

**AJOVOIMA-AKKUJEN ROBOTISOITU PURKAMINEN JA  
TARVITTAVA LAITTEISTO**

**Selvitystyö**

Sami Ollila

Opinnäytetyö

Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Insinööri (AMK)  
2024

Sähkö- ja Automaatiotekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Sami Ollila	Vuosi	2024
<b>Ohjaaja</b>	Ins. (YAMK) Heikki Isometsä		
<b>Toimeksiantaja</b>	Centria-ammattikorkeakoulu, lehtori Tero Kaarlela		
<b>Työn nimi</b>	Ajovoima-akkujen robotisoitu purkaminen ja tarvittava laitteisto.		
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b>	64 + 16		

---

Työn tavoitteena on selvittää se, millaista robotiikkaa tarvitaan, kun halutaan rakentaa robotisoitu sähköauton ajovoima-akkujen purkuprosessi. Voidaanko antaa yksiselitteistä ratkaisua siihen, millainen robotiikkalaitteisto sopii ajovoima-akkujen purkuun? Lisäksi otetaan kantaa käytettäviin ohjelmointitapoihin, ajovoima-akkujen purkuprosessin robotteihin ja niiden toimivuuteen, kun ohjelmoidaan roboteille uutta ohjelmaa.

Menetelminä edellisten tavoitteiden saavuttamiseen työssä on hyödynnetty alan kirjallisuutta, tutkimuksia ja opinnäytetyön tekijän omia kokemuksia. Työssä kerrottiin lyhyesti erilaisista sähköautoissa käytössä olevien akkujen kierrätyksestä sekä purkamisesta, purkuprosessiin tulevien ajovoima-akkujen ja komponenttien merkitsemistavoista myöhempää käyttöä ajatellen. Työssä käsiteltiin myös sitä, millaista tekniikkaa voitaisiin käyttää havaitsemaan akkujen sisällä olevien komponenttien asento sekä orientaatio purkuprosessin helpottamiseksi sekä komponenttien lajittelun helpottamiseksi.

Kaiken tämän tuloksena saatiin vastaus siihen, millaista laitteistoa robotiikan osalta tarvitaan purkuprosessissa. Työn liitteenä on esimerkki ajovoima-akkujen purkuprosessin vaatimusmäärittelystä ja selvitys, onko yksiselitteisen ja yleispätevän laitteistoesimerkin antaminen mahdollista.

**Avainsanat** vaatimusmäärittely, robotiikka, sähköauto, digitaalinen kaksonen

Electrical and Automation Engineering  
Bachelor of Engineering

---

<b>Author</b>	Sami Ollila	Year	2024
<b>Supervisor</b>	Heikki Isometsä, M.Sc. (Eng)		
<b>Commissioned by</b>	Centria University of Applied Sciences, lecturer Tero Kaarlela		
<b>Subject of thesis</b>	Robotic disassembly of drive power batteries and the necessary equipment.		
<b>Number of pages</b>	64 + 16		

---

The goal of the work is to find out what kind of robotics is needed when you want to build a robotic electric car drive battery discharge process. Is it possible to give an unequivocal solution to what kind of robotic equipment is suitable for disassembling traction batteries? In addition, an opinion will be taken on the programming methods used, the robots of the traction battery disassembly process and their functionality when programming a new program for the robots.

As methods for achieving the earlier goals, the work has used the literature of the field studies, and the author's own experiences. In the work, it was briefly explained about the recycling and disassembly of batteries used in electric cars, the methods of marking the drive power batteries and components coming into the disassembly process for future use. The work also discussed what kind of technology could be used to detect the position and orientation of the components inside the batteries to facilitate the dismantling process and to facilitate the sorting of the components.

The result of all this was the answer to what kind of robotics equipment is needed in the demolition process. Attached to the work is an example of the specification of requirements for the disassembly process of traction batteries and an explanation of whether it is possible to supply an unambiguous and universally valid equipment example.

**Keywords** requirements definition, robotics, electric car, digital twin

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	8
2	CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU .....	10
3	VAATIMUSMÄÄRITTELY AKKUJEN PURKUPROSESSISSA .....	11
3.1	Syy vaatimusmäärittelyiden laadintaan.....	11
3.2	Vaatimusmäärittelyn toiminnalliset vaatimukset .....	14
3.3	Vaatimusmäärittelyn ei-toiminnalliset vaatimukset .....	14
3.4	Vaatimusmäärittelyn reunaehdot .....	15
3.5	Osa-alueet vaatimusmäärittelyssä.....	15
3.6	Vaatimusten kartoittaminen, analysointi, dokumentointi ja validointi ..	15
4	SÄHKÖAUTOT JA TULEVAISUUS.....	17
5	SÄHKÖAUTOJEN AKKUTYYPIT JA TEKNIIKAT.....	18
6	AKKUTYYPPIEN KIERRÄTYKSESTÄ JA PURKAMISESTA.....	20
6.1	yleistä akkutyypin purkamisesta .....	20
6.2	Litiumtyyppisten ajovoima-akkujen purkuprosessista .....	22
6.3	Akkujen purkutyön tekniset haasteet .....	24
7	AJOVOIMA-AKKUJEN KOMPONENTTIEN ASENNON, ORIENTAATION JA PAIKAN TUNNISTUS KONENÄÖN AVULLA .....	27
7.1	Purkamisen edellytyksiä .....	27
7.2	Kamerajärjestelmän valinnasta komponenttien tunnistukseen .....	28
7.3	Ajovoima-akkujen komponenttien segmentointi.....	31
7.4	Pistepilvi apuna komponenttien tunnistuksessa .....	33
8	SENSORIPOHJAINEN MATERIAALIN TUNNISTUS AKUISTA.....	35
9	PURKUPROSESSISTA TULEVAN MATERIAALIN MERKINTÄ JA EROTUSPROSESSI.....	39
10	ROBOTIIKKA.....	44
10.1	Robotiikan historiasta ja jaottelusta .....	44
10.2	Teollisuusrobotit .....	45
10.3	Mobiilirobotit .....	46
10.4	Robottien ohjelmointitavat akun purkuprosessissa .....	47

10.4.1	Robotin ohjelmointi ohjauspäätteellä .....	48
10.4.2	Robotin ohjelmointi ohjelmistoa käyttäen .....	48
10.4.3	Robotin ohjelmointi virtuaaliodellisuudessa .....	49
10.4.4	Robotin ohjelmointi johdattamalla.....	50
10.4.5	Robotin ohjelmointi etäohjelmoimalla .....	51
10.5	Robottien työkalut ja tarttijat .....	52
10.5.1	Robottien tarttijat .....	52
10.5.2	Robottien työkalut.....	53
10.6	Digitaalinen kaksonen.....	53
11	AJOVOIMA-AKKUJEN PURKUPROSESSIN PROSESSIKUVAUS .....	55
12	ESIIN NOUSSEET HAASTEET .....	57
13	POHDINTA.....	58
	LÄHTEET.....	60
	LIITTEET .....	64

## Käytetyt lyhenteet

ATEX-dokumentit	Räjähdyssuojausasiakirja, Explosion protection document.
BIM-mallinnus	Building Information Modeling, tietomallinusta tai tietomalli.
BMS	Battery Management System, akun hallintajärjestelmä
CAN-bus	CAN-väylä on ohjainlaitteiden ja antureiden väliseen kommunikointiin käytetty tiedonsiirtoväylä. CAN-lyhenne tulee sanoista Controller Area Network.
CLoDSA	Avoimen lähdekoodin kuvan lisäyskirjasto objektien luokitteluun, lokalisointiin, havaitsemiseen, semanttiseen segmentointiin ja ilmentymien segmentointiin.
EOL	Elinkaaren loppupuolella oleva tuote, end-of-life product (EOL product)
FPFH	Fast Point Feature Histograms, Teoreettinen ja laskennallinen piste histogrammista
ICP	Iterative closest point (ICP) on algoritmi, jota käytetään minimoimaan kahden pistepilven välinen ero
IIoT	Teollisuuden esineiden internet, Industrial internet of things.
IoT	Esineiden internet, internet of things.

LIBS	LIBS on lyhenne sanoista Laser Induced Breakdown Spectroscopy. Tekniikka, jota käytetään materiaalien alkuainekoostumuksen määrittämiseen.
Plugin	Plugin, apuohjelma, jota voidaan kutsua isäntäohjelmasta suorittamaan joku tehtävä
OLP	Offline programming, Offline-ohjelmointi.
Open3D	A Modern Library for 3D Data Processing, Kirjasto 3D-datan prosessointiin
RGB	Color model, värimalli punainen, vihreä ja sininen.

## 1 JOHDANTO

Liikenteen sähköistyminen lisää liikenteessä olevien sähköautojen määrää sekä sähköautojen osien kierrättämisen tarvetta. Lisäämällä kierrätystä säästetään samalla rajallisia resursseja arvokkaista sähköauton komponenttien valmistukseen tarvittavista malmivarannoista ja alkuaineista. Tehtävät lakimuutokset ovat omalta osaltaan vaikuttamassa sähköautoilun lisääntymiseen ja suurin piikki sähköautoilun lisääntymisessä on nähtävissä muutaman vuoden sisällä. (Nordic plug.)

Tämän opinnäytetyön puitteissa selvitetään, miten on järkevää purkaa sähköajoneuvojen ajovoima-akkuja robotisoidusti ja minkälaista laitteistoa se vaatii. Yksi Opinnäytetyön keskeisin tulos on vaatimusmäärittely robotisoidulle akkujenpurkuprosessille.

Pääsyy vaatimusmäärittelyn laadintaan on, että prosessin käyttäjät saisivat käsityksen prosessin toimintatavoista ja tarpeista. Vaatimusmäärittelydokumentin laadinta on haasteellinen tehtävä sitä käyttävien henkilöiden erilaisesta taustasta johtuen. Dokumentin on kuitenkin palveltava mahdollisimman hyvin kaikkia sitä tarvitsevia tahoja ja sen päivitettävyyys sekä version hallinta on oltavariittävällä tasolla.

Työn puitteissa olisi voinut käsitellä myös tarvittavaa infrastruktuuria, logistiikka-kehitystä sekä ilmastointiratkaisuja turvallisuusratkaisujen ohella, mutta nämä aiheet rajattiin työstä pois, koska niiden mukaan ottaminen olisi lisännyt huomattavasti työn sivumäärää.

Sen selvittäminen, mitä sähköajoneuvojen ajoakkujen purkaminen robotisoidusti vaatii, riippuu paljolti purkuprosessin halutusta robotisoinnin ja automatisoinnin asteesta. Haluttaessa robottien nostavan purkuun tulevat akustot kuljettimelle vaaditaan roboteilta suurta käsittelykykyä, koska akustot ovat painavia. Monelta robottivalmistajalta, esimerkiksi Kukaalta löytyy robotteja, mitkä pystyvät käsittelemään painaviakin akustoja.



On perusteltua purkaa akustoja robotisoidusti monista vaaratekijöistä johtuen, mitä purkuprosessin aikana voi tulla eteen. Näitä vaaratekijöitä ovat mm. vaaralliset tai räjähtävät kaasut, valokaaret ja tulipaloriskit. Robotisoinnin astetta ei kuitenkaan voida nostaa mahdottomasti käsittelylaitoksessa, missä käsitellään akustoja. Ihmisen täytyy olla jossain käsittelyprosessin osa-alueessa mukana jossain määrin, esimerkiksi siirtämässä akustoja trukilla.

Tämän opinnäytetyön tutkimuskysymyksiä ovat:

- Millaista laitteistoa purkuprosessissa tarvitaan?
- Miten on järkevää purkaa robotisoidusti sähköauton ajovoima-akkuja?

## 2 CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU

Centria-ammattikorkeakoululla on toimipisteet Kokkolassa, Pietarsaassa sekä Ylivieskassa. Centriassa voi opiskella mm. tekniikan alalla useita erilaisia insinöörin tutkintoja monimuotototeutuksena tai päivätoteutuksena. Lisäksi löytyy vaihtoehtoja koulutukseen sosiaali- ja terveysalalta, liiketalouden puolelta sekä humanistiselta ja kasvatusalalta. Osa edellä mainituista aloista voi myös opiskella englanninkielisenä. (Centria AMK, tutkinnot.)

Yritykset ja yhteisöt saavat Centrialta erinäisiä kehittämis- ja koulutuspalveluita toiminnan ja osaamisen kehittämiseen asiantuntija-, tuotekehitys- sekä tuotannon ja prosessien kehittämispalveluiden muodossa. (Centria AMK, tutkimus, kehitys ja palvelut.)

Centrialla on mm. Ylivieskassa, vierimaantiellä Robo3D-laboratorio, josta löytyy eri valmistajien teollisuus-, mobiili- ja yhteistyörobotteja. Laboratoriosta löytyy myös erilaisia 3D-skannereita sekä konenäkökameroita kuin myös 3D-tulostimia ohjelmistoinen. Lisäksi sieltä löytyy kattavat mahdollisuudet AR:n, VR:n ja XR:n hyödyntämiseen kehittämiskohteissa. (Centria AMK, tutkimus, kehitys ja palvelut.)

Edellisten lisäksi Centrialla on kattava kalusto erilaisia drone-ratkaisuja ja autonomisia laitteita. Näitä laitteita voidaan käyttää mm. ilmasta tehtäviin mittauksiin, joissa havainnoidaan esimerkiksi kaukolämpöverkkojen vuotoja tai suoritetaan mittauksia vaikeapääsyisissä paikoissa. Lisäksi laitteistoa voidaan käyttää muun muassa valvontatehtäviin. (Centria AMK, tutkimus, kehitys ja palvelut.)

