuonna 2030. [3]

Suomessa suosituimpia sähköautomerkkejä vuoden 2022 ensirekisteröinneissä olivat Tesla, Volkswagen, Volvo, BMW ja Mercedes-Benz. Täyssähköautojen ja ladattavien hybridiautojen kysyntä on kasvanut voimakkaasti, mutta alalla on esiintynyt toimitusvaikeuksia maailmanlaajuisen komponenttipulan takia.

## Henkilöautot - ennuste autokannan kehityksestä



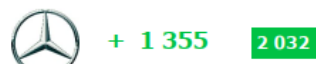
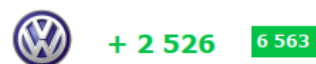
Kuva 3 Autoalan käyttövoimaennuste vuosille 2022–2040. [3]

Q4/2022 - Sähköisen liikenteen tilannekatsaus

### Suosituimmat sähköautomerkit – 2022

Sähköautokannan kasvu  
vuonna 2022 (1-12 kk)

**+49 018**



30.1.2023 Sähköinen liikenne ry Traficom

7

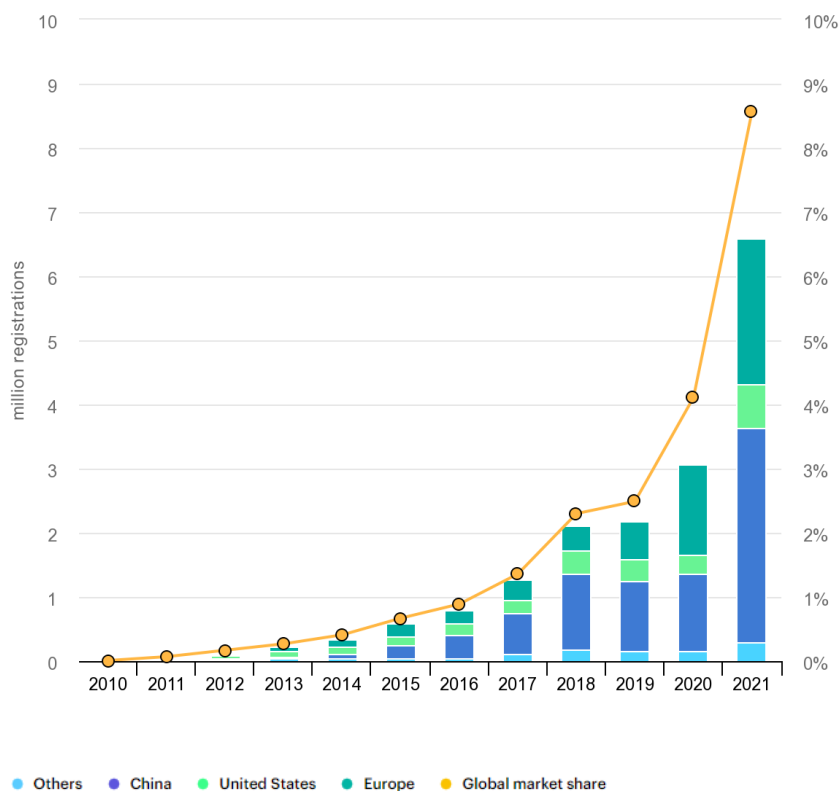
Kuva 4 Sähköautokannan kasvu ja suosituimmat sähköautomerkit 2022 [4]



## Sähköautomarkkinoiden kehitys maailmalla

2.3.

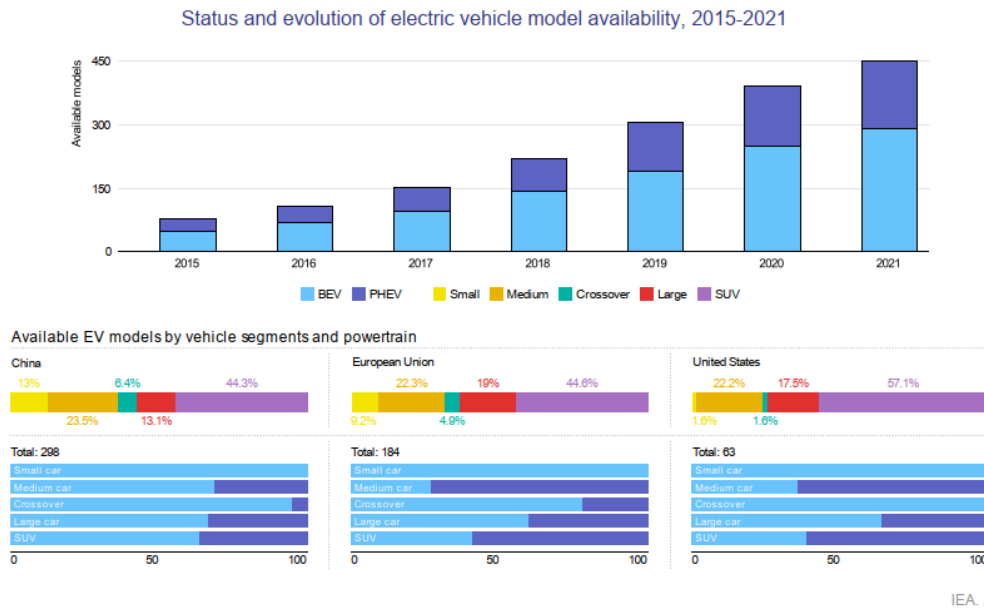
Sähköautomarkkinan eksponentiaalinen kasvu on jatkunut viimeisen 10 vuoden ajan kuten alla olevasta kuvasta näkyy. Viimeisimmän tiedon mukaan vuonna 2022 sähköautojen myynti ylitti 10 miljoonaa kappaletta maailmanlaajuisesti, mikä vastasi 14 % markkinaosuutta. Sähköautojen määrän kasvu on ollut voimakasta erityisesti Kiinassa ja Euroopassa. Puolet käytössä olevista sähköautoista on Kiinassa. Eurooppa on toiseksi suurin sähköautomarkkina, jossa yksi viidestä myydystä autosta oli sähköauto vuonna 2022. [5]



**Kuva 5 Sähköautojen myynti ja markkinaosuus maailmanlaajuisesti vuosina 2010-2021. [6]**

Autonvalmistajat ovat vastanneet kasvavaan kysyntään monipuolistamalla tarjolla olevia sähköautomalleja. Vuonna 2021 markkinoilla oli yli 450 sähköautomallia, joka oli viisinkertainen määrä verrattuna vuoteen 2015. Kiina johtaa markkinoita lähes 300 mallilla, mutta Euroopassakin oli myynnissä 184 sähköautomallia. Sähköautomarkkinoilla on havaittavissa karkeasti kahta kehityssuuntaa. Erityisesti Kiinassa pienet ja kohtuuhintaiset sähköautomallit ovat menestyneet. Ne ovat tyypillisesti BEV täyssähköautoja, jotka ovat optimoituja arkikäyttöön. Toisaalta sähköistettyjen SUV- ja luksusmallien määrä on hurjassa kasvussa. Ne ovat yleensä ladattavia hybridi-autoja (PHEV), joissa on suurempia tehoja, isompia akkukapasiteetteja, ja pitempiä toimintamatkoja. Niissä on myös isompia tuottomarginaaleja, jonka turvin autonvalmistajat pyrkivät maksimoimaan voittoa. [7] EU-parlamentti hyväksyi kesäkuussa 2023 uusien autojen nollapäästötavoitteen. Vuoden 2035 alusta alkaen kaikkien EU:ssa myytävien uusien

henkilö- ja pakettiautojen tulisi olla täysin päästöttömiä, eli käytännössä akkuja tai vetyä käyttäviä sähköautoja.



Kuva 6 Saatavilla olevien sähköautomallien kehitys vuosina 2015-2021. [7]

### 3. Romuajoneuvojen kierrätysjärjestelmä

3.1.

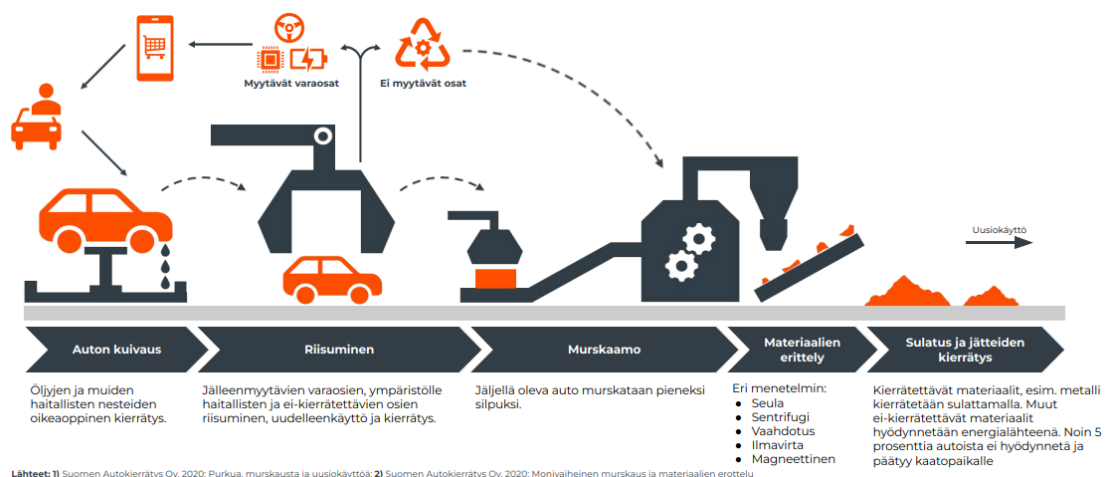
#### Romuajoneuvojen kierrätysjärjestelmä Suomessa

Suomessa kierrätetään vuosittain keskimäärin 80 000 elinkaarensa päässä olevaa autoa. Autojen keskimääräinen romutusikä oli 22,2 vuotta vuonna 2022. [8] EU:n romuajoneuvodirektiivin ("ELV-direktiivi" 2000/53/EY [9] ja 2018/849 [10]) mukaan autojen valmistajilla on velvollisuus järjestää autojen kierrätys lain vaatimalla tavalla. Tätä kutsutaan tuottajavastuiksi.

Suomessa tuottajayhteisönä toimii Suomen Autokierrätys Oy, joka vastaa romuajoneuvojen ja ajovoima-akkujen vastaanotosta, lainmukaisesta käsittelystä ja kierrätyksestä. Romuajoneuvojen vastaanottopisteitä on Suomessa lähes 300, josta noin 30 sijaitsee Satakunnassa. Suomen romuajoneuvojen kierrätysjärjestelmässä on neljä operaattoria: Eurajoen Romu Oy, Kajaanin Romu Oy, Kuusakoski Oy ja Stena Recycling Oy. Vuodesta 2019 lähtien on kerätty myös sähköistettyjen autojen ajovoima-akkuja, joiden kierrätysoperaattoreina toimivat Fortum Waste Solutions Oy, Eurajoen Romu Oy, Kuusakoski Oy sekä Stena Recycling Oy. Suomessa kierrätettiin hieman yli 200 ajovoima-akkuja vuonna 2020. [11]