### 3 VAATIMUSMÄÄRITTELY AKKUJEN PURKUPROSESSISSA

#### 3.1 Syy vaatimusmäärittelyiden laadintaan

Syy miksi vaatimusmäärittely laaditaan, on se, että prosessin käyttäjät saisivat käsityksen prosessin toimintatavoista. Esimerkiksi ohjelmistotuotannossa kartoitetaan projektin etenemistä mahdollisimman tarkasti ja kerrotaan valmiin ohjelmistotuotteen toiminnasta.

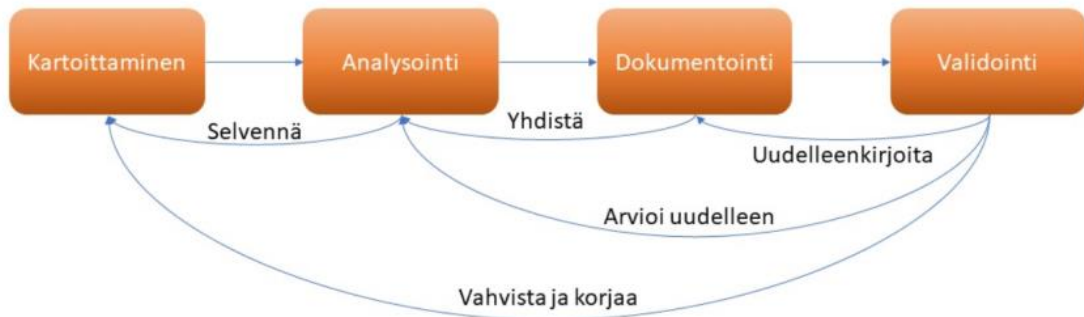
Vaatimusmäärittelydokumentin laadinta on haasteellinen tehtävä sitä käyttävien henkilöiden erilaisesta taustasta johtuen. Dokumenttia käsittelee henkilöt, jotka ovat taustaltaan, osaamiseltaan ja tekniseltä ymmärrykseltään erilaisia. Dokumentin on kuitenkin oltava sellainen, että se palvelee mahdollisimman hyvin kaikkia sitä tarvitsevia tahoja ja sen päivitettävyyys sekä version hallinta on riittävällä tasolla. Näin on suotavaa toimia, jotta pysyttäisiin ajan tasalla vaatimusmäärittelydokumentin muutoksista. Yleensä dokumentin laatii sellainen henkilö, joka on riittävässä määrin perillä asiakkaan toimintatavoista ja tarpeista. (Metsis 2022, 9.)

Vaatimusmäärittelydokumentti voi olla esimerkiksi Word-dokumentti tai Excel-dokumentti, tai se voidaan myös tehdä wikimuotoon ja laittaa verkkoon näkyville. Millainen vaatimusmäärittelydokumentti loppujen lopuksi on ja mihin muotoon se kirjoitetaan, on asiakkaan ja dokumentin tekijän välinen sopimusasia. (Metsis 2022, 9.)

Ennen vaatimusmäärittelyn tekoa täytyy selvittää ongelma ja ymmärtää ongelman laatu sekä päättää seuraavat kolme asiaa:

- Millainen on ratkaistava ongelma?
- Miksi ongelma kaipaa ratkaisua?
- Kuka vastaa ongelman ratkaisusta? (Koivula 2020.)

Kuviossa 1 on esitetty vaatimusmäärittelyn iteroinnin vaihteita kaaviomuodossa havainnollistamaan vaatimusmäärittelyn vaihteita.



Kuvio 1. Vaatimusmäärittelydokumentin vaiheet ja iteroinnin vaiheet (Leino 2021)

Vaatimusmäärittelyä tehdessä on ensiarvoisen tärkeää ymmärtää asiakkaan tarpeet, koska se on ehkäpä tärkein osa-alue vaatimusmäärittelyssä ja siinä että tehtävä projekti saadaan onnistumaan. (Leino 2021, 2.)

Hyvän vaatimusmäärittelyn on oltava riittävän selkeä ja yksiselitteinen. Siitä on käytävä ilmi se mitä prosessilla pystytään tekemään ja mitä ominaisuuksia sillä on. Prosessilla, josta vaatimusmäärittely tehdään, on kolmenlaisia ominaisuuksia:

- Toiminnallisia, toiminnallisissa vaatimuksissa kuvataan sitä, miten prosessin pitäisi toimia käytännössä.
- Ei-toiminnallisia, tästä vaatimusluokasta käy ilmi se käytettävän prosessin rajoitukset. Tarpeen tullen tämä toiminnallisuuden luokka voidaan jakaa vielä eri alaluokkiin.
- Reunaehdot, reunaehdoissa määritellään se, onko tarpeen suorittaa prosessin robottien ohjelmointi jollain ohjelmointityökalulla, kuten RoboDK:lla. (Visure.)

Prosessin tilaajalla eli asiakkaalla on tietynlainen vaatimus prosessin toimivuudesta, että se suorittaa sille annetut tehtävät oikealla tavalla. Itse vaatimus paloi-

tellaan alaryhmiin, jotta voidaan tarkemmin pureutua mm. siihen millaisia toimintoja ja millä nopeudella prosessin pitää toimia, että saavutetaan se mitä asiakas haluaa prosessilta. Taulukossa 1 on esitetty asiakkaan vaatimus purettuna alaryhmiin, joista muodostuu yhteen kasattuna asiakkaan vaatimus eli vaatimusmäärittely. (Perko 2021, 19.)

Taulukko 1. Vaatimukset alaryhmineen (Perko 2021, 19)

VAATIMUS (mitä asiakas haluaa)					
Kaupalliset rajoitteet	Suunnitteluun liittyvät rajoitteet	Toiminnalliset (mitä järjestelmä tekee)			
		'Varsinaiset' toiminnalliset vaatimukset	Suorituskykyyn liittyvät vaatimukset (ei-toiminnalliset vaatimukset)		
			Nopeus	Kapasiteetti	Luotettavuus

Tämän opinnäytetyön vaatimusmäärittelydokumentti (Liite 1) tehdään prosessista, jossa joissain tapauksissa saattaa esiintyä ihmisille vaarallisia kaasuja sähköauton ajoakkujen purusta johtuen. Nämä kaasut tietynlaisesta ilma/kaasuseoksesta johtuen voivat aiheuttaa mm. räjähdysvaaran tai olla vaarallista hengitettynä. Edellä mainitut asiat täytyy tästä syystä ottaa dokumenttia laadittaessa huomioon konedirektiivin ja ATEX-dokumentoinnin ohella. Vaarallisten kemikaalien käsittely on myös osa-alue, johon täytyy kiinnittää huomiota. Tähän löytyy tukes.fi sivustolta apuja. (Tukes 2021.)

ATEX-dokumentoinnissa otetaan puolestaan kantaa mm siihen, millaisia koneita ja laitteita ATEX-luokitellussa tilassa voidaan käyttää ja millaisia järjestelyitä ko. tilassa pitää tehdä, että siitä saadaan turvallinen toimia. ATEX-säännökset koskevat kaikkia niitä työnantajia, joiden työntekijät voivat joutua alttiiksi syttyvistä nesteistä, kaasuista tai pölyistä aiheutuvalle räjähdysvaaralle. (Tukes 2015.)

### 3.2 Vaatimusmäärittelyn toiminnalliset vaatimukset

Toiminnallisiksi vaatimuksiksi kutsutaan vaatimusmäärittelyssä niitä vaatimuksia, missä kerrotaan, miten prosessin pitäisi käytännössä toimia. Joissain tapauksissa toiminnallisia vaatimuksia voidaan myös kutsua käytös- tai toimintavaatimuksiksi siitä syystä, että ne täsmentävät prosessin toimivuutta sähköauton ajoakun purun aikana. Toiminnallisten vaatimusten ensisijainen tehtävä on syytä kuvata toimintaprosesseina, jotta voidaan hahmottaa prosessin kokonaiskuva paremmin. (Metsis 2022, 13.)

Prosessin tai tuotteen toiminnallisuuden kuvaamiseen on hyvä käyttää selkeyden vuoksi esimerkiksi vuokaavioita, josta käy selkeästi ilmi prosessin eri vaiheet. (Metsis 2022, 13.)

Toiminnallisten ominaisuuksien selkeyttämiseksi prosessista voidaan tehdä simulaatio selkeyttämään toiminnallisten vaatimusten kuvaa ja sitä että onko tarpeen tehdä muutoksia prosessin laitteiston ohjelmointiin.

### 3.3 Vaatimusmäärittelyn ei-toiminnalliset vaatimukset

Ei-toiminnalliset vaatimukset ovat toiminnallisten vaatimusten rajoituksia ja reunaehtoja. Ei-toiminnalliset vaatimukset kertovat prosessin niistä ehdoista, joita se tarvitsee toimiakseen. Tärkeystasolla ei-toiminnalliset vaatimukset ovat samaa luokkaa kuin toiminnalliset vaatimukset. (Lampela & Boman 2021, 24.)

Ei-toiminnalliset vaatimukset voidaan jakaa mm. seuraavanlaisiin kategorioihin:

- Käytettävyys: kertoo sen, millainen prosessi on käyttää käyttäjän näkökulmasta tarkasteltuna.
- Suorituskyky: kuinka nopeasti tuote saadaan läpi prosessista.
- Luotettavuus: kuinka luotettavasti prosessi toimii ilman virheitä.
- Tietoturva: tämä vaatimus kertoo sen, kuinka tietoturvallista prosessia on käyttää. Lisäksi tässä vaatimuksessa voidaan esimerkiksi ottaa kantaa siihen, miten estetään pääsy luvattomilta käyttäjiltä prosessin ohjelmointikoneille. (Lampela & Boman 2021, 24.)

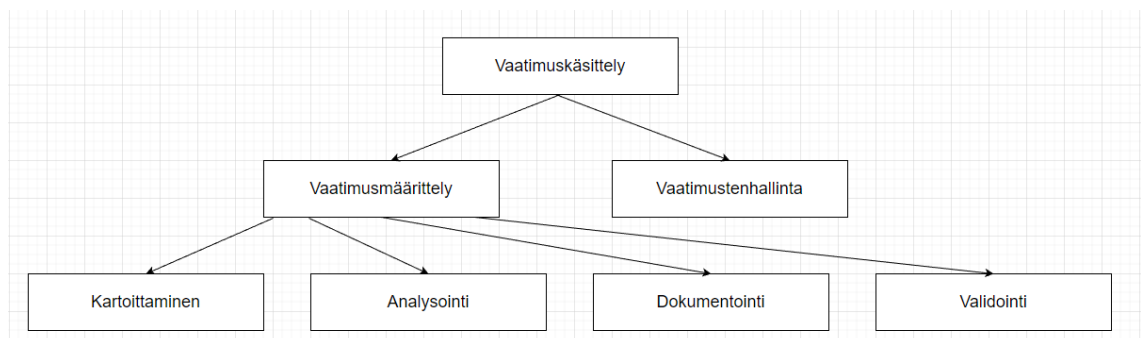
### 3.4 Vaatimusmäärittelyn reunaehdot

Vaatimusmäärittelyssä reunaehdot voivat liittyä käyttäjälähtöisiin tarpeisiin, kuten esimerkiksi siihen, millaisilla laitteilla purkuprosessin robotit ohjelmoidaan ja onko tarpeen käyttää ohjelmoinnissa VR-sovellutuksia. Digitaalisten kaksosten tarve ohjelmoinnissa kuuluu myös reunaehtoihin.

Mikäli prosessissa olisi käytössä kaksi eri merkkistä robottia, täytyy tällaisessa tapauksessa miettiä, hankitaanko kaksi erillistä ohjelmointityökalua. Erillisten ohjelmointityökalujen hankinta roboteille on perusteltua tapauksessa, jos niihin on sisällytetty valmistajan erikoisominaisuuksia, joita ei yleisohjelmista löydy.

### 3.5 Osa-alueet vaatimusmäärittelyssä

Jotta vaatimusmäärittelyn lopputulos olisi molempia osapuolia tyydyttävä, vaatimusmäärittelyssä on tietyt osa-alueet, joita olisi hyvä noudattaa. Kuviossa 2 on esitetty karkea kaaviokuva vaatimusmäärittelyn osa-alueista.



Kuvio 2. Osa-alueet vaatimusmäärittelyssä (mukaellen Tuominen 2017, 7)

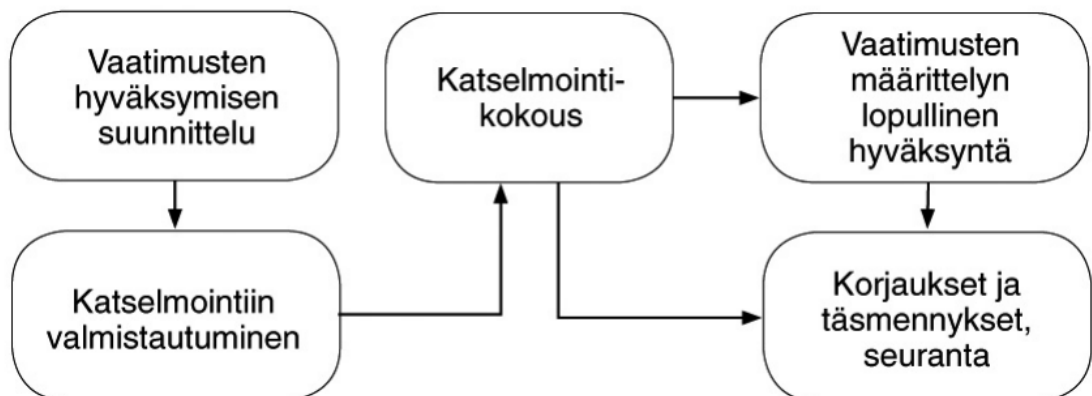
### 3.6 Vaatimusten kartoittaminen, analysointi, dokumentointi ja validointi

**Kartoittaessa** vaatimusmäärittelyn vaatimuksia, olivat ne sitten toiminnallisia tai ei-toiminnallisia, keinoina voidaan käyttää mm. sähköpostikirjeen vaihtoa, työpajoja tai jotain muuta hyväksi havaittua menetelmää. Työpaja on hyvä ratkaisu, koska sillä tavalla saadaan kerättyä ammattilaiset saman katon alle kehittämään ideoita hyvistä ja toimivista vaatimuksista. (Tuominen 2017, 8.)

**Vaatimuksia analysoitaessa** samalla voidaan tarkentaa niitä ja miettiä sitä mikä on niiden keskinäinen suhde ja pitääkö jonkin vaatimuksen täytyä ennen jotain toista. (Tuominen 2017, 8.)

**Vaatimusten dokumentointi** suoritetaan selkeällä ja sovitulla tavalla. Vaatimukset voidaan dokumentoida esimerkiksi html-muotoon, word-dokumenttiin tai Excel-tiedoston välilehdille. (Tuominen 2017, 8.)

**Vaatimusten validointi** suoritetaan katselmoimalla tai jollain muulla yhdessä sovitulla tavalla yhdessä asiakkaan kanssa Järjestettäessä vaatimuksien katselmuks, olisi hyvä käyttää asiakkaan asiantuntemusta rakennettavasta prosessista, jotta huomataan vaatimusten joukosta virheelliset vaatimukset sekä mietitään yhdessä asiakkaan kanssa menetelmät virheiden eliminoimiseksi. Kuviossa 3 on esitetty vaatimusten katselmoinnin menettelykaavio. (Tuominen 2017, 8.)



Kuvio 3. Vaatimusten katselmoinnin prosessi (Tuominen 2017, 8)



#### 4 SÄHKÖAUTOT JA TULEVAISUUS

Liikenne sähköistyy kovaa vauhtia ja sitä myötä sähköautot ja niiden tekniikan uudelleen hyödyntäminen kierrättämisen muodossa. Kierrättämällä jo olemassa olevia materiaaleja voidaan säästää rajallisia resursseja arvokkaista maametalleista, joita käytetään sähköauton komponenttien valmistukseen. (Nordic plug.)

Sähköautoilua on osaltaan vauhdittamassa lainsäädännön muutokset ja suurin sähköistumispiikki autoilussa on nähtävissä todennäköisesti muutaman vuoden sisällä. Automäärällisesti tämä tarkoittaa sitä, että vuonna 2030 sähköautoja on kaavailtu olevan liikenteessä noin 600 000, kun niitä nyt on liikenteessä noin 35 000 kappaletta. (Nordic plug.)

Akkutekniikan kehittyessä ja sähköauton akkujen energiasisällön kasvaessa lisääntyy myös sähköautojen toimintamatka. Esimerkiksi Autonvalmistaja KIA:n mukaan sähköauton akkujen energiasisältö tulee kasvamaan nykyisestä 50 % vuoteen 2030 mennessä. Nykyään hyvin tavallinen sähköauton toimintamatka täydellä akulla on noin 400 kilometriä, mikä tulisi siis kasvamaan noin 600 kilometriin vuoteen 2030 mennessä. (Nordic plug.)

## 5 SÄHKÖAUTOJEN AKKUTYYPIT JA TEKNIIKAT

Sähköautoissa yleisimmät akkutyypit ovat: lyijy Akku, litium Akku ja nikkeli-metalli-hybridi Akku (NiMH). Lyijy Akkuihin perustuvat akustot sähköautoissa eivät ole lyöneet läpi pääasiassa siksi, koska niissä on ollut rajoittavana tekijänä energiatiheyden alhaisuus, joka on luokkaa 20–40 Wh/kg. Tätä akkutyyppeä ei tavata käytettävän kuin joissain ratkaisuissa, missä tarvitaan halpaa akkuratkaisua. Vaikka-kaan lyijy Akkuja ei käytetä sähköautojen pääasiallisina ajo Akkuina, niille löytyy monia muita käyttökohteita, kuten autojen käynnistys Akkuna. Edellisten käyttökohteiden lisäksi ne ovat luotettavia ja kustannustehokkaita virtalähteitä. (Peltola 2021, 7.)

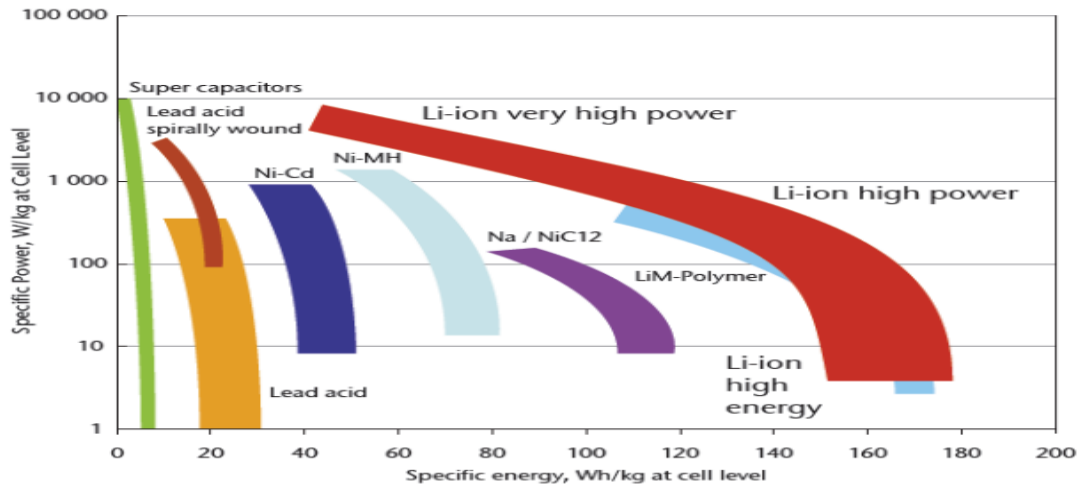
Lyijy Akkuun verrattuna nikkeli-metallihybridi Akkussa on noin kaksinkertainen energiatiheys ja jokseenkin huomattavasti pienemmässä koossa. Elektrolyytinä NiMH-akuissa toimii kaliumhydroksidi, katodit ovat puolestaan nikkelihydroksidia ja anodit eri metalliseoksia. (Peltola 2021, 8.)

Litium Akkuja alkoi tulla markkinoille 1990-luvun alkupuolella Sonyn valmistamana ja ensimmäisen litium Akkuinen auto oli Tesla Roadster 2008. Litium Akkuissa on erilaisia akkukemioita tarjolla, jotka käyvät ilmi taulukosta 2. Yleisimmin käytetyt Litium-akkukemiat ovat NCM- ja NCA. (Haimi 2020, 5.)

Taulukko 2 Litium Akkujen kemiallisia ratkaisuja (Haimi 2020, 5)

Kemia	Nimi	Kemiallinen kaava	Energiatiheys Wh/kg	Lämpökarkaaminen (°C)
LCO	Litium-kobolttioksidi	$\text{LiCoO}_2$	150–200	150
LMO	Litium-mangaanioksidi	$\text{LiMn}_2\text{O}_4$	100–150	250
NCM	Litium-nikkeli-koboltti-mangaanioksidi	$\text{LiNiMnCoO}_2$	150–220	210
LFP	Litium-rautafosfaatti	$\text{LiFePO}_4$	90–120	270
NCA	Litium-nikkeli-koboltti-alumiinioksidi	$\text{LiNiCoAlO}_2$	200–260	150
LTO	Litium-titanaatti	$\text{Li}_2\text{TiO}_3$	50–80	Ei karkaa (hiilivapaa) [10]

Kuviossa 6 on vertailtu eri akkutyyppeiden energiatiheyksiä. Verrattaessa tavallista lyijyakkua ja Litiumtyyppistä akkua nähdään, että Litium-akussa on paljon suurempi energiatiheys ja syklinkesto kuin lyijyakussa.

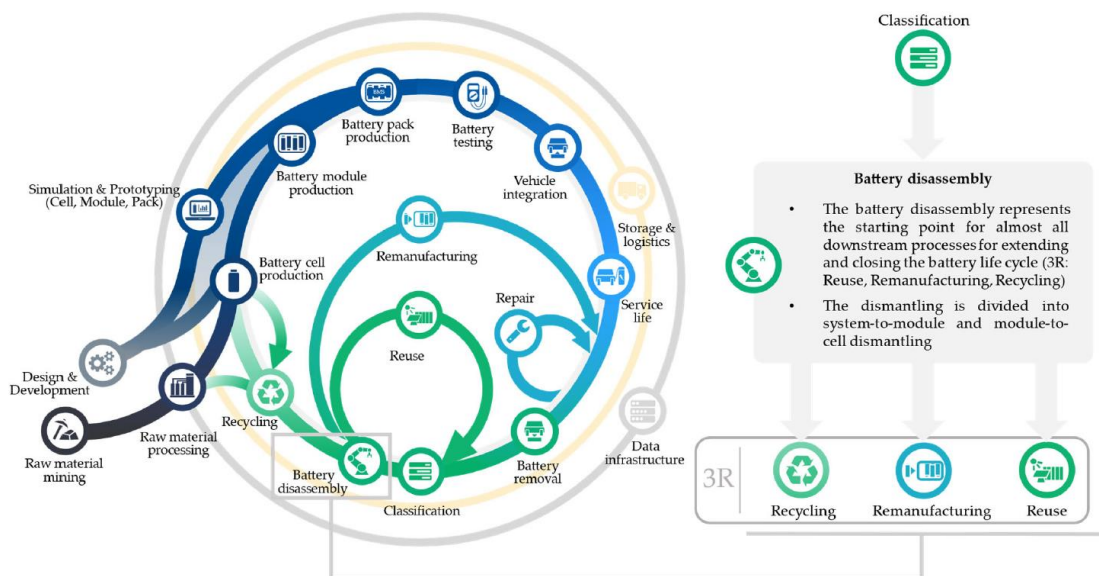


Kuvio 6. Akkutyyppeiden energiatiheyden vertailua (Ziemann, Grunwald, Schebek, Müller & Weil 2013, 4)

## 6 AKKUTYYPPIEN KIERRÄTYKSESTÄ JA PURKAMISESTA

### 6.1 yleistä akkutyypin purkamisesta

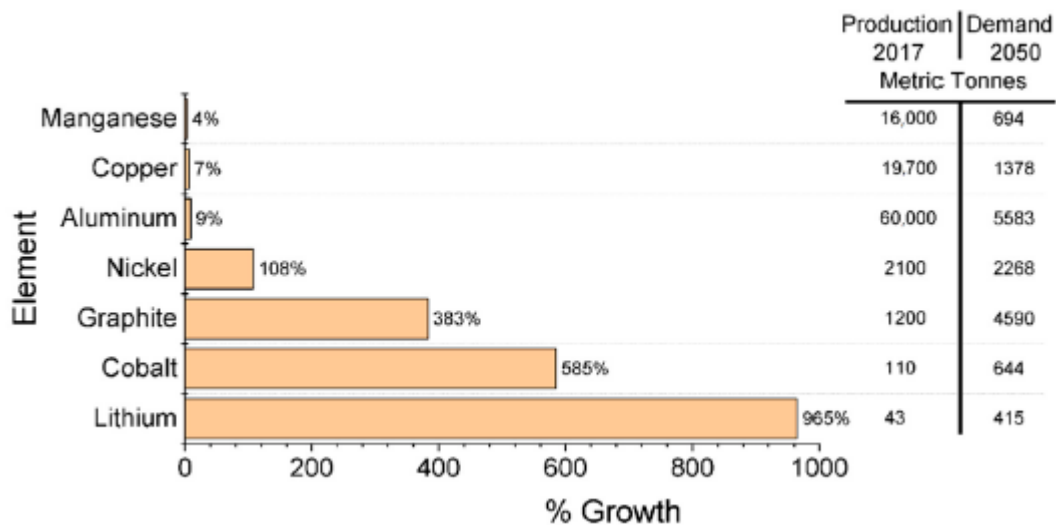
Sähkökäyttöisiä ajoneuvoja alkaa olemaan markkinoilla enenevässä määrin ja myös sitä myötä niiden akkuja. Näiden akkujen kierrätys on kasvava bisnes sekä Euroopassa että muualla maailmassa ja ympäri maailmaa etsitään tehokkaita ratkaisuja kierrättää käytöstä poistettuja akkuja joko uudelleen käyttämällä akus-tojen kennoja tai uusiokäyttämällä niiden materiaalia uusissa akuissa. Alla ole- vassa Kuviossa 7 on esitetty niitä polkuja, joita akku ja sen materiaalit kulkevat aina materiaalin louhinnasta kierrätyksen kautta uusiokäyttöön. (Klohs, Offer- manns, Heimes & Kampker 2023.)



Kuvio 7. Akun kierrätyksen vaiheita materiaalin louhinnasta kierrätyksen kautta uusiokäyttöön (Klohs, Offermanns, Heimes & Kampker 2023)

Akkujärjestelmien purkaminen on tärkeä osa akkujen elinkaareissa. Se on lähtökohta niiden uusiokäyttömahdollisuuksille ja niistä saatavan materiaalin hyödyntämiselle uusissa akuissa. Kun akku on poistettu ajoneuvosta sen käyttöiän loputtua ja se on luokiteltu sekä kunto tarkastettu se voidaan purkaa ja myöhempää käyttöä suunnitella kierrätyksen ja uusiokäytön muodossa. (Klohs, Offermanns, Heimes & Kampker 2023.)