## Romuajoneuvojen vastaanotto, käsittely ja kierrätys

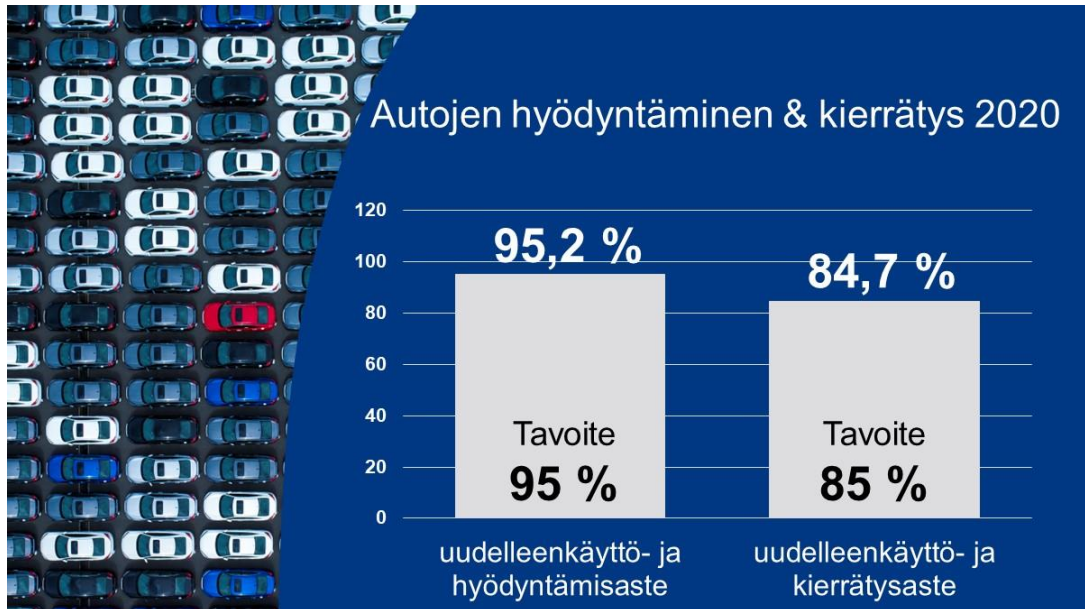
3.2. Vastaanotuspisteessä auton tiedot tarkastetaan ennen sen poistoa rekisteristä. Rekisteristä poiston jälkeen romuauto siirtyy kierrätysjärjestelmään, johon kuuluu tyypillisesti esikäsitteily ja murskaus. Esikäsitteilyssä romuautosta otetaan talteen polttoaine, moottori- ja voiteluöljyt ja muut nesteet, jotka käsitellään asianmukaisesti. Autosta poistetaan myös renkaat, akku ja katalysaattori. Räjähdyshaaralliset osat kuten turvatyynyt poistetaan tai tehdään muulla tavoin vaarattomiksi. Lisäksi autosta otetaan talteen uudelleen käytettäväksi purkuosia, kuten esimerkiksi latureita, peilejä ja ovia. Murskauslaitoksella romuauton muut osat murskataan, lajitellaan ja jatkojalostetaan metalliteollisuuden raaka-aineeksi ja energijakeeksi. Keskiavtoautosta saadaan talteen noin 740 kg terästä sekä muita värimetalleja. Romuautojen materiaaleista jopa yli 95 % saadaan hyötykäyttöön. [12] Romuajoneuvon kierrätysprosessi on esitetty alla.



3.3. **Kuva 7 Uudelleenkäytön ja kierrätyksen tekniset vaiheet. [13]**

## Romuajoneuvoalan haasteet ja kehityskohteet

Romuajoneuvoasetuksen (123/2015) 6 § sisältää romuajoneuvojen uudelleenkäytön valmistelu-, kierrätys- ja hyödyntämisvelvoitteita. [14] Tuottajien on huolehdittava siitä, että vähintään 95 % romuajoneuvoista valmistellaan uudelleenkäyttöön tai hyödynnetään muulla tavoin sekä vähintään 85 % valmistellaan uudelleenkäyttöön tai kierrätetään. Vuonna 2020 uudelleenkäyttö- ja hyödyntämisaste oli 95,2 % ja tavoite saavutettiin. Uudelleenkäyttö- ja kierrätysaste oli 84,7 %, joka jäi vielä hieman tavoitteesta. [15]



**Kuva 8 Autojen hyödyntäminen ja kierrätys vuonna 2020. [15]**

Käytännössä romuajoneuvojen osien uudelleenkäyttö tarkoittaa manuaalista käsittelyä autopurkamoiissa, joissa käyttökelpoiset osat irrotetaan, huolletaan, lajitellaan esim. laatuluokituksen mukaan, ja varastoidaan asianmukaisesti, kunnes asiakas ostaa kyseisen osan. Käytöstä poistettuja autoja myös varastoidaan kentällä jonkin aikaa, jotta osia voidaan irrottaa ja myydä sitten kun niille ilmenee tarve ja ostaja. Jokaisella purkamolla on oma toimintatapa, jolla pyritään ottamaan talteen valikoituja varaosia kustannustehokkaasti markkinatilanne huomioiden. Purkamoiden liiketoiminnan keskiössä on useimmiten vahinkoautojen osto ja varaosatuotanto. Sähköautojen osuus näistä on vähäinen.

Purkamot tyypillisesti toimivat yhteistyössä korjaamoiden kanssa. Varaosien tarjonnan Suomessa voi helposti tarkistaa netistä, mm. varaosahaku.fi ja autopurkaamot.fi sivustoilta. Korjaamoiden mukaan varaosien käyttö autovakuutuskorjauksissa on myös kasvava trendi. Lisäksi koronapandemia aiheutti joidenkin auton osien toimitusvaikeuksia, joka nosti esille purkamoiden tarjoamien varaosien merkitystä ja lisäsi kysyntää. Varaosamarkkina on myös kansainvälistynyt internetin myötä.

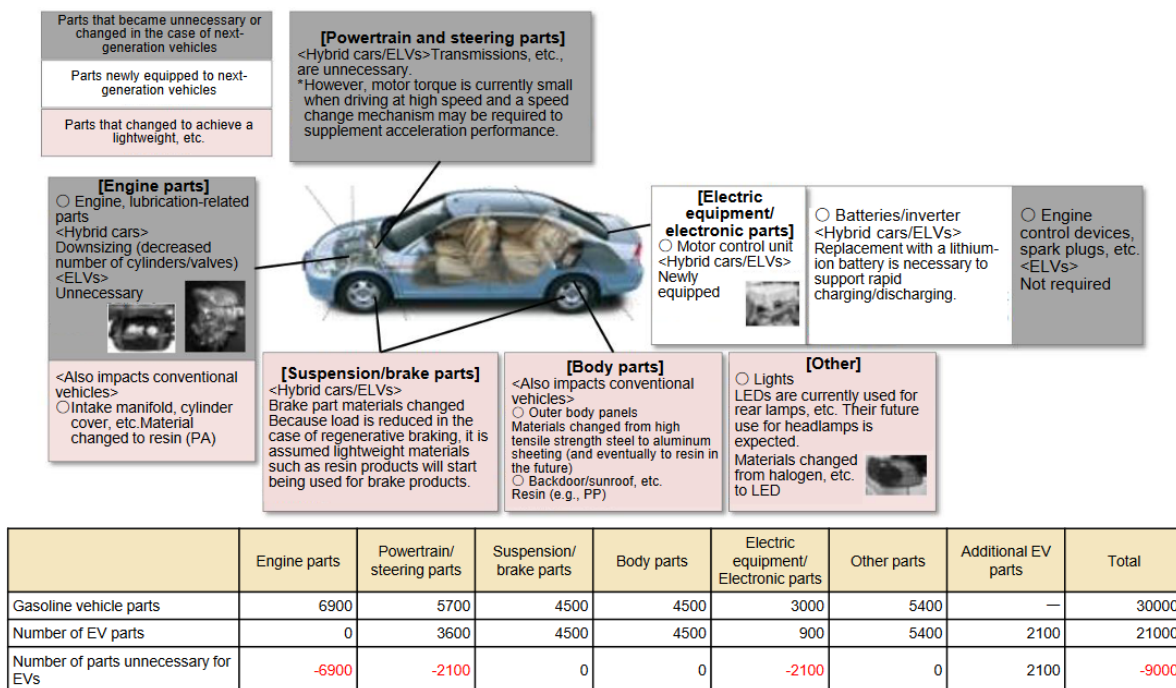
Pirkanmaan ELY-keskus, joka on tuottajavastuun toteutumista valvova viranomaisena, on julkaissut raportin ”Romuajoneuvojen osien uudelleenkäytön edistämistoimien esiselvitys” vuonna 2022. [16] Raportti oli jatkoa Ympäristöministeriön julkaisemalle raportille ”Romuajoneuvojen osien uudelleenkäytön tehostaminen” vuodelta 2017. [17] Raportin mukaan v. 2020 yhteensä 16 445 romutustodistusta oli purkamoiden kirjoittamia, mikä vastaa n. 23 % romutustodistusten kokonaismäärästä Suomessa. Purkamoiilla 7 797 ajoneuvosta (47 %) irrotettiin osia uudelleenkäyttöön. Osien uudelleenkäytön mahdollisuus kasvaisi, mikäli suurempi osa romuajoneuvoista saataisiin ohjattua purkamaille operaattorilta tai metallinkierrätysyrityksiltä. Toki on otettava huomioon kapasiteetti ja kannattavuus, johon vaikuttaa mm. romuajoneuvon ikä, malli ja sijainti.

Vaikka Suomessa on toimiva ja lainmukainen autokierrätyksen ekosysteemi, autokierrätyksessä on kattavuusongelma. Arvion mukaan noin 26 500 autoa poistuu vuosittain liikenteestä epävirallisia reittejä

pitkin. Autokierrätyksen harmaa markkina on esim. laiton myynti purettavaksi kotimaahan tai ulkomaille, epävirallinen purkamotoiminta tai auton hylkääminen. [13] Suomen Autokierrätys Oy on luomassa kansallista tietoaalustaa, jonka tavoitteena on tehostaa ajoneuvojen kierrätyksen seurantaa ja samalla mahdollistaa uusia toiminnallisuuksia. Auton osien uudelleenkäytön mahdollisuudet kasvavat hyödyntämällä romuajoneuvojen dataa.

Romuajoneuvojen metallienkierrätys on kehittynyt ja laajentunut kiertotaloudeksi, jossa kierrätetään metalliosien lisäksi auton lasia, muovia, kumia, tekstiiliä sekä ajovoima-akkuja. Toimivan kiertotalouden haaste on enemmän logistiikassa, prosessissa ja kannattavuudessa kuin teknologiassa. Pohjoismaissa suunnannäyttäjänä on ollut esimerkiksi Stena Recycling ja Autocirc group. Lisäksi autonvalmistajat ovat pyrkinet rakentamaan omia kiertotalousekosysteemejä, joissa käytöstä poistettujen autojen osia saadaan uudelleenkäyttöön, sekä materiaaleja kierrätetään uusien autojen raaka-aineiksi.

Autojen sähköistyminen vaikuttaa autokierrätykseen. Kuten jo aiemmin mainittu, Suomen Autokierrätys Oy:n alla toimii 4 ajovoima-akkujen kierrätysoperaattoria Suomessa. Akut ja niihin liittyvä tehonsäätöelektronikka ovat uusia komponentteja sähköautoissa verrattuna polttomoottoriautoihin. Ne ovat arvokkaita komponentteja, joten niiden kierrätystä kehitetään voimakkaasti. On arvioitu, että BEV-ajoneuvoissa on noin 30 % vähemmän osia kuin polttomoottoriajoneuvoissa. [18] Alla oleva kuva näyttää kootusti sähköistymisestä johtuvia muutoksia ajoneuvon osiin.