Akkujäte on vain yksi osa-alue sähköjätteen laajassa kirjossa ja nykyään yhä enenevässä määrin pyritään kierrättämään käytettäviä akkumateriaaleja. Akkumateriaalit ovat hyvä lähde tärkeille materiaaleille akkujen valmistuksessa ja niiden hyödyntäminen on osaltaan lisäämässä sitä, ettei ympäristö kuormitu tärkeiden arvometallien louhinnan takia. Kuvio 8 nähdään se, mikä on ollut akuissa käytettävien materiaalien tarve vuonna 2017 ja mikä se olisi vuonna 2050. (Zhao, Pohl, Bhatt, Collis, Mahon, Thomas & Hollenkamp 2021.)

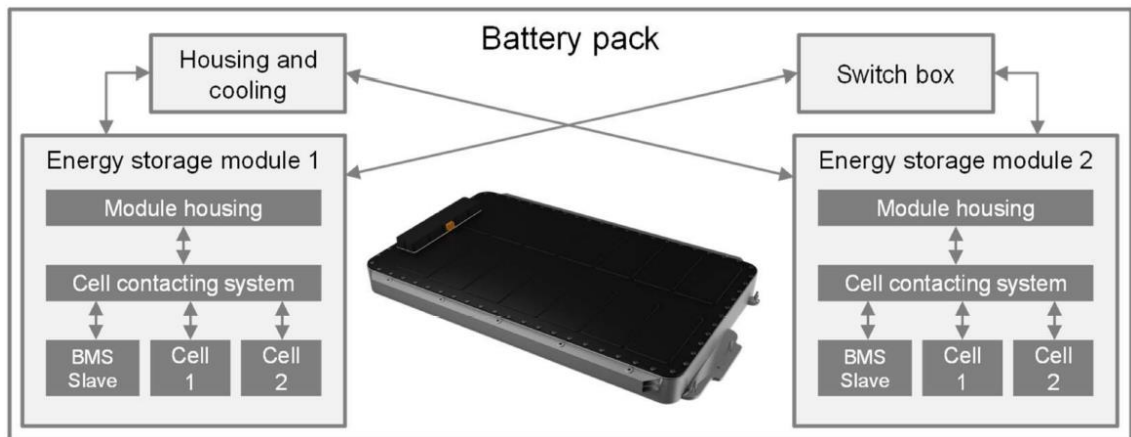


Kuvio 8. Tarvittavan akkumateriaalin tarve vuonna 2017 ja tarve 2050 (Zhao, Pohl, Bhatt, Collis, Mahon, Thomas & Hollenkamp 2021)

Verrattuna muihin akkutyyppeihin, litiumakkuja pidetään ympäristön kannalta tarkasteltuna muita vihreämpinä. Ongelma näiden akkujen kohdalla on niiden sisältämien metallien saatavuus, joiden louhinta keskittyy maihin, joissa on oltu levottomampia kuin länsimaissa. Litiumiin pohjautuvia akkuja on otettu käyttöön hyvin monessa kulutuselektronikan tuotteessa, mutta tekniikan käyttöönotto sähköautossa on johtanut huolenaiheisiin. (Zhao, Pohl, Bhatt, Collis, Mahon, Thomas & Hollenkamp 2021.)

## 6.2 Litiumtyyppisten ajovoima-akkujen purkuprosessista

Purkamalla litiumakkuja niiden käyttöiän päätyttyä ja kierrättämällä niistä saatu materiaali uudestaan käyttöön on hyvä tapa vähentää ympäristön kuormitusta, joka aiheutuisi akkujen valmistuksessa käytettävän materiaalin louhinnasta. Sähköautoissa käytettävän akkumoduulin perusrakenne selviää kuvioista 11. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)

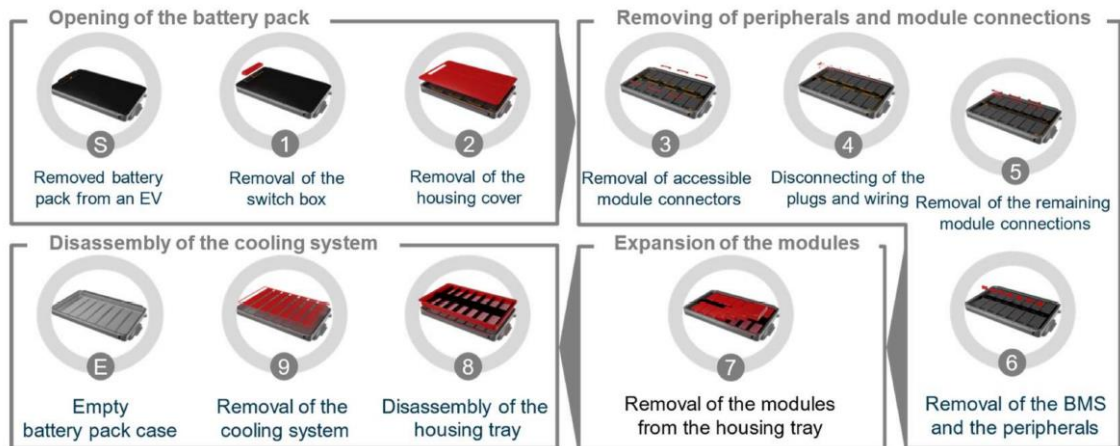


Kuvio 11. Sähköautojen akkujen perusrakenne modulaarisella tuotearkkitehtuurilla (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)

Kennotasolla moduuli rakentuu useasta kennosta, jotka kytketään akkumoduuliksi joko sarja- tai rinnankytkennällä. Näin muodostuneet akkumoduulit yhdistetään korkeammalle jännitetasolle akkupaketin muodostamiseksi. Akkupaketteihin kuuluu myös jäähdytysjärjestelmä, jolla pidetään akkupaketin lämpötila oikealla tasolla sekä akun hallintajärjestelmä, jolla voidaan valvoa akun käyttäytymistä. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)

Tuotesuunnittelusta johtuen akkujen purku on haasteellista pidemmälle kuin moduulitasolle. Monella taholla on vireillä hankkeita, joissa tutkitaan litiumakkujen purkua moduulitasoa pidemmälle, aina kennotasolle saakka. Markkinoilla olevien akkujen monimuotoisuudesta johtuen yhden ja yleispätevän purkuprosessin

suunnittelu on haastavaa. Kuviossa 12 on esitetty tyypillisen akun purkuprosessin vaiheen, joka ylittää moduulitasoa pidemmälle. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)



Kuvio 12. Yksinkertaistettu esitys tyypillisen litiumioniakun purkamisesta (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)

Yleisellä tasolla purkuprosessin vaiheiden järjestys vaihtelee tuotesuunnittelusta johtuen. Esimerkiksi Audi e-tron 50:ssä on ensin irrotettava akun kansi ennen kuin voidaan määrittää akun sähkökemiallinen tila ja järjestelmä voidaan syväpurkaa. Tämä johtuu siitä, ettei valmistajat kerro tietoliikenneprotokollaa, millä voitaisiin lukea akun ja sen sisältämien komponenttien tila avaamatta sitä. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)

Purkamisen jälkeen akun komponentit viedään seuraavaan kierrätysvaiheeseen ja esimerkiksi akkumoduulin teräsosat voidaan murskata ja kierrättää teräksen valmistuksessa materiaalina. Akkujen kennojen sisältämät materiaalit ja alkuaineet voidaan puolestaan käyttää hyväksi uusien akkukennojen valmistuksessa. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)

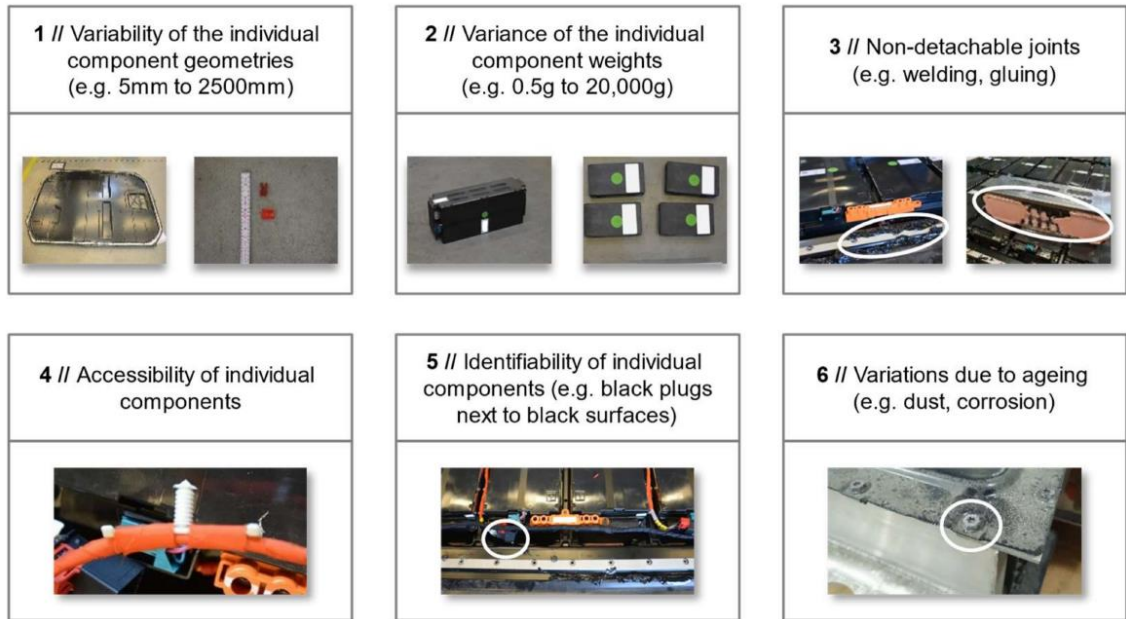
### 6.3 Akkujen purkutyön tekniset haasteet

Nykyään, akuissa tarvittavien materiaalien kallistumisen ja ympäristötietoisuuden myötä on aloitettu miettimään kierrätyksen mahdollisuutta enenevässä määrin. Akkujen kierrätys ei ole helppo tehtävä johtuen siitä, että niitä ei ole tarkoitettu purettavaksi ja niiden muoto vaihtelee. Lisäksi joissain tapauksissa on havaittu eri akkukemian akkujen sekoittuneen keskenään kierrätysprosessin aikana. (Zhao, Pohl, Bhatt, Collis, Mahon, Thomas & Hollenkamp 2021.)

Jotta täytettäisiin kierrätyksessä kaikki vaatimukset ja saataisiin eroteltua eri akkukemian tuotteet keskenään toisistaan, olisi merkintöjen oltava yhdenmukaisia akkujen muotojen ohella. Merkintöjen ja muotojen standardointi helpottaisi myös robotisoitua purkua tai lajittelua. Jos akkujen lajitteluprosessi hoidetaan robotisoidusti, se lisää prosessilaitoksen työturvallisuutta huomattavasti. (Zhao, Pohl, Bhatt, Collis, Mahon, Thomas & Hollenkamp 2021.)

Nykyään ajovoima-akkujen purkutyö on pääasiassa käsityötä. Vielä suhteellisen pieni määrä akkuja palaa kierrätykseen tällä hetkellä. Kierrätystä rajoittaa tekniset haasteet, jotka liittyvät mm. hankalasti havaittaviin komponentteihin akustojen sisällä. Kuviossa 13 on havainnollistettu sitä millaisia komponentteja akun sisältä saattaa löytyä. Akun sisältä löytyvien komponenttien geometria on moninainen mikä vaikeuttaa myös purkuprosessin automatisointia, lisäksi komponenttien painot vaihtelevat välillä 0.5 g – 20000 g (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)





Kuvio 13. Akun purkamisen prosessiautomaation tuotesuunnittelun aiheuttamia yleisiä haasteita (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022)

Akun sisäisiä liitoksia ei ole tarkoitettu purettavaksi. Liitoksia, kuten liima- tai hitsausliitokset tai liimatiiviste kotelon kannen ja kotelon alustan välillä. Näiden liitännöiden irrotukseen on kehitettävä erikoistyökaluja, sekä prosesseja jotta automaation astetta voidaan lisätä purkuprosessissa. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)

Ajovoima-akkujen komponenttien altistuminen säätilojen vaihtelulle sekä tiesuolalle, varsinkin akuston ulkopuolisiin osiin vaikuttaa korrosio sekä lika- ja pölykertymät, mikä vaikeuttaa niiden irrottamisesta vaikeaa, ellei mahdotonta ilman erikoismenetelmiä. Jos komponentteja yritetään havaita konenäön avulla, yksittäisten komponenttien havaitseminen muiden samanväristen tai muotoisten akuston komponenttien seasta on hankalaa. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)

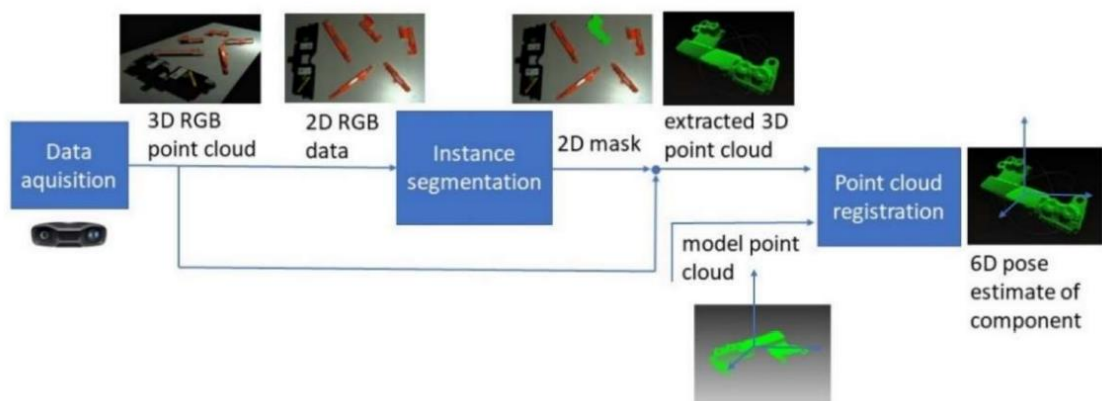
Kaikista haasteista huolimatta automaatiikkaa purkuratkaisujen parissa on kehitettävä, jotta voidaan vastata tulevaisuuden haasteisiin. Teknologisiin haasteisiin

voidaan vastata mitoittamalla purkujärjestelmäratkaisu vaatimuksia vastaavaksi sekä kehittämällä sellaisia työkaluja sekä menetelmiä, joilla voidaan havaita komponentit akustojen sisältä sen jälkeen, kun akustot palaavat käytöstä kiertoon. Tässä kohtaa on tärkeää kehittää prosessiautomaatiota purkuprosesseja ajatellen sille tasolle, että voidaan vastata tulevaisuuden tuomiin haasteisiin, jotta ajo-voima-akut voidaan purkaa taloudellisesti kannattavasti. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)