Note: Number of parts when vehicles with gasoline engines are assumed to have 30,000 parts  
 Source: METI, "Vision for the Advanced Materials Industry - Addendum" (June 2010)

**Kuva 9 Sähköistymisestä johtuvia muutoksia ajoneuvon osien määrään [18]**

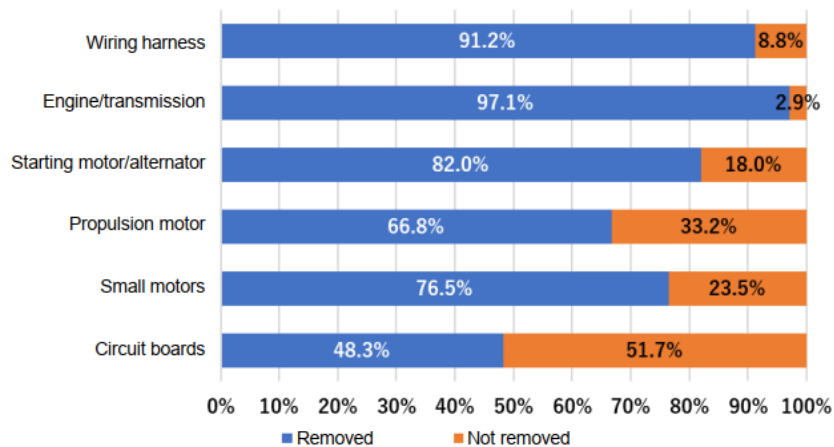
Esimerkiksi polttomoottori, voitelumekanismi, voimansiirto- ja ohjausosat kuten vaihteisto tulevat tarpeettomiksi täyssähköautoissa. Jousituksen ja jarrujen osissa sekä auton rungossa osien määrä ei merkittävästi muutu, mutta niiden materiaaleja kehitetään yhä kevyemmäksi. Teräksen käyttö on vähentynyt samalla kun kevyemmän materiaalin kuten alumiinin ja komposiittien käyttö on lisääntynyt. Raudan osuus yhdessä ajoneuvossa on laskenut n. 77 prosentista 55 prosenttiin viimeisen 40 vuoden aikana. Komposiittien kierrätys on haastavampaa ja sen tuottavuus on vähäisempää, kun materiaalin arvo on pienempi. Toisaalta sähköauton sähkömoottori sisältää arvokkaita teknologiametalleja hyvin tiiviissä muodossa. Nämä seikat vaikuttavat murskausprosessiin ja kierrätystoimijoihin. Sähkömoottorin sisältämien metallien tehokas kierrätys vaatii sen purkamista osiksi ja lajittelua eri materiaalijakeisiin toistaiseksi manuaalisesti. Työväiheita helpottavia työkaluja on myös kehitetty. [19] Lisäksi robotiikan käyttöä ja automatisointia moottorin purkuprosessissa on myös alettu tutkia. [20] [21] Nämä ovat selkeästi kehitettäviä asioita seuraavan vuosikymmenen aikana, jotta teknologiametallit saadaan kannattavasti kierrätykseen. Toinen, vähemmän tutkittu mahdollisuus on moottorin uudelleenkäyttö tai uudelleenvalmistus toiseen käyttötarkoitukseen. Käytännössä uudelleenkäyttö on mahdollista ainoastaan yhteistyössä autonvalmistajan kanssa.

### 3.4. Romuajoneuvojen kiertotalous muualla – case Japani

Euroopassa romuajoneuvojen kiertotalous pohjautuu EU:n ELV-direktiiviin. Tässä selvityksessä otettiin erityistarkasteluun Japanin ELV kiertotalouden tila benchmark-mielessä. Japanissa on vahva autoteollisuus, ja erityisesti HEV on yleistynyt 2000-luvun alusta. HEVien osuus Japanin henkilöautokannassa oli 17,5 % vuonna 2022. [22] Hybridiautojen osuus myydyistä uusista henkilöautoista oli 49 %. [23] ELV sääntelyssä on hieman eroa maiden välissä, mutta kiertotalouden ja tuottajavastuun periaate on sama. Japanissa autonvalmistajien tuottajavastuu kohdistuu kolmeen tuoteryhmään: airbagit, CFC/HFC kaasut, sekä murskauslaitoksessa syntyvä ASR (automotive shredder residue). Autonvalmistajat ovat velvoitettu ottamaan vastaan edellä mainittuja tuotteita, ja käsittelemään niitä asianmukaisella tavalla. Muilta osin Japanin lainsäädäntö ei aseta tavoitetta ELVien uudelleenkäytölle ja kierrätykselle, mutta autoteollisuus ja valmistajat ovat asettaneet omia tavoitteita kierrätykselle ja kiertotaloudelle. Metallienkierrätykselle on olemassa hyvin pitkälle kehittynyt prosessi hyvin vastaavalla tavalla kuin Suomessa. Toisaalta Japanissa on vahva paikallinen autonvalmistusteollisuus, jolla on maan kattava myynti-, jakelu-, ja huoltoverkosto. Tämä keskitetty järjestelmä toimii perustana myös ELV-kierrätykselle logistisesti ja hallinnollisesti. Autoteollisuuden intressi saada takaisin kierrätettyä materiaalia uusien autojen raaka-aineeksi näkyy voimakkaammin, kun on olemassa paikallinen valmistus. Tosin metallien kierrätys on kansainvälistä liiketoimintaa, ja Japani kytkeytyy hyvin vahvasti osaksi Aasian kierrätysmetallimarkkinaa.

Japan Automotive Recycling Promotion Center (JARC) mukaan, Japanissa siirtyy noin 3–3,5 miljoonaa ELV-autoa romutettavaksi vuosittain. ELVien keskimääräinen käyttöikä Japanissa on 15–16 vuotta. [18] Käytettyjen autojen vienti on myös merkittävää liiketoimintaa, ja käytettyjen ajoneuvojen asianmukaisen käsittelyn varmistaminen kohdemaissa on kasvava haaste. Japanilaisen automerkkien suosiosta johtuen, on mahdollista, että kohdemaat saattaa vaatia vastuun kantamista ja yhteistyötä romuajoneuvojen käsittelyprosessin parantamiseksi.

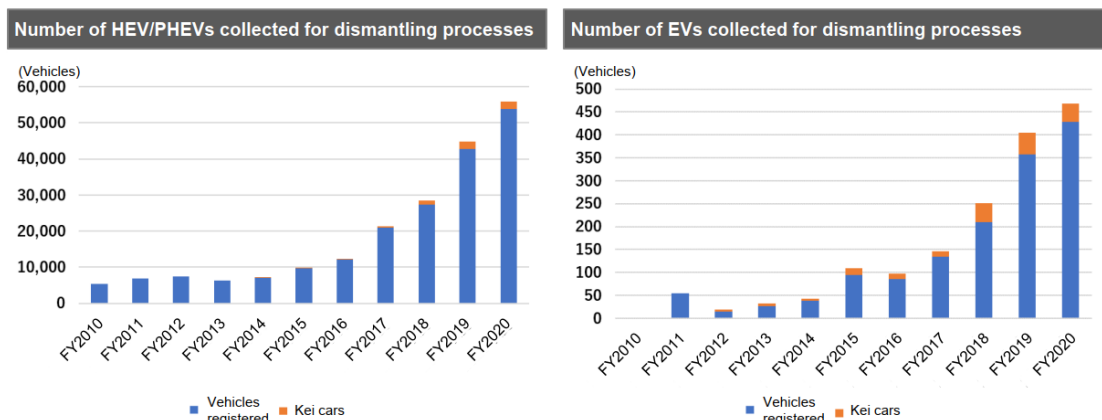
Japanissa tehtiin vuonna 2014 laaja tutkimus, jossa selvitettiin ELV:n metallien kierrätyksen tilaa. Ajoneuvon tärkeimmät osat ja niiden irrotusaste on esitetty kuvassa. Moottorin ja vaihteiston korkea irrotusaste (97,1 %) osoittaa, että näiden uudelleenkäytölle ja kierrätykselle on olemassa vakiintunut prosessi ja markkinat. Vaikka täyssähköautot eivät ole vielä ELV-kierrossa vähäisten käyttövuosiensa takia, vastaava käytäntö on oletettavissa täyssähköautojen sähkömoottoreiden kohdalla. HEV/PHEV- ja BEV-autojen osuus ELVien määrässä on marginaalinen tällä hetkellä, mutta on odotettavissa eksponentiaalista kasvua seuraavan 20 vuoden aikana (kuva 9).



[Removal rate of main components]

Source: "Survey on the Current State of Circulation of Metal Resources from End-of-Life Vehicles (ELVs)" (Mar. 2015), Ministry of Economy, Trade and Industry (METI)

**Kuva 10 ELV-ajoneuvojen pääkomponentit ja niiden irrotusaste Japanissa v. 2014. [18]**



Source: Japan Automobile Recycling Promotion Center (JARC)

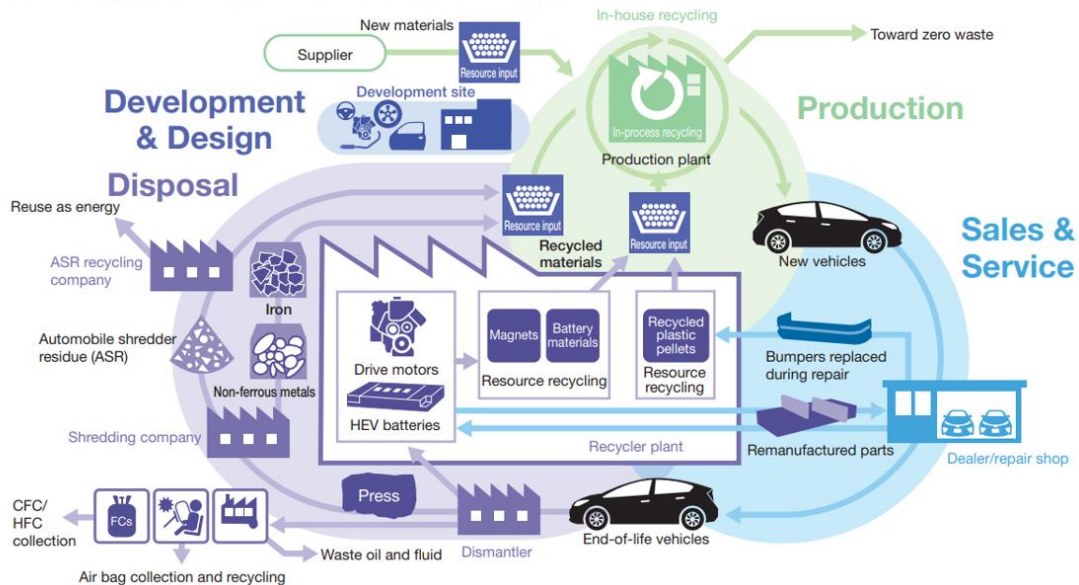
Source: Japan Automobile Recycling Promotion Center (JARC)

**Kuva 11 HEV/PHEV- ja BEV-autojen osuus ELVien määrässä [18]**

Autonvalmistajat ovat yhä enemmän kiinnostuneita materiaalien uudelleenkäytön ja kierrätyksen lisäämisestä parantaakseen liiketoimintansa kiertotaloutta. Japanissa autonvalmistajat ovat rakentaneet liiketoimintaekosysteemejä, jotka kattavat tuotteensa koko elinkaaren. Alla oleva kuva on Toyotan esimerkki sen kokonaisvaltaisesta ekosysteemistä, joka koostuu 3 osasta: tuotanto, myynti ja huolto sekä hävittäminen. "Hävittäminen" tarkoittaa käytännössä osien purkamista uudelleenkäyttöä, uudelleenvalmistusta ja kierrätystä varten sekä romuajoneuvojen materiaalien talteenottoa asianmukaisin prosessein kierrätysraaka-aineeksi. Tutkimus- ja kehitystoiminta tukee ekosysteemin toimivuutta, esimerkiksi kehittämällä ja parantamalla purkumenetelmiä ja -työkaluja sekä ottamalla huomioon autojen purettavuutta ja kierrätettävyyttä auton suunnittelussa (mm. Design for Disassembly "DfD"). Toyotan oma autojen kierrätyksen tutkimuskeskus on toiminut Toyota Metalsin alaisuudessa vuodesta 2001. Toyotan pyrkimyksenä on perustaa toimiva "autosta autoon" ELV-käsittelyn konsepti ensin kotimarkkinoille ja viedä se sitten myös kansainvälisille markkinoille. [24]

## Challenge of Establishing a Recycling-based Society and Systems

Promote Global Deployment of End-of-life Vehicle Treatment and Resource Recycling Technologies and Systems Developed in Japan



**Kuva 62 Toyotan konsepti ELVien ja ajoneuvojen kiertotalousjärjestelmästä. [24]**

Hävittämisvaiheessa on mukana useita yrityksiä, kuten purkamoita, murskaustoimijoita sekä akkujen ja ASR:n kierrätysyrityksiä. Autonvalmistajat julkaisevat purkuohjeita purkamoiden käyttöön. Purkamoiden kehittämistä ja hyväksi todetuista työkaluista ja menetelmistä otetaan myös oppia. Toyotalla on käytössä purkamista helpottamaan suunniteltu merkintä, joka näyttää mm. johdinsarjojen vetokohtia ja sisäkannen osien irrotuspisteitä.

Toyotan hybridi-autoissa käytettyjen NiMH-akkujen kierrätysprosessissa on myös lukuisia toimijoita. Toyota Chemical Engineering esivalmistelee kerättyjä HEV-akkuja talteenottoa ja kierrätystä varten.



Sumitomo Metal ottaa talteen nikkeliä ja kobolttia, ja jalostaa niitä kierrätysraaka-aineeksi. Prime Earth EV Energy (PEVE) valmistaa uusia HEV akkuja kierrätysraaka-ainetta hyödyntäen.

Autoteollisuuden sisäisen kiertotalouden edistämisen rinnalla, on myös tutkittu hybridautojen ajovoimayksiköiden uudelleenkäyttöä ja soveltamista muilla teollisuudenaloilla. Esimerkiksi HEV-yksiköitä on onnistuneesti käytetty uudelleen golfkärryjen ajomoottorina pilottiprojektissa. HEV-yksikön uudelleenkäyttö polttomoottorillisten kevytkuorma-autojen sähköistämässä on myös testattu ja toteutettu. Muita raportoituja HEV-yksiköiden uudelleenkäytön pilottikohteita ovat olleet pienkokoiset tuuli- ja vesivoimalat. Voimalakäyttö vaatii ohjausliitännän uudelleenohjelmoinnin HEV-yksikön suorituskyvyn optimoimiseksi sähköntuotantoa varten. HEV-tehonsäätöyksiköt ovat valmistajan toimesta digitalisoituja ja salattuja, mutta yhteistyössä autovalmistajan kanssa HEV-yksikön uudelleenkäyttö sähköntuotannossa on todistettu teknisesti mahdolliseksi ja taloudellisesti kilpailukykyiseksi. [25] [26] Tämän tyyppisellä innovatiivisella uudelleenkäytöllä on mahdollista säästää materiaalia, energiaa, sekä vähentää autojen elinkaaren hiilijalanjälkiä entisestään.

Lopuksi on mainittava, että yhtenä tulevaisuuden liikkumisen kehityssuuntana pidetty "Mobility as a Service" (MaaS) on hyvin kiinnostava autoteollisuuden kiertotalouden kannalta. Kun auton omistajuus säilyy autoteollisuudessa tai siihen kytkeytyvällä taholla, kiertotalouden hallinta on suoraviivaisempaa, kuin jos omistajuus on hajautetusti kuluttajilla. Tämänkaltaisen kulttuurimuutos vaatii aikaa, mutta vastaava on jo tapahtunut IT-puolella, kuten "SaaS" sovelluspalvelussa ja laitteiden leasingissa. Kuluttajien rooli muuttuu ajoneuvon omistajasta liikkuvuuspalveluiden käyttäjäksi, jolloin ajoneuvojen materiaalit ovat paremmin kierrätettävissä autoteollisuudessa.

## 4. Sähköautojen moottorien rakenne ja kehitystrendit

Sähköautojen moottorien rakenne vaihtelee automerkistä ja -mallista riippuen. Sähköautojen ajomoottorien yksityiskohtaisten tietojen saatavuus on hyvin rajallinen, ja kokonaiskuvan muodostaminen on haastava alan moninaisuudesta ja nopeasta kehityksestä johtuen. Tässä luvussa esitetään sähkömoottorien rakennetta ja koostumusta yleisellä tasolla ja kirjallisuustyön löydöksiä.

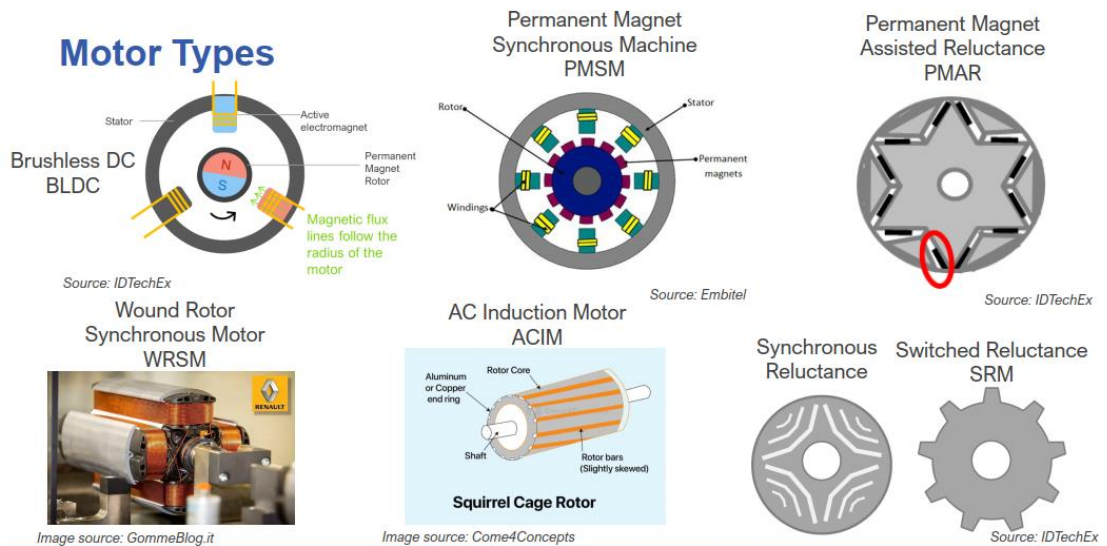
Liikenteen sähköistyminen lisää teknologiametallien kysyntää. Esimerkiksi perinteinen ICE henkilöauto sisältää 25–30 kg kuparia. Sen sijaan sähköautoista löytyy kuparia 62,5–75 kg. [27] Kuva 13 esittää sähköautoista löytyviä värimetalleja ja niiden määriä. Lisäksi on esitetty metallien nykyisiä kierrätysasteita eurooppalaisista autoista. [28]



Kuva 73 Ladattavien hybridautojen sisältämät teknologiametallit ja niiden määrät [28]

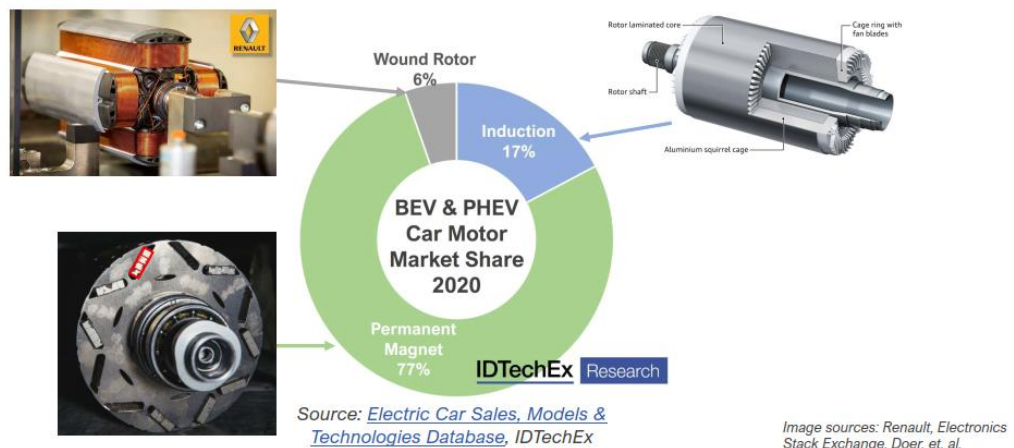
## 4.1. Sähköautojen moottorit

Ajoneuvoissa käytettyjen sähkömoottorien tyypit on esitetty kuvassa 14. Näistä yleisimmät ovat kestmagneetti- ja induktiomoottori, joiden osuudet sähkö- ja hybridautojen moottoreista vuonna 2020 olivat 77 % ja 17 % IDTechEx:n selvitysten perusteella (kuva 15).



Kuva 14 Ajoneuvoissa yleisemmin käytetyt sähkömoottorityypit [29]

## Motor Shares for the Car Market



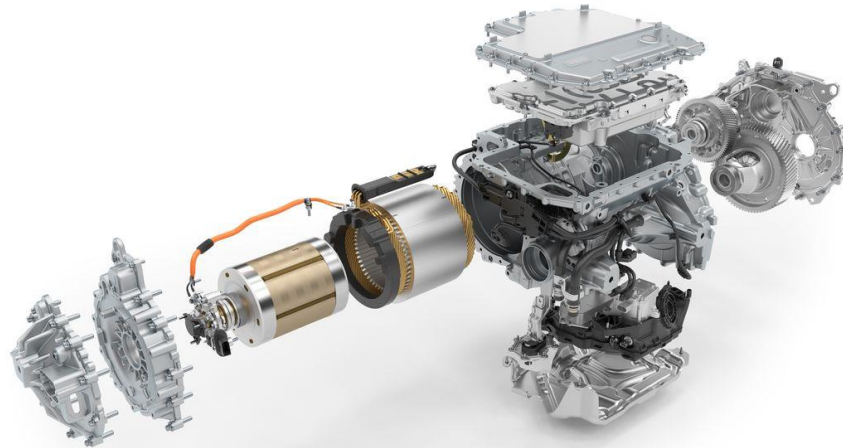
**Kuva 15 Sähköautojen moottorityyppien osuudet vuonna 2020 [29]**

Kestomagneettimoottorin suosio on hiukan laskenut huipustaan viime vuosien aikana, mutta sillä on edelleen merkittävä markkina-asema sähköautojen moottoriteknologiassa. Kestomagneettimoottorien vahvuutena on hyvä hyötysuhde, korkea tehoteho sekä rakenteen yksinkertaisuus ja kestävyys. Toisaalta kestomagneettien sisältämien harvinaisten maametallien hinta ja saatavuus ovat tunnistettuja riskejä. Jotkut valmistajat ovatkin ilmoittaneet vähentävänsä harvinaisten maametallien käyttöä osittain tai kokonaan. Korvaavia ratkaisuja ovat esimerkiksi ferriittimagneetteihin perustuvat kestomagneetti-moottorit ja induktimoottorit. Myös kestomagneetteja tutkitaan ja kehitetään aktiivisesti, jotta tarvittava suorituskyky saavutettaisiin ilman tai pienemmällä määrällä harvinaisia maametalleja, kuten Nd tai Dy.

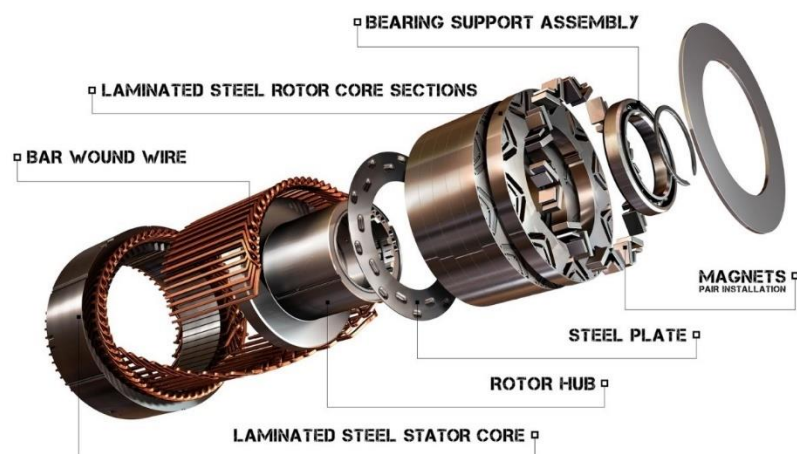
Induktiomoottoreiden heikompi hyötysuhde vaatii suuremman akuston saman ajomäärän saavuttamiseksi. Induktiomoottorissa kestomagneettien poisjättämisellä saavutettu kustannushyöty hävitään isomman akun valmistuskustannuksissa. Sähköautomallien tarjonta on monipuolistunut ominaisuuksiltaan, ja eri malleilla vastataan erilaisiin käyttötarkoituksiin ja kuluttajien tarpeisiin.

## Sähkömoottorien rakenne ja materiaalit

Sähköauton ajovoimayksikön sydämessä on sähkömoottori, joka koostuu kiinteästä staattorista ja pyörivästä roottorista. Toisin kuin polttomoottorissa, liikkuvia mekaanisia osia ei juuri ole.