## 7 AJOVOIMA-AKKUJEN KOMPONENTTIEN ASENNON, ORIENTAATION JA PAIKAN TUNNISTUS KONENÄÖN AVULLA

### 7.1 Purkamisen edellytyksiä

Yksi keskeisin automaattisen purkamisen edellytys, on tunnistaa akustojen komponentit ja niiden asennot. Tähän voidaan käyttää syvyyskameraa ja prosessoida 3D-pistepilveä RGB + -syvyyshavaintojen perusteella eri näköalgoritmeilla komponentin tarkan sijainnin ja suunnan määrittämiseksi. Mukana olevat kuvankäsittelyvaiheet kuvankaappauksesta komponentin lopullisen 6D-asentoarvion johtamiseen on esitetty seuraavassa Kuviossa 14. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)



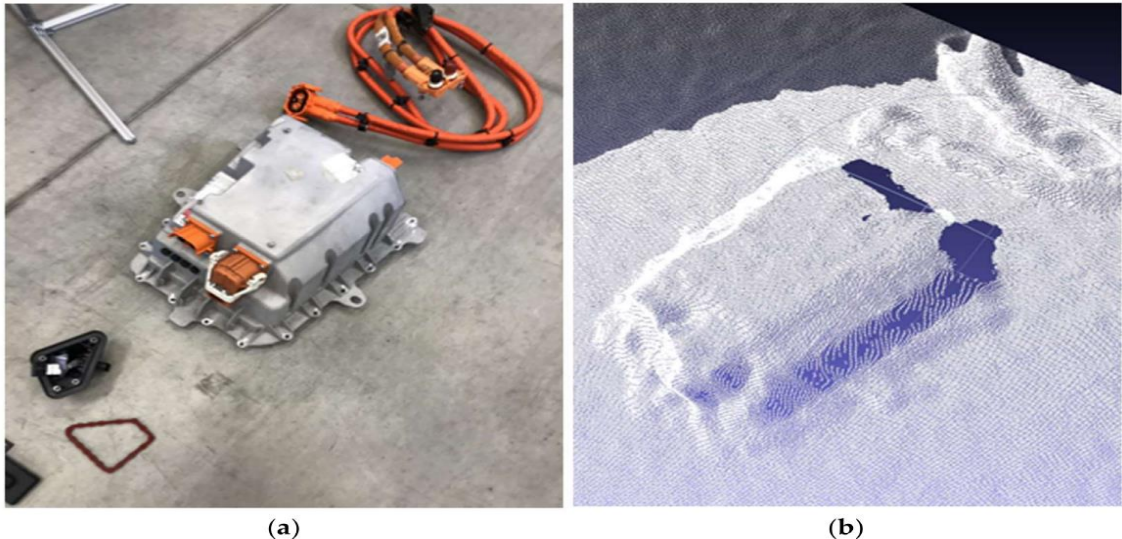
Kuvio 14. Komponenttien asentoarvion esitys (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)

Komponenttien tunnistukseen käytetty kamera tarjoaa 3D RGB -pistepilven ja ensin vain RGB-tiedot poimitaan ja syötetään ilmentymien segmentointiverkkoon. Segmenttiverkon lähdöt ovat vastaavan komponentin havaittuja esiintymiä, joilla on vastaava maskimerkitys eli pikselikohtainen luokittelu. Tällä tavoin komponentit on paikannettu mutta niiden tarkka asento on vielä tunnistamatta, mikä on olennaista, jotta komponentteihin voidaan tarttua kiinni robotilla. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)

Siksi tuloksena olevaa maskia käytetään poimimaan asiaankuuluva pisteitä pistepilvestä. Sitten tämä komponentin poimittu kohdistuspistepilvi sovitetaan komponentin aiemmin luotuun mallipistepilveen, joka sijaitsee tunnetussa koordinaattijärjestelmässä. Tämä saavutetaan käyttämällä ns. pistepilvirekisteröintialgoritmeja, jotka tässä tapauksessa toimittavat muunnosmatriisin mallipisteestä pilvestä kohdistuspistepilveen. Näin saadaan maiseman komponentin koko 6D-asento, sijainti ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) ja suunta (pyörähdys, kierto, käänös). Tästä voidaan johtaa oikea robottiasento. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)

## 7.2 Kamerajärjestelmän valinnasta komponenttien tunnistukseen

Pienten komponenttien ohella myös suuret komponentit on pystyttävä tunnistamaan luotettavasti. Siksi tarvitaan korkearesoluutioinen syvyysanturi, joka pystyy tunnistamaan komponentit ja niiden sisältämän syvyysdatan. Tällä tavoin voidaan taata robotille riittävän tarkka komponenttien paikkadata komponenttien paikantamiseen. Tähän tarkoitukseen tarvitaan riittävän laadukasta kamera- ja anturitekniikkaa. Tällaiselle tekniikalla tuotettu kuva on esitetty kuviossa 15. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)



Kuvio 15. Kuva kytkinrasiasta (a) ja vastaavasta pistepilvestä (b), joka on kuvattu Realsense D435i kameralla (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022)

Ottaen huomioon kuvion 15b geometrian karkean esitystavan voidaan sanoa, että tämä ei ole riittävä tapa etenkin pienemmillä komponenteilla. Siksi on järkevää käyttää kameraa, jossa on riittävän korkea syvyysresoluutio. Esimerkki tällaisesta kamerasta on esitetty kuviossa 16. Alla on luetteloitu esimerkin mukaisen kameran teknisiä tietoja:

- Strukturoitu valo: Kamerassa on projektori ja 2D-kamera (katso kuvio 16). Projektori lähettää valokuvioita kohtaukseen, kun taas kamera tallentaa tämän kuvion vääristymät, jotka johtuvat taustalla olevasta geometriasta. Tämän perusteella pointtipilvi lasketaan.
- Lähtö: Korkean resoluution 3D RGB -pistepilvi.
- Heijastuksien sieto.
- Kevyt (asennus robottiin): Kehittynyt hand-eye-kalibrointi-rajapinta. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)



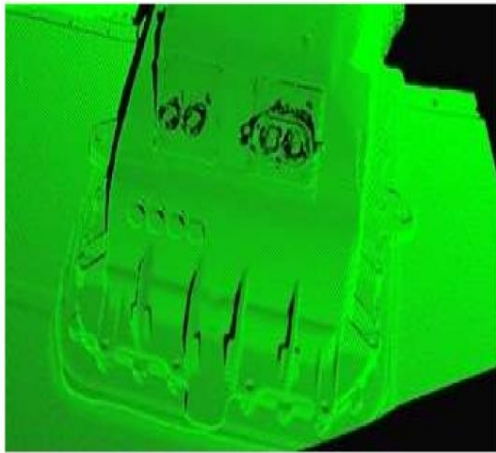
Kuvio 16. Zivid Two, jossa projektori (vasemmalla) ja 2D-kamera (oikealla) asennettuna robottikäteen (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022)

Edellä mainittujen kamerajärjestelmän ominaisuuksien ja etujen lisäksi on kuitenkin huomioitu myös alla kuvatut haitat:

- Ei läpikuultavia esineitä.
- Syvyyskuvanotto vain paikallaan, eli kameran on oltava liikkumaton (lennossa tiedonkeruu ei ole mahdollista).
- Rajoitettu käyttö erittäin heijastavilla pinnoilla.
- Ei saa käyttää ulkona tai suorassa valossa. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)

Yllä mainitut haitat ovat hallittavissa teollisissa oloissa koska kameralla kuvaaminen tapahtuu stabiileissa olosuhteissa, jossa on mm. valaistuksen määrä tasainen eikä heijastumia juurikaan esiinny. Näissä olosuhteissa akku sekä robotti voivat myös pysyä paikoillaan koko kuvausoperaation ajan ja mahdolliset heijastukset voidaan kompensoida kameran säädöillä. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)

Kuviossa 17a on esimerkki kytkinkotelon pistepilvestä, joka on kuvattu visuaalisointitarkoituksella, ilman RGB-informaatiota. Kuviossa 17b on esimerkki pienten komponenttien pistepilvi. Tämä tarkkuus on riittävä pienillekin komponenteille ja mahdollistaa pistepilven rekisteröintialgoritmit kuviossa 14 esitetyn tavan mukaan. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)



(a)



(b)

Kuvio 17. Kytkinkotelon (a), moduulien ja kiskojen (b) pistepilvi, jotka on tallennettu Zivid Twolla (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)

### 7.3 Ajovoima-akkujen komponenttien segmentointi

Jotta voidaan havainnoida akkujen sisällä olevia komponentteja, olisi hyvä luoda havainnoitavista komponenteista harjoitusjoukkoja, jotta voidaan havaita oikeat komponentit riittävän luotettavasti. Harjoitusjoukkojen avulla luodaan tietojoukot komponenttien esiintymien havainnointiin esimerkiksi Labelme ohjelman avulla. Tästä esimerkki kuviossa 18. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)





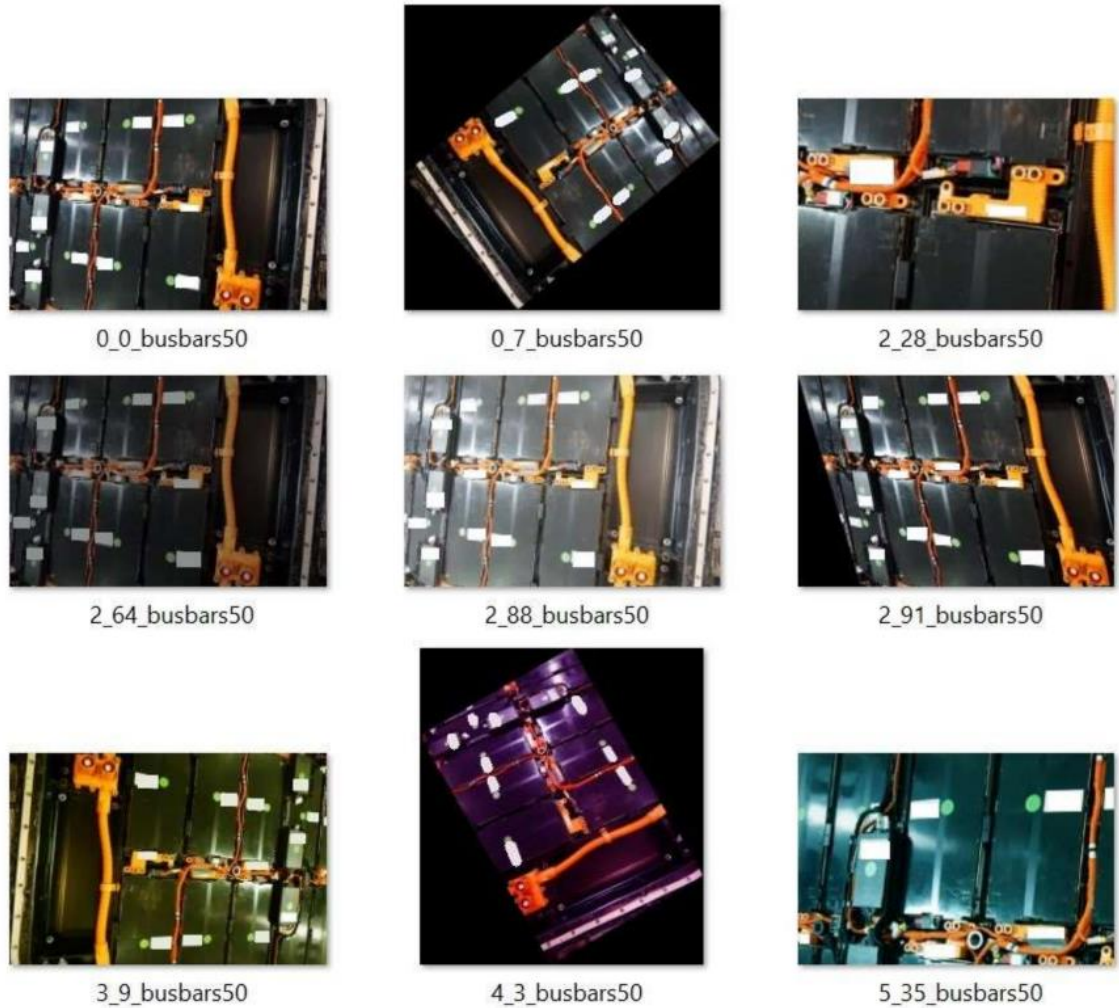
Kuvio 18. Havainnointiesimerkki kiskoista, joka on tehty Labelmellä (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)

Seuraavat osat on havainnoitu:

- Kannessa ruuvit
- Kytinlaatikko
- Moduulit
- Virtakiskot, kuusi eri tyyppiä
- Pistokkeet
- Kotelon käyttöliittymä
- BMS Slave-asennus
- Päävirtajohto, joka koostuu sivuosista, keskiosasta, putkista ja pidikkeistä. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)

Akuston komponenttien havainnointiin kuvattu data saattaa sisältää 200 kuvaa. Näin saatua kuvapankkia voidaan kasvattaa mm. rajaamalla, kiertämällä valoisuuden määrän muutoksilla ja käyttämällä RGB-kanavia CLodSA-kirjastosta. Kuviossa 19 on valikoima lisättyjä kuvia, jotka on saatu yhdestä alkuperäisestä kuvasta (ylhällä vasemmalla). Kuvapankin datan lisäämisen tavoitteena on luoda helposti erilaisia harjoituskuvia, jotka lisäävät komponenttien tunnistuksen varmuutta. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)



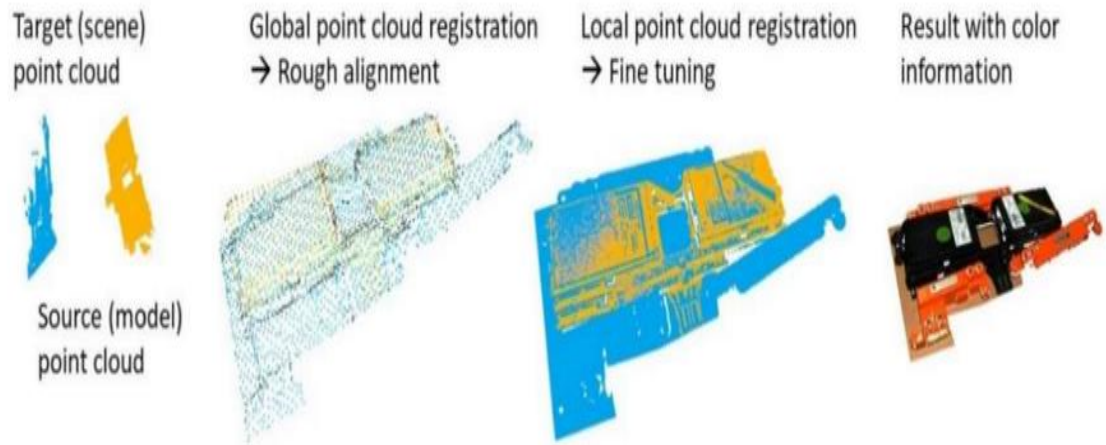


Kuvio 19. Esimerkkejä kuvista, jotka on johdettu alkuperäisestä kuvasta tietojen lisäyksellä (vasemmalla yläkulmalla) (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022)

#### 7.4 Pistepilvi apuna komponenttien tunnistuksessa

Pistepilven rekisteröintialgoritmit voidaan ryhmitellä paikallisiin ja globaaleihin rekisteröintimenetelmiin. Globaalit algoritmit pystyvät löytämään suunnilleen sopivan muunnoksen väärin kohdistetuille pistepilville, kun taas paikalliset algoritmit lisäävät muunnoksen tarkkuutta iteratiivisesti, mutta luottaa jo läheiseen alustavaan arvaukseen. Siksi molempien menetelmien hybridikäyttö on yleistä, jolloin globaali algoritmi antaa alkuperäisen arvion paikalliselle algoritmille. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022).

Fast Point Feature Histograms (FPFH) -lähestymistavassa, jossa käytetään Open3D [30,31] -kirjastoa, käytetään globaaliin rekisteröintiin, kun taas paikalliseen rekisteröintiin valitaan Iterative Closest Point (ICP) -lähestymistapa. Pistepilven rekisteröintiputki on esimerkinomaisesti kuvattu BMS-slave asennukselle kuviossa 20. Tässä tulee näkyviin, kuinka maailmanlaajuisen rekisteröintialgoritmi vastaa suunnilleen erittäin väärin kohdistettuja pistepilviä, jotka johtuvat translaatiosta ja rotaatiosta. Sitten muunnos tarkennetaan edelleen paikallisella rekisteröinnillä ja tuloste väritiedoin näytetään. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)



Kuvio 20. Väärin kohdistetun lähde- ja kohdepistepilvien kohdistus (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022)

## 8 SENSORIPOHJAINEN MATERIAALIN TUNNISTUS AKUISTA

Automaattisen purkuprosessin yhteydessä ja myöhempää materiaalien lajittelua helpottamaan voidaan käyttää materiaalin tunnistusta, joka perustuu erilaisiin antureihin. Purkamisen yhteydessä materiaalit tunnistetaan ja lajitellaan jo valmiiksi myöhempiä vaiheita varten. Tässä tunnistukseen voidaan käyttää RGB-kameraa tai jotain kiinteää järjestelmää kuljetinhihnan yhteydessä tunnistamaan hihnalla liikkuvat materiaalit, tästä esimerkki taulukossa 3. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)

Taulukko 3. Anturitekniikat kiertotaloudessa, fyysinen periaate ja ehdot (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022)

Fyysinen anturi	Pää- ja erotusominaisuus	Ehdot ja rajoitukset
Väri RGB	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Antaa tietoa muodosta ja väristä</li> <li>* Perustuu sähkömagneettisen säteilyn havaitsemiseen näkyvä spektri (aallonpituusalue 390–780 nm)</li> <li>* Näytteen havaitseminen ja erottaminen värin perusteella</li> <li>* Jakeiden lokalisointi värin ja muodon mukaan</li> </ul>	Pinnan tunnistus
3D-laser skannaus (3D-LT)	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Tarjoaa tietoa muodon ominaisuuksista ja geometria (korkeusprofiilin mittaaminen)</li> <li>* Perustuu lähettimen välisen etäisyyden mittaamiseen</li> <li>tuottaa näkyvää valoa ja esinettä [34]</li> <li>* Yleensä yhdessä muiden antureiden (esim. RGB) kanssa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Ei tunnista kappaleen ontoutta</li> <li>* tilavuuden ylimäärittely</li> </ul>
Röntgensäde (XRT)	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Antaa tietoa materiaalin tiheydestä</li> <li>*Perustuu röntgensäteisiin (= 10–0,001 nm), jotka kulkevat läpi näyte</li> </ul>	Suojaus röntgensäteitä/säteilyä vastaan tarvitaan

	<p>*Materiaalin tiheydestä riippuen esine imeytyy eri määriä säteilyä</p> <p>*Alumiinin ja raskasmetallien tunnistus (esim. kupari, tina)</p>	
Röntgenfluoresenssi (XRF)	<p>*Antaa tietoja kemiallisesta koostuksesta</p> <p>*Perustuu röntgensäteisiin (= 10–0,001 nm), jotka tuottavat materiaali-kohtainen toissijainen säteily (fluoresenssi).</p> <p>*Fluoresenssin elementtimittaus</p> <p>*Pitkä mittausaika (käsispektrometri): kevytmetallit (esim. alumiini) voidaan mitata alkaen &gt;10 s; tarkkuus mittaustulosten määrä kasvaa mittausaika.</p> <p>*Lyhyt mittausaika (10 ms liikkuvassa materiaalissa): pieni atomiluvut (esim. alumiini) eivät ole suoraan havaittavissa</p>	<p>*Suojaus röntgensäteitä/säteilyä vastaan</p> <p>*Pintojen tunnistus</p>
Induktio (IND)	<p>*Antaa tietoa kohteen sähkönjohtavuudesta</p> <p>*Tuotetun sähkömagneettisen kentän perusteella tämä muuttuu kun sähköä johtava esine lähestyy sitä. Tuloksena olevat kentän muutokset ja signaalin vaihtelut ovat mitattavissa</p>	*Matala tilaresoluutio
Infrapuna (NIR)	<p>*Antaa tietoa materiaalin ominaisuuksista (erityisesti polymeeri * tyyppi)</p> <p>*Perustuu lähi-infrapunasäteilyyn (780–3000 nm), polymeeri (1200–2000 nm)</p>	<p>*Pintojen tunnistus</p> <p>*Ei heijastuksia eikä mustien materiaalien havaitsemista</p>

	*Näytettä molekyylit virittyvät säteilyn vaikutuksesta ja absorboivat materiaaliikohtaisia aallonpituuksia. Jäljellä oleva aallonpituudet heijastuvat ja mitataan	
--	---	--

Induktioantureita lukuun ottamatta jokainen yllä luvattu anturitekniikka vaatii säteilylähteen ja ilmaisimen. Säteilylähde lähettää tietyn aallonpituusalueen sähkömagneettista säteilyä ja ilmaisin havaitsee tämän säteilyn. Säteily muuttuu erilaiseksi, kun mitattava materiaali muuttuu. Säteilyn spektriä mitataan tietokoneen avulla, jossa on tähän käyttötarkoitukseen tarkoitettu ohjelmisto. Yleensä spektrin tiettyjä ominaisuuksia verrataan tietokannan arvoihin ja tämä puolestaan mahdollistaa näytteen karakterisoinnin. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)

Anturitekniikat, kuten RGB, NIR ja XRF, mittaavat 3D-LT:tä kohteen pinnalla. Optimoidun mittaustuloksen saavuttamiseksi kohteen on oltava puhdas eikä peitetty. Moduulin katodin tunnistus kemia ei ole vielä mahdollista mainituilla teknologioilla. Näitä tekniikoita voidaan käyttää mm tunnistamaan:

- kiskot
- johdot
- ruuvit
- kotelot
- elektroninen (esim. akunhallintajärjestelmä)
- jäännökset (esim. kumi). (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)

Materiaalin pintakäsittely, kuten maalaus vaikeuttaa materiaalin tunnistusta mitaavilla anturitekniikoilla (XRF, NIR). Polymeerifraktioiden tunnistamista varten on syytä tunnistaa polymeerin tyyppi. Siksi tarvitaan materiaalin esikäsittelyä ennen kuin materiaali menee anturipohjaiseen tunnistukseen. Esikäsitellyille materiaaleille voidaan käyttää taulukon 4 mukaisia antureita. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022)

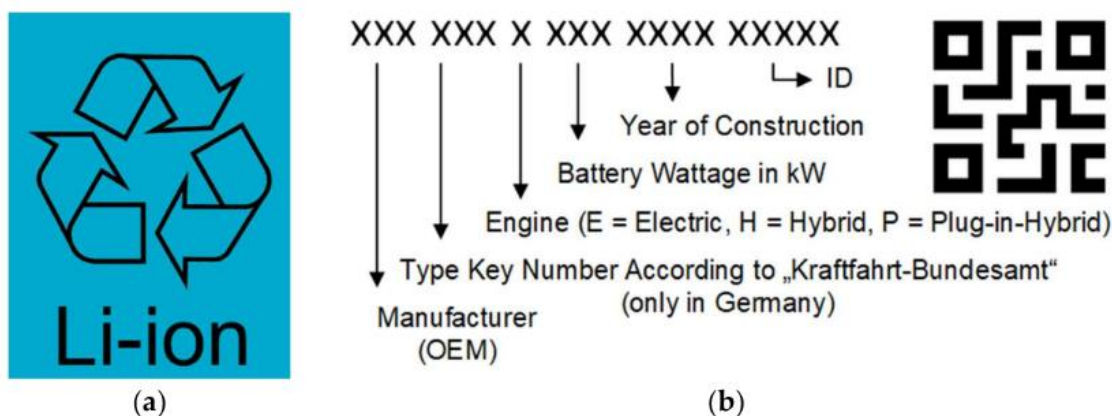
Taulukko 4. Anturipohjainen osien lajittelu akuista (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022)

Materiaalivirta	Ehto	RGB	3D-LT	XRT	XRF	LIBS	IND	NIR
Kiskot	Murskaus, magneettinen ja pyörrevirtaerotus			X	(X)	(X)		X
Johdot	Murskaus, magneettinen ja pyörrevirtaerotus	X	X	X			X	
Kotelot	Murskaus			X	X	X		
Elektroniikka	Murskaus, magneettinen ja pyörrevirtaerotus	X	X				X	X

Yleisesti voidaan käyttää taulukon 4 mukaisia antureita materiaalivirralla, jota on esikäsitelty. Materiaalille, mikä on homogeenistä ei tarvitse lajitella vaan ne varastoidaan purkamisen yhteydessä. Polymeeri ja metalliosat voidaan silputa myöhempää käyttöä varten. Infrapunaa voidaan käyttää tunnistamaan polymeerit sekä XRT:ä metallien tunnistamiseen. Tarkempaan materiaalien tunnistukseen voidaan käyttää XRF:ä tai LIBS:ä. 3D-LT tunnistaa johdot niiden geometrisen rakenteen perusteella, ja RGB:tä tai XRT:tä voidaan käyttää erottamaan kupari- ja alumiinilangat. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)

## 9 PURKUPROSESSISTA TULEVAN MATERIAALIN MERKINTÄ JA EROTUSPROSESSI

Normaalisti ja tähän asti litiumakuissa on käytetty kuvion 21 IEC 62902 mukaista merkintätapaa. Oheinen merkintätapa ei anna juurikaan tietoa, että akku voitaisiin purkaa ilman vaaran aiheutumista eikä myöskään tietoa kierrätyksen laadusta. Lisätiedot datamatriisikoodit, jotka valmistajat painavat eri akkukomponentteihin, eivät ole välttämättä selkeästi luettavissa. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)



Kuvio 21. Nykyinen etiketti litiumioniakuille kohdan (a) mukaisesti ja suositus tunnistekoodiksi yhdessä QR-koodin kanssa (b) (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022)

Edellä mainitusta syystä on kehitetty selkeämpi merkintäjärjestelmä akuille, joka ottaa huomioon nämä edellytykset ja jonka tavoitteena on tukea (automaattista) purkamisprosessia ja eri komponenttien varhaista erottamista. Siksi etiketti sisältää laajat tiedot akkupakkausten purkamisesta ja avaamisesta, poistamisesta ja moduulien erottamisesta katodikemian perusteella. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)

Uuden mallisesta etiketistä tarkasteltavat tiedot voidaan jakaa viiteen eri luokkaa.