**Kuva 16 BMW iX3 sähköauton ajovoimayksikön havainnekuva [30]**



**Kuva 17 Havainnekuva kestopagneettimoottorin rakenteesta [31]**

Sähkömoottorin staattori ja roottori sisältävät teknologiametalleja tiiviissä paketissa. Sähkömoottorin kierrätyksen kannalta on tärkeää, että se on helposti irrotettavissa, ja myös purettavissa jotta moottorin osien materiaaleja voidaan kierrättää tehokkaasti.

Japanissa Mitsubishi Materials tutki sähköauton moottorin ja generaattorin purkumenetelmää ja kehitti ohjeita. Purkuautona oli Nissan NOTE e-power. Autossa oli sekä ajovoimamoottori että generaattorina toimiva moottori. Kahden hengen tiimiltä kesti yhden moottorin purkamiseen noin 3 tuntia. Moottorin osat lajiteltiin 5 ryhmään koostumuksen mukaan: Al, Fe, Cu, Nd, ja muovi. Haasteellisimmaksi vaiheeksi

osoittautui staattorin irrotus. Ajovoimamoottorin ulkomitat olivat 300 x 300 x 350 mm ja se painoi noin 51,4 kg. Generaattori oli hieman pienempi, 200 x 200 x 250 mm ja n. 30,3 kg. Tässä kokeessa akselin ja roottorin irrottamisen jälkeen roottori demagnetisoitiin muhveliuunissa. Demagnetisointi suoritettiin n. 300 °C:ssa ja sen aikana muodostui runsaasti savua. Demagnetisoinnin jälkeen magneetit irrotettiin noin 5 minuutissa. [32]



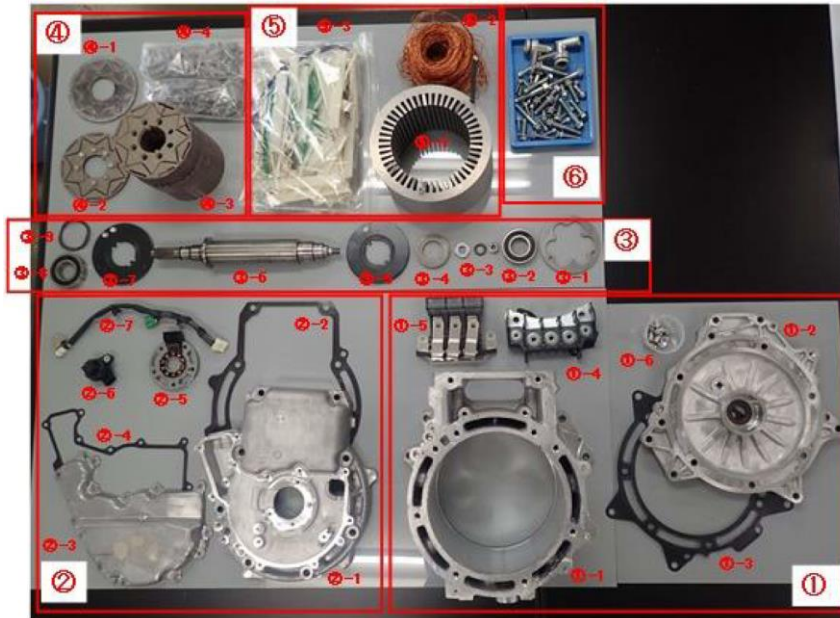
**Kuva 88 Ajovoimamoottori ennen ja jälkeen demagnetisoinnin [32]**



**Kuva 99 Staattorin purku [32]**

Staattorin kotelon leikkaus kesti n. 10 minuuttia, staattorin irrotus 5 minuuttia ja kuparilangan kerääminen kesti 60 minuuttia. Tässä tapauksessa moottori oli purettu manuaalisesti kahden henkilön voimin. Tutkijoiden näkemyksen mukaan täyden mittakaavan purkamisessa on välttämätöntä koneellistaa ainakin staattorin purkutyövaihe. Joissakin malleissa staattorin käämitys on toteutettu ns. "hairpin" teknologialla kuten kuvassa 17 näkyy. Vaikka eri osien koostumukset ovat melko samoja kierrätyksen kannalta, eri moottorimallien rakenteet on huomioitava purkuprosessia suunniteltaessa.

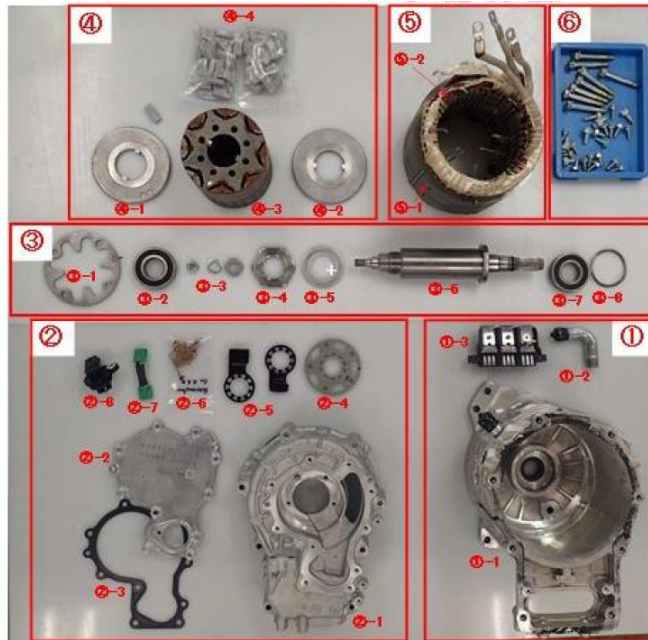
Tutkimustyössä purettu ajovoimamoottorin ja generaattorin osat sekä näiden koostumukset ja painot löytyvät seuraavilta sivuilta.



Kuva 20 Nissan NOTE e-power ajovoimamoottorista puretut osat [32]

Taulukko 1 Sähköauton ajovoimamoottorin osien materiaalitase. Osanumerot ovat samat kuin kuvassa 20 [32]

Osa-alue	Osat	Paino kg	Koostumus (%)						Materiaali- jake	Jakeittainen keräysmäärä (kg)					
			Al	Fe	Cu	Nd	Si	P		Fe	Al	Cu	Nd	Muovi	Seka
<b>Yhteensä (ennen purkua)</b>		<b>51,4</b>													
① kotelo	1	7,91	82,6	1	2,1			12,9	Al		7,91				
	2	2,7	83,3	0,9	2,3			11,8	Al		2,7				
	3	0,045							Seka						0,045
	4	0,829							Seka						0,829
	5	0,223							Seka						0,223
	6	0,07							Fe	0,07					
② takaosa	1	3,067	82,8	0,9	2,3			12,6	Al		3,067				
	2	0,028							Seka						0,028
	3	0,668	84	1	2,1			11,6	Al		0,668				
	4	0,01							Seka						0,01
	5	0,185							Seka						0,185
	6	0,036							Muovi					0,036	
	7	0,036							Seka						0,036
③ akseli	1	0,132							Fe	0,132					
	2	0,196							Seka						0,196
	3	0,035							Fe	0,035					
	4	0,109							Fe	0,109					
	5	0,372	2,2	86					Fe	0,372					
	6	2,695		98,5	0,2			0,3	Fe	2,695					
	7	0,374	2,2	86					Fe	0,374					
	8	0,196							Seka						0,196
	9	0,003							Fe	0,003					
④ roottori	1	0,091							Al		0,091				
	2	0,091							Al		0,091				
	3	9,353	4,8	86,4			2	6,1	Fe	9,353					
	4	1,754		67,5			23,5		Nd				1,754		
⑤ staattori	1	13,89	5,4	85,2			2	6,9	Fe	13,89					
	2	5,153					99,9		Cu			5,153			
	3	0,143							Muovi					0,143	
⑥ ruuvit		0,674							Fe	0,674					
Erotus (epäselvä)		0,332							Cu?			0,332			
<b>Yhteensä (jälkeen purkua)</b>		<b>51,4</b>								<b>27,7</b>	<b>14,5</b>	<b>5,49</b>	<b>1,75</b>	<b>0,18</b>	<b>1,75</b>
										<b>54 %</b>	<b>28 %</b>	<b>11 %</b>	<b>3 %</b>	<b>0,3 %</b>	<b>3 %</b>



Kuva 21 Nissan NOTE e-power generaattorin osat [32]

Taulukko 2 Sähköauton generaattorin osien materiaalitase. Osanumerot ovat samat kuin kuvassa 21 [32]

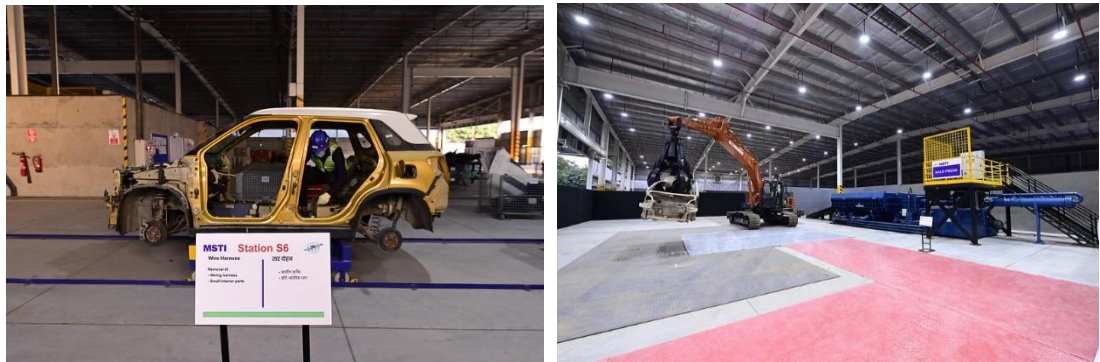
Osa-alue	Osat	Paino kg	Koostumus (%)						Materiaali- jake	Jakeittainen keräysmäärä (kg)					
			Al	Fe	Cu	Nd	Si	P		Fe	Al	Cu	Nd	Muovi	Seka
<b>Yhteensä (ennen purkua)</b>		<b>30,3</b>													
① kotelo	1	5,215	90,1		0,1		9,5	Al		5,215					
	2	0,058						Fe	0,058						
	3	0,178						Seka							0,178
② takaosa	1	2,112	82,4	0,9	2,9		12,5	Al		2,112					
	2	0,199						Al		0,199					
	3	0,011						Seka							0,011
	4	0,172						Fe	0,172						
	5	0,012						Muovi					0,012		
	6	0,005						Cu			0,005				
	7	0,009						Seka							0,009
	8	0,036						Muovi						0,036	
③ akseli	1	0,116						Fe	0,116						
	2	0,196						Seka							0,196
	3	0,039						Fe	0,039						
	4	0,101						Fe	0,101						
	5	0,022						Fe	0,022						
	6	2,257		98,1	0,2		0,5	Fe	2,257						
	7	0,196						Seka							0,196
	8	0,003						Fe	0,003						
④ roottori	1	0,164	84,2	1	2,5		10,8	Al		0,164					
	2	0,164	84,2	1	2,5		10,8	Al		0,164					
	3	5,378	1,7	94,5			3,1	Fe	5,378						
	4	0,925		68,9		25,9		Nd				0,925			
⑤ staattori	1	8,64	1,6	94,8			3	Fe	8,64						
	2	3,6						Cu			3,6				
⑥ ruuvit		0,367						Fe	0,367						
Erotus (epäselvä)			0,125					Al?		0,125					
<b>Yhteensä (jälkeen purkua)</b>		<b>30,3</b>								<b>17,15</b>	<b>7,98</b>	<b>3,61</b>	<b>0,93</b>	<b>0,05</b>	<b>0,59</b>
										<b>57%</b>	<b>26%</b>	<b>12%</b>	<b>3%</b>	<b>0,2%</b>	<b>2%</b>

## Sähkömoottorien purku- ja kierrätysprosessin koneellistaminen

Ajoneuvon purkamiseen on monta tapaa. Prosessi määräytyy tavoitteen mukaan, kuten onko purkuprosessi varaosatuotantoa vai materiaalikierrätyksen valmistelua ja optimointia varten.

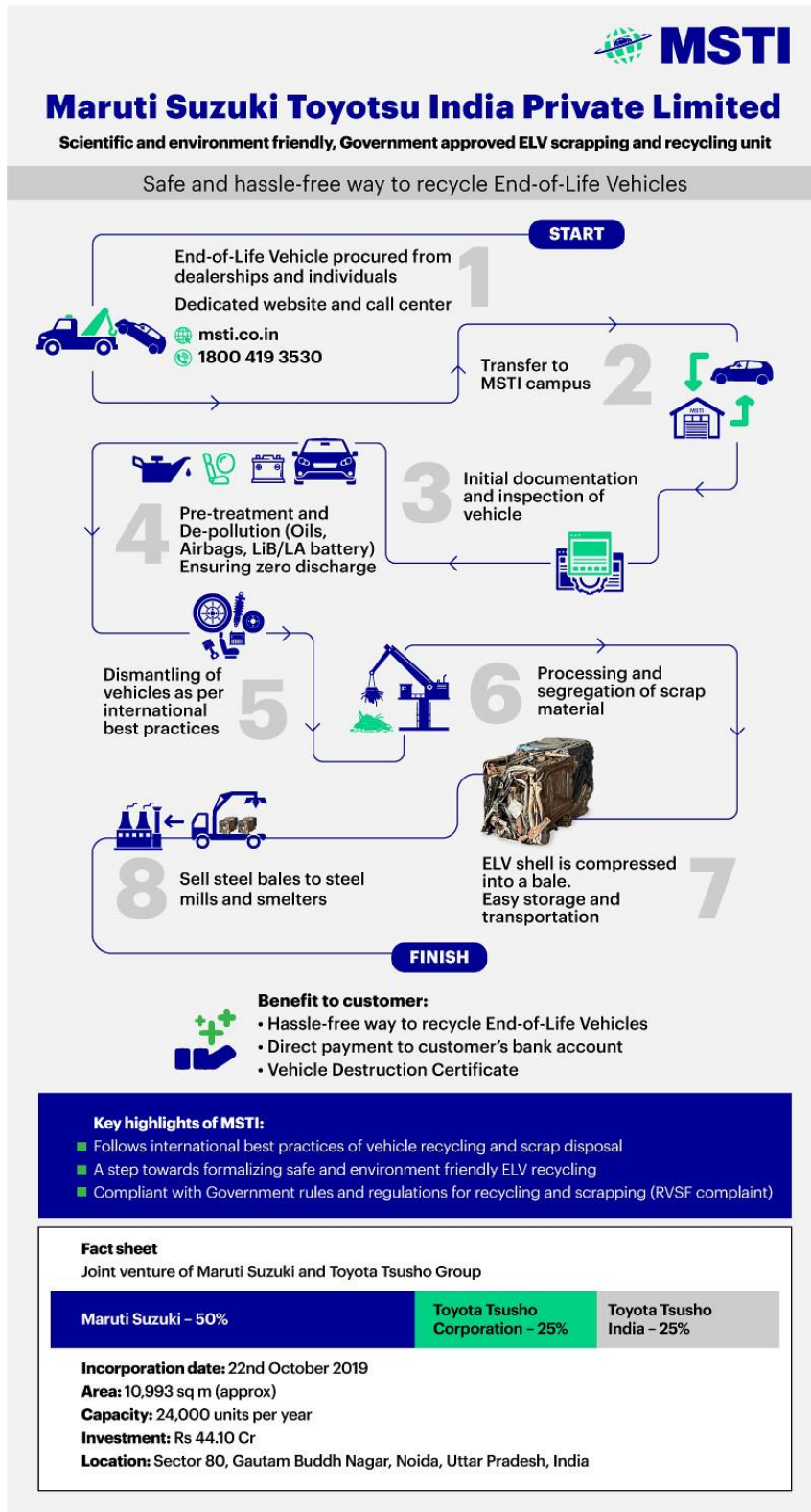
4.3.

Kokonaisvaltaisen autokierrätyksen tehdaskonseptissa molemmat on syytä huomioida. Näin on tehty esimerkiksi Intiaan v. 2021 käyttöön otetussa MSTI:n (Maruti Suzuki Toyotsu India) ELV purku- ja kierrätyslaitoksessa. MSTI on Maruti Suzuki ja Toyota Tsusho Groupin yhteisyritys. MSTI:n ensimmäisen tehtaan suunniteltu kapasiteetti on 24 000 autoa vuodessa. Yhden auton purkamisprosessi kestää noin 180 minuuttia paalauksen loppuun. [33]



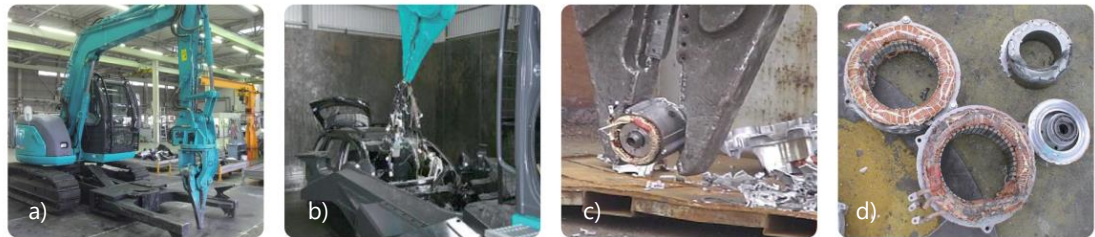
Kuva 10 MSTI:n ELV purkulinja, nosturi ja puristin [34]





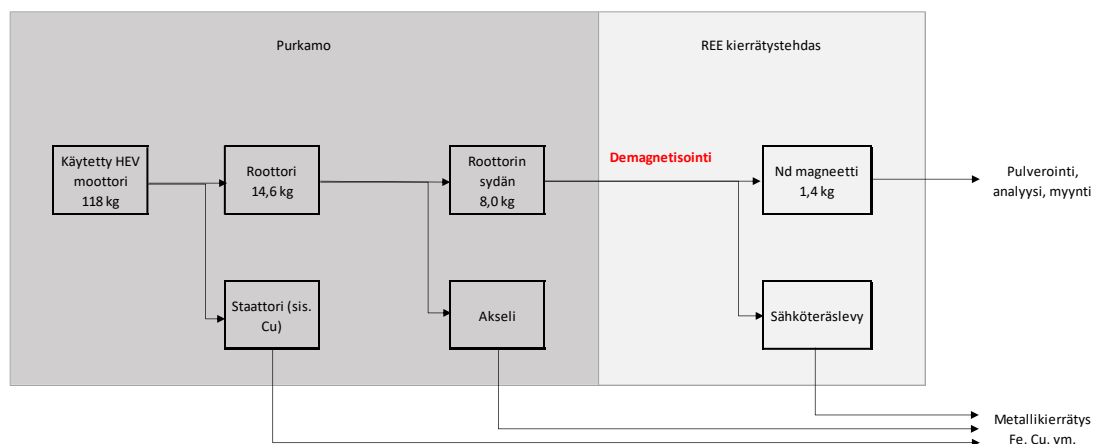
Kuva 23 MSTI:n ELV purku- ja kierrätyslaitoksen esittely [33]

Autokierrätystehtaissa on käytössä kalustoja, joka on suunniteltu ajoneuvon purkamista varten. Sähkömoottoreissa on jonkin verran painoa, joten koneellinen irrotus on tarpeen. Lisäksi koneellistaminen nopeuttaa prosessia. Alla olevassa kuvassa on yksi esimerkki Japanista.



**Kuva 24 a) Ajoneuvon purkamista varten suunniteltu raskas kalusto, b) johdinsarjan irrotus, c) moottorin irrotus, d) moottoriosien purku [35]**

Osien kierrätyksen vaiheiden koneellistamista on myös tutkittu eri tahoilla. Harvinaisten maametallien kierrätysmahdollisuuksien parantamiseksi myös neodyymimagneettien erotusta hybridauton moottoreista on tutkittu. Tässä oli ajateltu, että kierrätystehtaan käsiteltäväksi toimitetaan purkamoilta valmiiksi purettuja sähkömoottorien roottoreita (kuva 25). Purkuprosessin tehostamiseksi kehitettyjä työkaluja ja koneita on esitetty kuvissa 26–29. Roottorin ja akselin irrotuksessa säästyy aikaa ja työvoimaa erikoistyökalun avulla. Demagnetisointilaite säästää resursseja mahdollistamalla suuremman volyymin käsittelyn keskitetysti. Arvion mukaan, käsittelykustannus olisi noin 1/3–1/4 verrattuna täysin käsivoimin tehtävään purkuprosessiin.



**Kuva 25 HEV moottorin purkukonsepti Nd magneettien talteenottoa varten [36]**



Kuva 26 Työkalu roottorin irrotusta varten (kannettava) [36]



Kuva 27 Työkalu akselin irrotusta varten (kannettava) [36]



Kuva 28 Demagnetisointilaite [36]

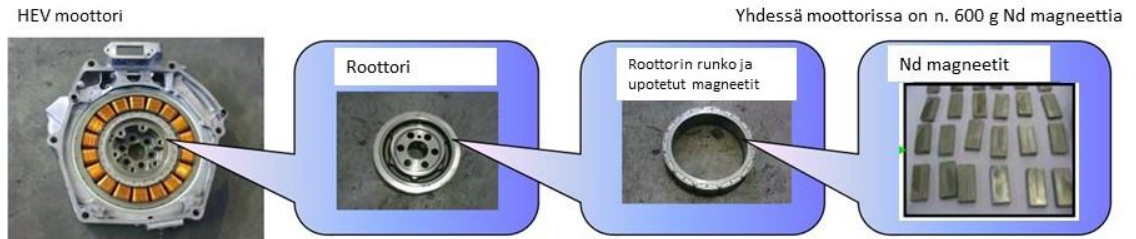


**Kuva 29 a) Hydraulikkaan ja värinään perustuva magneettien irrotuslaite, b) roottoriin upotettu magneetti [36]**

Toisessa tutkimuksessa oli kehitetty pilottilaitos HEV moottorien käsittelyä varten Honda Trading, Mark Corporation ja Mitsubishi Materials Corporationin yhteistyössä. Honda Trading vastasi moottorien keräyksestä. Mark Corporation vastasi moottorin purkamisesta. Mitsubishi Materials Corporation käsittelee kierrätettyä kuparia, ja toimi kyseisen hankkeen veturina. Magneettien irrotus ja talteenotto on tarpeellista kierrätyskuparin puhtauden kannalta. [37]



**Kuva 30 Pilottilaitteet roottorin ja staattorin käsittelyä varten. NdFeB-magneettien lisäksi muita värimetalleja mm. kuparia ja alumiinia otetaan talteen. [37]**



**Kuva 31 NdFeB magneettien irrotus HEV moottorista [37]**

Hybridiautojen moottorien kierrätys on kehittynyt Japanissa tutkimushankkeiden kautta. Autovalmistajien vahva paikallinen osallisuus ja riittävän suuri kotimarkkina edesauttavat mittavan kehitystyön kannattavuutta. Saumaton yhteistyö purku- ja kierrätystoimijoiden ja autonvalmistajien kanssa mahdollistaa tehokkaan kiertotalouden toteuttamisen. Pohjoismaissa Stena Recycling ja Volvo Cars ovat tehneet yhteistyötä. Stena Nordic Recycling Center käsittelee lähes 40 000 Volvo-merkkistä autoa vuodessa Halmstadissa. Design for Recycling -ajatukseen perustuva muovien kierrätyksen tehostamisen esiselvitys on tehty 2010-luvun lopulla. Yhteistyö mahdollistaa tehokkaan kierrätyksen, jopa yli 95 % kierrätysasteen, kohti jätteenöntä autonvalmistusta. [38] [39]