- yksittäisen akun tunnistus
- yleistä tietoa akusta (mukaan lukien tiedot purkamisesta)
- akkumoduuli
- akkukenno (mukaan lukien yksityiskohtainen kennokemia)
- purkamisohjeet. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)

Tulevaisuudessa jokainen akku saa oman tunnisteen. Tällä tunnistella, skannaamalla QR-koodi (Kuvio 21b) saadaan akusta selville helposti laitteen valmistajan (OEM), moottorin, akun tehon ja valmistusvuoden. Näiden lisäksi vaaditaan (viisinumeroinen) erityinen tunnusnumero, joka mahdollistaa jokaisen akun yksilöllisen tunnistamisen akkuasetuksen mukaisesti. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)

Yksi akun yleisistä parametreista on varauksen taso. Turvallisuussyistä on suositeltavaa poistaa varaus akusta ennen ensimmäistä purkamisvaihetta. Akku on kytketty sähköajoneuvoon korkeajännite - (HV) ja pienjänniteliittimen (LV) kautta. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)

Akussa oleva akunhallintajärjestelmä ohjaa muun muassa akun lataus- ja purkuprosessia ja saa virtaa (esim. 12 V) ajoneuvon sähköjärjestelmän kautta. Akunhallintajärjestelmä kommunikoi pienjänniteliittännän kanssa ns. CAN-väyläliitännöiden kautta. Lisäksi akunhallintajärjestelmä ohjaa pääreleitä, jotka kytkeytyvät suurjänniteliittimiin ja sammuvat vian sattuessa. Jos releet ovat auki, yhteys ajoneuvon sähköiseen käyttöjärjestelmään katkeaa. Tämä tarkoittaa, että purettaessa akku releet ovat auki eikä varauksen poisto ole mahdollista. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)



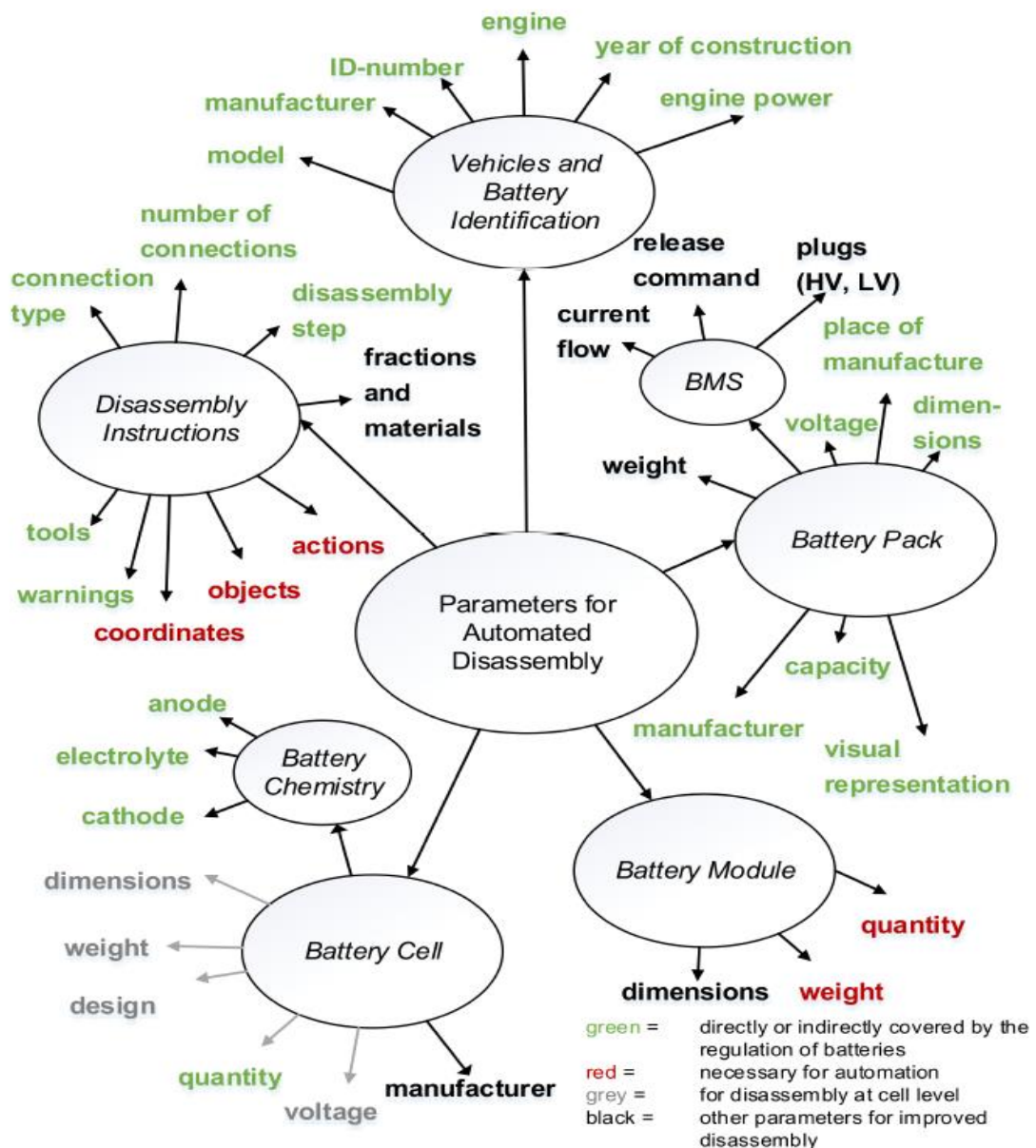
Jotta voidaan suorittaa akun hallittu varauksen poistaminen ennen purun ensimmäistä vaihetta, täytyy akunhallintajärjestelmän kautta antaa komennot releille, joka sulkee releet ja purku voidaan suorittaa. Akun valmistajalta saa tiedon siitä millaisia liittimiä ja mitä releiden irrotuskomentoja pitää käyttää. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)

Varsinainen purkausprosessit tapahtuvat kytkemällä sähköinen kuorma päänapoihin suurjänniteliittimen kautta. Tätä purkausmenetelmää varten on tiedettävä akun jännite, joka on ilmoitettava akkupassissa. Muita yleisiä pakkaustietoja ovat järjestelmän mitat (pituus, leveys, korkeus) ja paino, sopivaa purkulaitetta ja akkujärjestelmän kiinnitystä varten. Visuaalinen kuva akusta, kuten räjäytyskaavio, on tarpeen akkumääräysten vuoksi. Automaattista purkamista varten CAD-tiedostot (tietokoneavusteinen suunnittelu), joissa on kunkin komponentin erityistiedot (katso alla), voivat tukea prosessin automatisointia. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)

Sähköajoneuvojen moduulit koostuvat usein erottamattomista yhdisteistä, joten ne yleensä silputaan sen sijaan, että ne purettaisiin kennotasolle. Purkamisen automatisoimiseksi ja helpottamiseksi mitat ja paino on määritettävä niin, että robotisoitua purkujärjestelmää voidaan tarvittaessa muuttaa. Jos moduulien purkamista kennotasolle suunnitellaan tulevaisuudessa, tarvitaan lisätietoja kennoista, esim. suunnittelusta (pussi, prismamainen, sylinterimäinen), paino ja mitat. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)

Purettujen osien erittely, kuten materiaalin koostumus purkamisohjeet voivat parantaa esilajittelua ennen kierrätystä. Sitten robotti tai manuaalinen purkaja voisi lajitella materiaalit materiaalikohtaisiin laatikoihin. Tämä tapa parantaisi erityisesti eri katodimateriaaleja sisältävien moduulien erottamista. Purkamisen automatisoimiseksi purkamisohjeita voitaisiin täydentää tiedoilla robottiohjelmistoille. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)

Tietojen, kuten koordinaattien ja erityisten, kanssa komennot ("nosto", "leikkaa", "ruuvi") jokaiselle purkamisvaiheelle ja esineelle (esim. "kansi", "johto"; "moduuli"), automatisointiprosessia voitaisiin helpottaa. Koordinaatit olisi linkitetty tässä tapauksessa CAD-malli tai digitaaliseen kaksoiskappaleeseen. Kuviossa 22 on esitetty mainitun merkintäjärjestelmän parametrejä. (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)



Kuvio 22. Parametrit automaattista purkamista ja parannettua kierrätystä varten (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022)

Tämä on valtava tietomäärä yhtä akkua kohden ja kaiken tämän pitäisi sisältyä akkutarraan. Akkutarrassa oleva QR-koodi voisi olla linkki tietokantaan, josta akun tiedot voisi käydä lukemassa. Toinen vaihtoehto on akkuun liitettävä RFID-siru, joka voidaan lukea, jonka jälkeen päästään käsiksi kyseisen akun tietoihin.

Siitä syystä onkin hyvä kehittää järjestelmä, jonka avulla standardisoitaan mm seuraavat asiat:

- Yhdenmukainen ja ymmärrettävä tietojen syöttäminen tietokantaan
- Akun tietojen päivittäminen/huolto koko elinkaaren ajan (esim. kun komponentteja vaihdetaan)
- Tarran luettavuuden ja tietojen saatavuuden varmistaminen akun koko elinkaaren ajan (pakkauskotelon kansi)
- Tietokantaan pääsyn sääntely (vain valtuutetut kolmannet osapuolet)
- Ajoneuvon/akun valmistajien hyväksynnän saaminen (osittain lakisääteinen akkusäädöksen kautta). (Zorn, Ionescu, Klohs Zähl, Kisseler, Daldrup, Hams, Zheng, Offermanns, Flamme, Henke, Kampker & Friedrich 2022.)

## 10 ROBOTIIKKA

### 10.1 Robottiikan historiasta ja jaottelusta

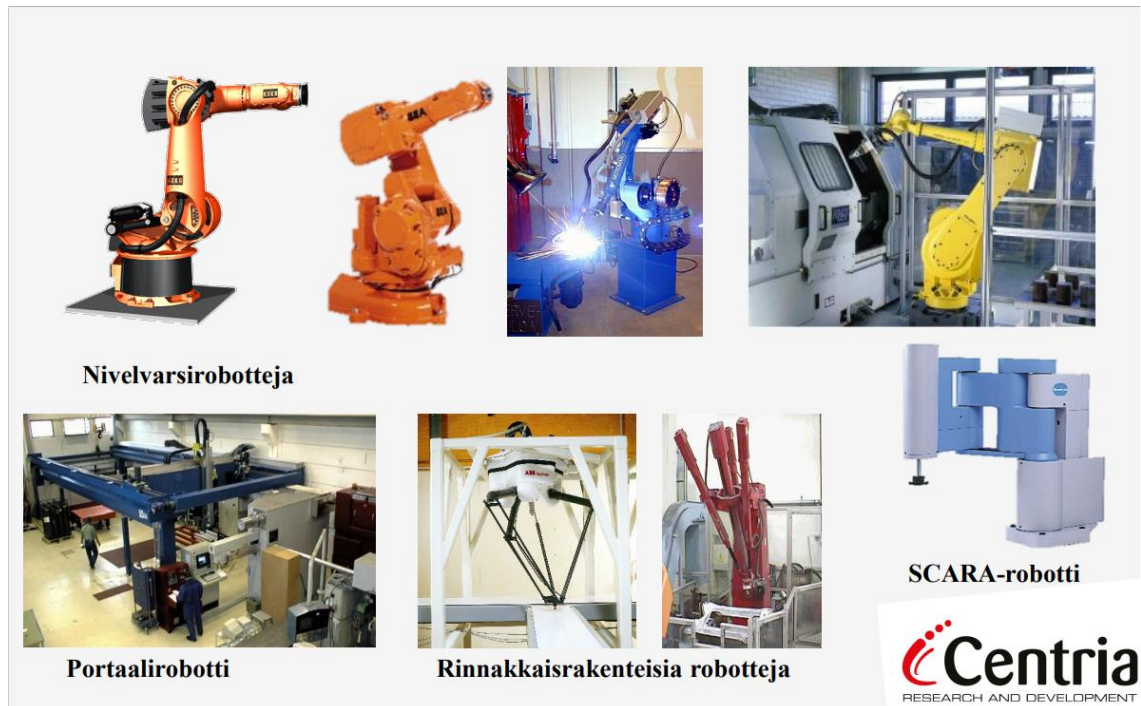
Sana robotti on esiintynyt ensimmäistä kertaa tšekkiläisessä, Karel Čapekin kirjoittamassa näytelmässä R.U.R. Ensi esityksensä tämä näytelmä sai Prahassa vuonna 1921 ja robotti sanan taustat ovat tšekin kielessä. (Kaarlela 2021b, 12.)

Robottiikkaa käytetään sellaisissa tehtävissä teollisuudessa, missä toistetaan samaa liikettä kuten pakkaamaan linjastolta esimerkiksi pulloja laatikkoon tai pinoamaan pahvilaatikoita kuormalavalle. Robotteja löytyy käyttötarkoituksen mukaan, kuhunkin tehtävään parhaiten sopivia ja juuri sitä tehtävää varten rakennettuja. Robotteja on mm. kiertyvänivelinen käsivarsirobotti, Scara-robotti, Portaali-robotti ja rinnakkaisrakenteisia robotti.

Robottityypit voidaan jakaa karkeasti neljään eri tyyppiryhmään eikä tyyppiryhmien rajaus ei ole mitenkään tarkka, vaan markkinoilta löytyy myös erilaisten robottityyppien yhdistelmiä. (Kaarlela 2021c, 19.)