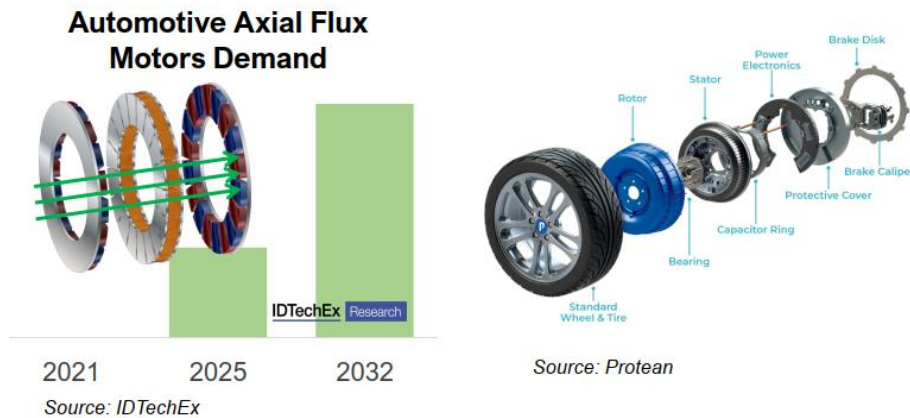
Purkuprosessin automatisoinnista ja robotisoinnista on saatavilla myös teoreettisen tutkimuksen julkaisuja akateemisesta maailmasta. [20] [21]

#### 4.4.

### Sähkömoottorien kehitystrendit

Sähköautojen läpimurto on vauhdittanut sähkömoottorien kehitystä viime vuosikymmenen aikana, ja kehitys jatkuu yhä kiihtyvään tahtiin. Autonvalmistajat etsivät innovatiivisia ratkaisuja, joilla saavutetaan haluttu suorituskyky kilpailukykyiseen hintaan, tinkimättä toimitusvarmuudesta. Geopoliittiset tilanteet ovat vaikuttaneet autoteollisuuteen. Harvinaisten maametallien käytön vähentämissyrkimykset näkyvät osin magneettien valinnassa, ja osin induktiomoottoriin siirtymisessä. Uudentyyppiset sähkömoottorit kuten aksiaalivuomoottorit, ja renkasiin integroidut "in-wheel" moottorit ovat myös nousussa. Tuoreita esimerkkejä on mm. Whylot, YASA, ja Elaphe. Valtavirta on edelleen kestopagneettimoottoreissa, mutta moottorivalinnan monipuolistuminen vaikuttaa kierrätysprosesseihin tulevaisuudessa.

Ajovoimamoottoreiden määrä sähköautoissa on myös nousussa, kun valmistajat optimoivat auton suorituskykyä yhdistämällä erilaisten moottoreiden ominaisuuksia etu- ja taka-akseleissa. [29]



**Kuva 112 Uusia sähkömoottorityyppejä kuten aksiaalivuomoottori, ja in-wheel moottori [29]**

## 5. ELV kiertotalouden mahdollistajat Satakunnassa

ELV kiertotalouden toimijoilla on vahva edustus Satakunnassa. Suomen Autokierrätys Oy:n neljästä operaattoreista kolmella on toimipiste Satakunnassa. Eurajoen Romu Oy:n päätoimipiste sijaitsee Eurajoella. Stena Recyclingin murskauslaitos toimii Porin Tahkoluodossa. Kuusakoski Oy:llä on keräysterminaali Mäntyluodossa. Nämä toimijat ovat lisäksi ajovoima-akkujen keräysoperaattoreita. Neljännellä ajovoima-akkujen keräysoperaattorilla, Fortum Waste Solutions Oy:llä on myös toimintaa Porissa. Fortumilla on lisäksi tähän tiiviisti kytkeytyvää akkumateriaalien kierrätysliiketoimintaa Harjavallassa ja Satakunnan naapurikunnassa Ikaalisissa. Satakuntaan on muodostunut Suomen metallienkierrätyksen logistinen keskittymä. Esimerkiksi Stena Recyclingissä käsitellyistä jakeista osa siirtyy Ruotsin Halmstadiin jatkokäsittelyyn. Yhteyttä Ruotsiin löytyy myös purkamoiden puolelta, kun Porissa toimiva autopurkamoyritys Autopalsta kuuluu ruotsalaislähtöiseen Autocirc-konserniin. Autocirc keskittyy autonosien uudelleenkäyttöön ja kierrätykseen. Yritysrhmittymään kuuluu itsenäisiä yrityksiä, jotka tuovat asiantuntijuutta autonositeollisuuteen, kuten purkamoita, korjaamoita ja romumetallien käsittelijän. Lisäksi autonrungoista, renkaista ja vanteista, autonkuljetuksesta ja hinauksesta vastaavat toimijat sekä konepajat kuuluvat konserniin täydentämään kiertotalouden toimintamallia. [40]

Suomen Autokierrätyksen virallisia ajoneuvojen vastaanottoaikoja on noin 300, josta 30 sijaitsee Satakunnassa. Joukossa on pieniä ja keskisuuria toimijoita, sekä purkamoita että romumetallikauppiaita. Tämän selvityksen kannalta kiinnostavia toimijoita olivat autopurkamot, joista parin yrityksen toimintaan tutustuttiin tarkemmin. Satakunnan alueen purkamoissa ELVien volyymin todettiin olevan vielä pieni.

**Taulukko 3 Suomen Autokierrätys Oy:n viralliset romuajoneuvojen vastaanottoaikat Satakunnassa [41]**

Romuajoneuvojen vastaanottoaikka	Postinumero ja -paikka
<a href="#">Auto ja Konemyynti Lasse Huikka Ky</a>	38600 Lavia
<a href="#">Autokeskus Haapala Oy</a>	38700 Kankaanpää
<a href="#">Autokierrätys L&amp;G Oy</a>	38700 Kankaanpää
<a href="#">Autokorjaamo Metsämäki Oy</a>	32700 Huittinen
<a href="#">Autopalsta Oy</a>	29570 Söörmarkku
<a href="#">Autopurkaamo Eloranta Oy</a>	38700 Kankaanpää
<a href="#">Autopurkaamo M. Niemi</a>	27430 Panelia
<a href="#">E-J Mustajärvi Oy</a>	29250 Nakkila
<a href="#">Eurajoen Romu Oy</a>	27100 Eurajoki
<a href="#">Euran Toimipalvelu Oy</a>	27800 Säkyä
<a href="#">Hinauspalvelu Ojala Oy</a>	32700 Huittinen
<a href="#">Kankaanpään Jätehuolto Jussila Oy</a>	38700 Kankaanpää
<a href="#">Kiukaisten Autopelti ja Hinaus Ky (Kiukainen)</a>	27400 Kiukainen
<a href="#">Kiukaisten Autopelti ja Hinaus Ky (Rauma)</a>	26100 Rauma
<a href="#">Kulamaan Auto, T. ja P. Virtanen</a>	26930 Vermuntila
<a href="#">Kuusakoski Oy Porin palvelupiste</a>	28880 Pori
<a href="#">Kuusakoski Oy Rauman palvelupiste</a>	26820 Rauma
<a href="#">Luvian Uusioteräs-Kierrätyspalvelu Oy</a>	29100 Luvia
<a href="#">Länsirannikon Romu Oy</a>	28760 Pori
<a href="#">Nakkilan Autohajottamo Oy</a>	29250 Nakkila
<a href="#">Paassillan Hinaus Oy</a>	27800 Säkyä
<a href="#">Peipohjan Autovaruste</a>	32810 Peipohja
<a href="#">Pohjolan Uusiokierrätys Oy</a>	27110 Eurajoki
<a href="#">Purkuosat Aaltonen Oy</a>	26510 Rauma
<a href="#">Ranjia Oy</a>	28580 Pori
<a href="#">Stena Recycling Oy, Pori</a>	28430 Pori
<a href="#">Suomen Uusiokone Oy</a>	29630 Pomarkku
<a href="#">Ulvilan Autopurkaamo Oy</a>	28400 Ulvila
<a href="#">Valko Ky M. Helkkula</a>	27340 IHODE
<a href="#">VaraosaHinttu Oy</a>	38800 Jämijärvi

Kierrätysmetallien mahdollisia loppuasiakkaita löytyy myös Satakunnasta, kuten kupari jalostava Boliden Harjavalta Oy. Lisäksi Porin kupariteollisuuspuistossa on arvoketjussa vielä pidemmällä olevia toimijoita, kuten Luvata Pori Oy, Aurubis Finland Oy ja Cupori Oy. Näiden mahdollisuudet hyödyntää kierrätysraaka-aineita suoraan ovat kuitenkin rajalliset. Valmiin tuotteen kierrätysastetta nostamalla ne voivat kuitenkin parantaa toimintansa, valmistusprosessinsa tai tuotteensa ilmastoystävällisyyttä. Vastaavia esimerkkejä ovat terästeollisuuden hiilivapaa teräs, ja energiatuotannon alkuperätakuujärjestelmä. Kun kuluttajien tietoisuus kiertotaloudesta kasvaa, tuotteen alkuperän, ilmastoystävällisyyden, ja kierrätysasteen merkitys voi kasvaa entisestään.

Sähköautojen tuotantomäärien kasvu lisää merkittävästi akuissa, sähkömoottoreissa ja voimansiirrossa käytettyjen metallien kysyntää. Raaka-aineiden saatavuus tulee olemaan haaste ja todennäköinen pullonkaula sähköautojen valmistuksessa. Metallikierrätyksen tehostamista pidetään yhtenä keinona varmistaa raaka-aineiden saatavuutta.

Satakunnassa on houkutteleva toimintaympäristö niin kierrätysteollisuudelle kuin sähköautoihin kytkeytyvälle teollisuudellekin. Alueella toimii merkittävä teknologiametalliklusteri, jonka teollisuuspuistojen energia-, kaasu-, kemikaali- ja logistiikkajärjestelmät turvaavat tehokkaan toiminnan sekä tarjoavat laajentumismahdollisuuksia. Tehokas infra, osaava kansainvälinen yritysverkosto ja valmistusketjujen synergiaedut ovat selkeitä vetovoimatekijöitä. Satakunnassa on myös vahva automaatioteollisuuden keskittymä, joka pystyy tarjoamaan teollisuudelle sen tarvitsemia automaatiotratkaisuja.

## 6. Johtopäätökset

Sähköautojen yleistyminen on trendi, joka tulee jatkumaan pitkälle tulevaisuuteen. Tämä kehitys tuo monenlaisia kasvun mahdollisuuksia satakuntalaiselle teknologiametalliklusterille. Alueen metallien jalostustoiminta on avainasemassa mahdollistamassa Euroopan autoteollisuuden siirtymistä kohti sähköautojen tuotantoa.

Sähköautojen ja niiden moottorien kierrätysjärjestelmä on vielä jäsentymätön ja kehitysvaiheessa. Järjestelmät ja niihin liittyvät lainsäädäntö ja markkinat ovat kuitenkin parasta aikaa muotoutumassa. Volyymien kasvaessa sähköautojen osien kierrättämisen ympärille syntyy merkittävää liiketoimintaa tulevina vuosina.

Satakunnan kannalta asia on varsin merkityksellinen, sillä maakuntaan on keskittynyt kansallisesti vahvoja auton purku- ja kierrätysyrityksiä ja konsortioita sekä murskaus ja kierrätysteknologiaa kehittäviä yrityksiä. Lisäksi alueella toimiva iso kupariklusteri on mukana kasvavassa sähköautoliiketoiminnassa ja joka käyttää myös kierrätyskuparia raaka-aineenaan.

Robo AI Green osaamiskeskus tulee jatkossa seuraamaan sähköautojen rakenteen, purun ja kierrätyksen kehitystä säännöllisesti ja toteuttaa tarvittaessa aiheeseen liittyviä ja Satakunnan yritysten intressejä tukevia selvityksiä ja kokeiluita. Ensimmäinen näistä, "Sähköauton purku" on hankehakemusvaiheessa ja sen toteuttamisessa otetaan huomioon tässä selvityksessä havaitut huomiot.



## 7. Lähteet

- [1] Autoalan tiedotuskeskus, "Tiivistelmäraportti 11.3.2022," 2022. [Online]. Available: [https://www.aut.fi/files/2196/Liikenteen\\_tiekartta\\_Tiivistelmaraportti\\_2022.pdf](https://www.aut.fi/files/2196/Liikenteen_tiekartta_Tiivistelmaraportti_2022.pdf).
- [2] Autoalan Tiedotuskeskus, "Henkilöautojen käyttövoimatilastot," 2023. [Online]. Available: [https://www.aut.fi/tilastot/ensirekisteroinnit/ensirekisteroinnit\\_kayttovoimittain/henkiloautojen\\_kayttovoimatilastot](https://www.aut.fi/tilastot/ensirekisteroinnit/ensirekisteroinnit_kayttovoimittain/henkiloautojen_kayttovoimatilastot). [Haettu 2 2023].
- [3] Autoalan Tiedotuskeskus, "Käyttövoimaennusteet," 17 2 2022. [Online]. Available: [https://www.aut.fi/files/2551/Kayttovoimaennusteet\\_17\\_02\\_2022.pdf](https://www.aut.fi/files/2551/Kayttovoimaennusteet_17_02_2022.pdf).
- [4] Sähköinen liikenne ry, "Sähköisen liikenteen tilannekatsaus Q4/2022," 30 1 2023. [Online].
- [5] IEA International Energy Agency, "IEA Global EV Outlook 2023," 2023. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>. [Haettu 2023].
- [6] IEA International Energy Agency, "Global sales and sales market share of electric cars 2010-2021," 2022. [Online]. Available: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-sales-and-sales-market-share-of-electric-cars-2010-2021>. [Haettu 2 2023].
- [7] IEA International Energy Agency, "IEA Global EV Outlook 2022," 2022. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022>. [Haettu 2 2023].
- [8] J. Kenraali, "Autokierrätyksen tulevaisuuden näkymät ja digitaalisen tietöalustan kehittäminen, esitys 14.2.2023," Suomen Autokierrätys Oy, 2023.
- [9] Euroopan Unioni, "Konsolidoitu teksti: Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/53/EY, annettu 18 päivänä syyskuuta 2000, romuajoneuvoista," 30 3 2023. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A02000L0053-20230330>.
- [10] Euroopan Unioni, "Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2018/849, annettu 30 päivänä toukokuuta 2018, romuajoneuvoista annetun direktiivin 2000/53/EY, paristoista ja akuista sekä käytetyistä paristoista ja akuista annetun direktiivin 2006/66/EY ja sähkö- ja ele," 14 6 2018. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A32018L0849&lang=FI>.
- [11] Suomen Autokierrätys Oy, "Sähköautojen akkujen kierrätysverkosto laajenee," [Online]. Available: <https://autokierratys.fi/ajankohtaista/sahkoautojen-akkujen-kierratysverkosto-laajenee/>. [Haettu 2023].

- [12] Autoalan Tiedotuskeskus, "Auton kierrätys," [Online]. Available: [https://www.aut.fi/ymparisto/auton\\_kierratys](https://www.aut.fi/ymparisto/auton_kierratys). [Haettu 2 2023].
- [13] Vertical - Sitra, "Selvitystyö autokierrätyksen tulevaisuudesta 9/2022," 11 2022. [Online]. Available: [https://autokierratys.fi/wp-content/uploads/2022/11/Vertical-Sitra\\_-Selvitystyö-autokierrätyksen-tulevaisuudesta-final.pdf](https://autokierratys.fi/wp-content/uploads/2022/11/Vertical-Sitra_-Selvitystyö-autokierrätyksen-tulevaisuudesta-final.pdf). [Haettu 2023].
- [14] Finlex, "Valtioneuvoston asetus romuajoneuvoista sekä vaarallisten aineiden käytön rajoittamisesta ajoneuvoissa 123/2015," 27 2 2015. [Online]. Available: <https://www.finlex.fi/fi/laki/smur/2015/20150123>. [Haettu 2023].
- [15] Pirkanmaan ELY-keskus, "Autot - Kierrätystavoitteet ja -tulokset - Tietoa tuottajavastuusta," [Online]. Available: <https://www.ely-keskus.fi/web/tuottajavastuu/kierr%C3%A4tystavoitteet-ja-tulokset-autot>. [Haettu 8 3 2023].
- [16] R. (. Kinnunen, "Romuajoneuvojen osien uudelleenkäytön edistämistoimien esiselvitys," Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus raportteja 76/2022, 2022.
- [17] Ympäristöministeriö, "Romuajoneuvojen osien uudelleenkäytön tehostaminen, Työryhmän raportti," Ympäristöministeriön raportteja 11/2017, 2017.
- [18] Japan Automobile Recycling Promotion Center / JARC, "Basic Survey on Automobile Recycling and Resource Circulation in Japan and Overseas - Report," 29.10.2021.
- [19] Japan ELV Recycler's Association, "A collection of case studies for such as recycle design that contribute towards improving the ease of dismantling end-of-life vehicles," 3.2021.
- [20] J. Fleischer, E. Gerlitz ja et al., "Concepts and requirements for Flexible Disassembly Systems for Drive Train Components of Electric Vehicles," *Procedia CIRP* 98, pp. 577-582, 2021.
- [21] S. Mangold, C. Steiner ja et al., "Vision-Based Screw Head Detection for Automated Disassembly for Remanufacturing," *Procedia CIRP* 105, pp. 1-6, 2022.
- [22] Automobile Inspection & Registration Information Association (AIRIA), "Autonomistuksen trendit Japanissa (japaninkielinen わが国の自動車保有動向)," 2022. [Online]. Available: <https://airia.or.jp/publish/statistics/trend.html>. [Haettu 5 2023].
- [23] Japan Automobile Dealers Association (JADA), "Henkilöautojen myyntitilasto energialähteiden mukaan (japaninkielinen 燃料別販売台数 (乗用車) 統計データ)," 2022. [Online]. Available: <http://www.jada.or.jp/data/month/m-fuel-hanbai/>. [Haettu 5 2023].
- [24] Toyota Motor Corporation, "Sustainability Data Book," 12.2022.

- [25] Toyota Tsusho Co. Ltd., "HV yksikön uudelleenkäyttö pientuulivoimalajärjestelmässä - raportti (japaniksi HV ユニットをリユースした小型風力発電システムを構築する仕組み作り 報告書)," 2017.
- [26] Toyota Tsusho Co. Ltd., "HV yksiköiden uudelleenkäyttömallin standardisointi ja monikäyttöiseksi kunnostamisen liiketoimintamalli - raportti (japaniksi HV ユニットをリユースするためのシステム標準化と多用途リマニュファクチャリング製品事業化体制構築 報告書)".
- [27] International Copper Association (ICA), "Copper - the pathway to net zero," 3 2023. [Online]. Available: <https://copperalliance.org/wp-content/uploads/2023/02/ICA-GlobalDecarbonization-202301-Final-singlepgs.pdf>. [Haettu 2023].
- [28] Eurometaux, "Circular Economy Stakeholder Conference Session: The European automotive industry driving towards circularity," 27 2 2023. [Online]. Available: [https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/2023-03/Automotive\\_Eurometaux.pdf](https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/2023-03/Automotive_Eurometaux.pdf). [Haettu 2023].
- [29] IDTechEx, "Electric Vehicles 2022 EOY Round-up webinar slides," 2022.
- [30] A. Dorofte, "WORLD PREMIERE: The All-New BMW iX3 with 459 kilometers range," BMW BLOG, 14 7 2020. [Online]. Available: <https://www.bmwblog.com/2020/07/14/bmw-ix3-first-electric-suv-2/>. [Haettu 6 2023].
- [31] A. Jha, "Let's discuss motors in Electric vehicles continued..." European Training Network for the Design and Recycling of Rare-Earth Permanent Magnet Motors and Generators in Hybrid and Full Electric Vehicles (DEMETER), 28 9 2016. [Online]. Available: <https://etn-demeter.eu/lets-discuss-motors-in-electric-vehicles-continued/>. [Haettu 2023].
- [32] Mitsubishi Materials Co. Ltd., "Käytetty sähköauton ajovoimamoottorin purkutekniikka - raportti (japaniksi, 使用済み電気自動車の駆動用モーター解体技術 報告書)," 2018.
- [33] Maruti Suzuki India Ltd., "Maruti Suzuki and Toyota Tsusho Group's Vehicle Scrapping and Recycling unit commences operations in India - Press release," 23 11 2021. [Online]. Available: <https://www.marutisuzuki.com/corporate/media/press-releases/2021/november/maruti-suzuki-and-toyota-tsusho-groups-vehicle-scrapping-and-recycling-unit-commences-operations>. [Haettu 2023].
- [34] Maruti Corporate, "MSTI Scrappage Plant inauguration," 23 11 2021. [Online]. Available: <https://flic.kr/s/aHsmXaadWA>. [Haettu 2023].
- [35] Toyota Motor Corp., "Vehicle Recycling (japaniksi クルリサ クルマとりサイクル)," 4 2017. [Online]. Available: <https://global.toyota.jp/sustainability/report/vehicle-recycling/>. [Haettu 2023].
- [36] Asahi Pretec, "Käytettyjen HEV-moottorien purkulaitteiden kehitys (japaniksi 使用済みHEVモーター解体装置の開発)," 2015.

- [37] Mitsubishi Materials Corp., "Teknologian kehittäminen neodyymimagneettien ja värimetallien talteenottamiseksi romuajoneuvoista (japaniksi 使用済み自動車からのネオジム磁石および非鉄金属回収技術開発)," 2015.
- [38] Stena Recycling, "Unique collaboration supports Volvo Cars," Stena Recycling, [Online]. Available: <https://www.stenarecycling.com/news-insights/insights-inspiration/guides-articles/unique-collaboration-supports-volvo-cars/>. [Haettu 2023].
- [39] Stena Recycling, "Re-made in Sweden," Stena Recycling, [Online]. Available: <https://www.stenarecycling.com/news-insights/insights-inspiration/guides-articles/re-made-in-sweden/>. [Haettu 2023].
- [40] Autocirc, "Yritys - Autocirc," [Online]. Available: <https://autocirc.com/fi/yritys/>. [Haettu 2023].
- [41] Suomen Autokierrätys Oy, "Vastaanottopaikat - Kierrätä autosi," [Online]. Available: <https://autokierratys.fi/kierratysohje/vastaanottopaikat/>. [Haettu 2023].

## 8. Liitteet

### Tyypillisesti uudelleenkäytettäviä ICE, HEV/PHEV, ja EV autosia

#### 3.3 Changes in the vehicle dismantling business

[Reference] Used parts that will decrease due to electrification

		ICE	HEV/PHEV	EV
Exterior parts	Bumper assembly	○	○	○
	Bonnet hood	○	○	○
	Radiator grill	○	○	○
	Headlight assembly	○	○	○
	Fender, door assembly	○	○	○
	Window regulator	○	○	○
	Side mirrors	○	○	○
	Window glass	○	○	○
	Backdoor assembly	○	○	○
	Trunk	○	○	○
	Combination lamp	○	○	○
	Engine assembly	○	○	—
	Engine parts	Cylinder head assembly	○	○
Turbocharger		△	△	—
Diesel injection pump		△	△	—
Common-rail injector		○	○	—
Air cleaner case		○	○	—
Fuel pump		○	○	—
Throttle body		○	○	—
Muffler		○	○	—
Radiator		○	○	—
Electric fan		○	○	—
Catalyst (gasoline)		○	○	—
DPF/DPD (diesel particulate trap filter)		△	△	—
Driving parts		Transmission assembly	○	○
	Torque converter	○	○	—
	Transfer	△	△	△
	Rear differential gear	○	○	○
	4WD coupling	△	△	△
	Drive shaft	○	○	○
	Strut assembly	○	○	○
	Brake master	○	○	○
	Knuckle hub assembly/Lower arm	○	○	○
	Power steering vane pump	○	○	○
	Steering gear box	○	○	○
	Electric power steering column	○	○	○
	Tires/wheels	○	○	○
Engine member	○	○	—	
Propeller shaft	△	△	△	
ABS actuator	○	○	○	
Brake caliper	○	○	○	
Electrical parts	Starter	○	○	—
	Alternator	○	○	—
	Air conditioner compressor	○	○	○
	Condenser	○	○	○
	Air flow meter	○	○	○
	O2 sensor	○	○	—
	Speedometer assembly	○	○	○
	Computers	○	○	○
	Power control unit	○	○	○
	Audio equipment	○	○	○
	Switches	○	○	○

Source: Target parts selected from the website of U-PARTS, INC.  
Equipping of parts by powertrain (ICE, HEV/PHEV, EV) estimated by Mitsubishi UFJ Research & Consulting