- teollisuusrobotti
- yhteistyörobotti
- mobiilirobotti
- palvelurobotti

Tyypillisiä, teollisuudessa erilaisissa tehtävissä olevia robotteja on esitetty Kuvi-  
ossa 24.



Kuvio 24. Erilaisia robottityyppejä (Kaarlela 2021b)

## 10.2 Teollisuusrobotit

Teollisuusrobottia ohjataan automaattisesti ja sen on uudelleen ohjelmoitava, monikäyttöisyyteen pystyvä laite, jossa on useita ohjelmoitavia vapausasteita. Robotti voi olla joko kiinteästi asennettu esimerkiksi lattiaan tai kattoon tai se voidaan asentaa liikkumaan lieneaariradalla. Työkaluvalikoima on todella minipuolinen ja esimerkiksi alipaineella toimivia tarttuvia pehmeille materiaaleille voidaan käyttää. Hyötykuorma tällä robottityypillä voi olla muutamasta kilosta yli 1000 kiloon.

Kuviossa 25 on kerrottu Centrian robotiikkalaboratoriossa olevan ABB IRB 6700 -robotin teknisiä tietoja. Kun halutaan että robotilla on suuri käsittelykyky, se vastaavasti vaatii robotilta mm. rakenteellista jämääkkyttä. Vaikka kyseisen robotin käsittelykyky on 200 kg ja työskentelyalue 2,6 metriä, sillä päästään silti 0,10 mm toistotarkkuuteen.

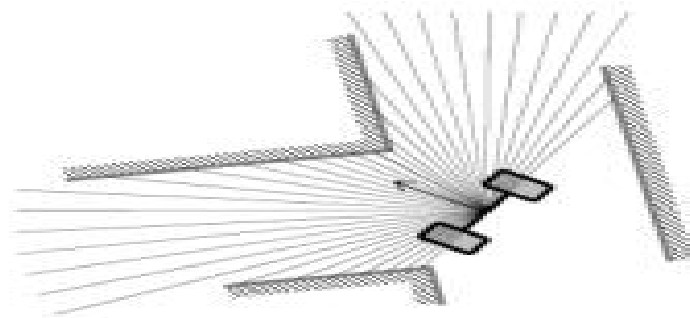


Kuvio 25. Centrian Ylivieskan yksikön robottilaboratoriossa sijaitseva teollisuusrobotti (Kaarlela 2021c)

### 10.3 Mobiilirobotit

Mobiilirobotti osaa liikkua sille asetetussa ympäristössä autonomisesti, vaikka ympäristö muuttuisikin ajoittain ilman fyysisiä tai sähkömekaanisia lisälaitteita. Mobiilirobotin ympäristön havainnoinnin päätavoite on välttää törmäyksiä esineiden tai toisten robottien kanssa sekä välttää mahdollisia vaaratilanteita. Mobiilirobotti suorittaa sille ohjelmoidun tehtävän sekä paikantaa itsensä joko luonnollisia tai keinotekoisia maamerkkejä apuna käyttäen. Anturiratkaisuuksina mobiilirobotiikassa käytetään mm. kameroita, LIDAReita, tutkia, ultraääntä sekä laserskannereita. (Pieskä 2022, 55.)

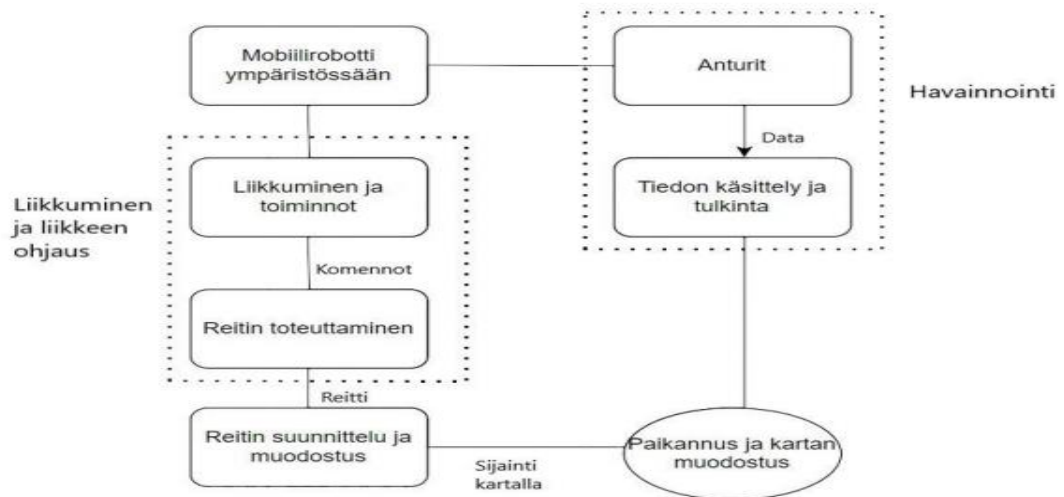
Kuviossa 26 on havainnollistettu kuvallisesti mobiilirobotin laserskannauksen säteiden kulkusuuntaa, kun mobiilirobotti suorittaa paikannusta.



Kuvio 26. Esimerkki mobiilirobotin laserskannauksesta paikannuksessa (Pieskä 2022, 56.)

Mobiilirobotteja voidaan hyödyntää runsaasti eri teollisuuden aloilla, kuten logistiikassa kuljettamaan varastolle tuotua rahtia niille asetetulle hyllypaikalle. Ehkä kaikkein tunnetuimpia mobiilirobottisovelluksia ovat kuitenkin robottiruohonleikkurit tai robotti-imurit.

Mobiilirobotteja käyttää apuna esimerkiksi sairaaloissa kuljettamaan lääkkeitä tai desinfioimaan leikkaussaleja. ABB:ltä esimerkiksi löytyy ratkaisuja sairaalakäyttöön tarkoitettuista mobiiliroboteista. Mobiilirobotin navigointi tilassa tapahtuu tyypillisesti alla olevan lohkokaaavion kuvio 27 mukaan.



Kuvio 27. Mobiilirobotin navigoinnin lohkokaavio. (Ojanen 2021, 10.)

#### 10.4 Robottien ohjelmointitavat akun purkuprosessissa

Robotti voidaan ohjelmoida usealla erilaisella tavalla ja samaan lopputulokseen voi päästä käyttämällä jotain toista ohjelmointi tapaa kätevämmän kuin jotain toista. Se mikä kulloinkin on järkevä tapa ohjelmoida robotille uusi ohjelma, riippuu hyvinkin monesta asiasta kuten mm. siitä, kuinka pitkä ohjelman pitää olla. Tässä osiossa on tarkoitus käsitellä vain niitä ohjelmointitapoja, mitä sähköauton akunpurkuprosessissa voisi käyttää.



#### 10.4.1 Robotin ohjelmointi ohjauspäätteellä

Jos on esimerkiksi tarve pakata kuormalavalle hihnakuuljettimelta pahvilaatikoita niin tällaisen ohjelman toteuttaminen voi olla kätevintä robotin omalla ohjauspäätteellä. Kuviossa 28 on esitetty yksi esimerkki robotin ohjauspäätteestä.

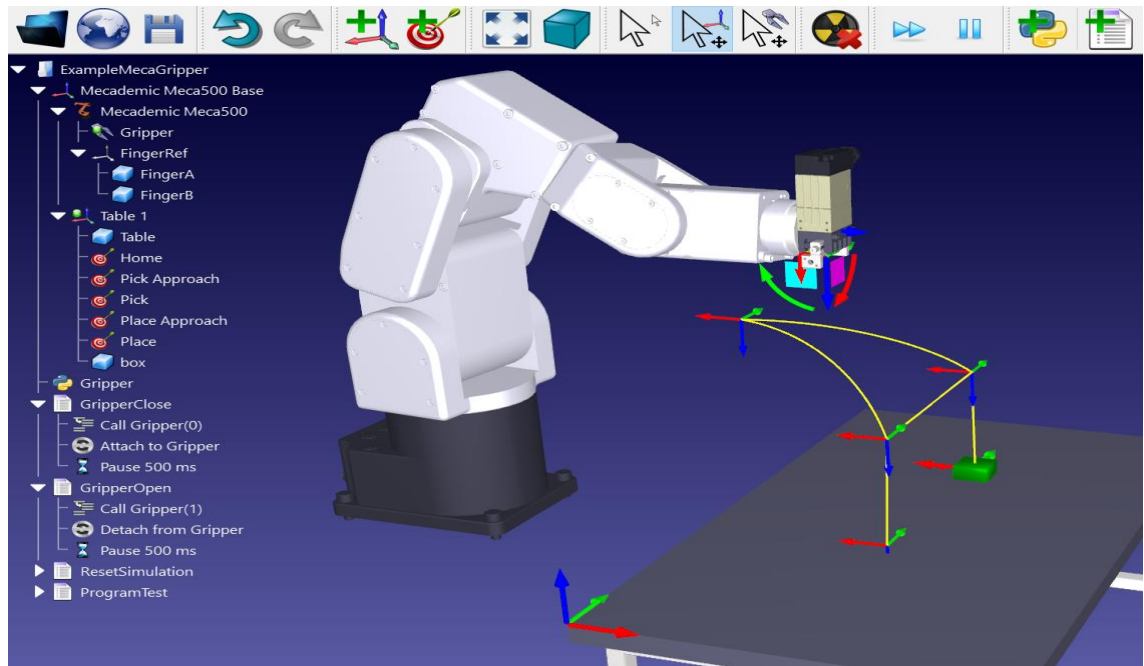


Kuvio 28. Robotin ohjelmointi ohjauspäätteellä (Ferob)

#### 10.4.2 Robotin ohjelmointi ohjelmistoa käyttäen

Robotin ohjelmointiin voidaan käyttää myös jotain ohjelmistoa, esimerkiksi RoboDK-ohjelmistoa tai jotain muuta hyväksi havaittua ohjelmistoa. RoboDK-ohjelmistolla voidaan tehdä ohjelma simuloida ja sitä voidaan tarpeen tullen muuttaa ja simuloida uudelleen, jotta voidaan todeta muutetun ohjelman toimivuus. Simuloinnissa voidaan tarkastella mm. työkalun ja kappaleen törmäyksiä jossain kohtaa robotin työkalun liikerataa. Tästä ohjelmointitavasta on esitetty esimerkki alla olevassa kuviossa 29.





Kuvio 29. Robotin ohjelmointi RoboDK ohjelmistolla (RoboDK)

#### 10.4.3 Robotin ohjelmointi virtuaalitodellisuudessa

Robotti voidaan ohjelmoida myös käyttäen hyväksi virtuaalitodellisuutta. Virtuaalitodellisuus on tietokoneella luotu ympäristö, keinotekoinen maailma, jossa voidaan simuloida ja ohjelmoida esimerkiksi robotteja. Toki sille löytyy myös paljon muita sovellutuksia esimerkiksi opetuksen parista, mutta tässä kuitenkin keskitytään robotin ohjelmointiin.

Perustarvikkeet virtuaalimaailmassa tehtävään ohjelmointiin ovat virtuaalilasit, sekä käsiin otettavat ohjaimet. Näiden lisäksi tarvitaan ohjelmisto, jolla ohjelmointi tehdään mutta esimerkiksi ABB Robotstudioissa on sisäänrakennettu plugin virtuaalimaailmassa tehtävälle ohjelmoinnille. Samoin tämä VR-plugin löytyy myös RoboDK:sta.

Virtuaalitodellisuudessa robotin ohjelmointi tapahtuu seuraavalla tavalla. Liikuteetaan robotin työkalua tarttumalla siihen ohjaimella ja tallennetaan piste, missä kulloinkin robotin työkalu on. Usean pisteen tallennuksen jälkeen saadaan robotin työkalulle liikerata, joka voidaan valmistumisen jälkeen simuloida ja tarkistaa ettei työkalu ja työstettävä kappale törmää missään vaiheessa työkalun liikerataa.

Virtuaalitodellisuutta hyväksi käyttäen voidaan myös tarkastella jollain ohjelmointityökalulla, kuten RoboDK:lla tehtyä ohjelmaa ja suorittaa sille törmäystarkastelu virtuaalimaailmassa. Virtuaalimaailmassa tehty tarkastelu ohjelmointityökalulla tehtyyn ohjelmaan voi monessa tapauksessa paljastaa sellaisia osa-alueita tehdystä ohjelmasta, joita ei tietokoneen ruudulta välttämättä huomaa suoritettaessa simulointia. Ohjelmointi VR-maailmassa on kuvion 30 mukaista toimintaa ulospäin.



Kuvio 30. Robotin ohjelmointi virtuaalitodellisuudessa (Carlton 2017)

#### 10.4.4 Robotin ohjelmointi johdattamalla

Johdattamalla tehty ohjelmointi on periaatteeltaan saman tyyppistä kuin virtuaalisessa maailmassa tehty ohjelmointi, sillä erotuksella että ohjelma tehdään robotille reaali maailmassa johdattamalla robotin työkalua ja tallentamalla sille pisteitä koordinaatistoon. Tallennettujen pisteiden välille muodostuu liikerata, joka voidaan ajaa robotilla ohjelman valmistumisen jälkeen ohjelmana. Johdattamalla tehtävästä ohjelmointitavasta on esimerkki kuviossa 31.



Kuvio 31. Robotin ohjelmointi johdattamalla (Centria Bulletin, Centria-ammatti-korkeakoulun verkkolehti)

Johdattamalla ohjelmoimisen suurin etu on ohjelmointitavan yksinkertaisuus. Ohjelmointitapa on helppo omaksua eikä siihen tarvitse investoida lisälaitteistoja. Se on myös nopea tapa ohjelmoida robotille yksinkertainen ohjelma.

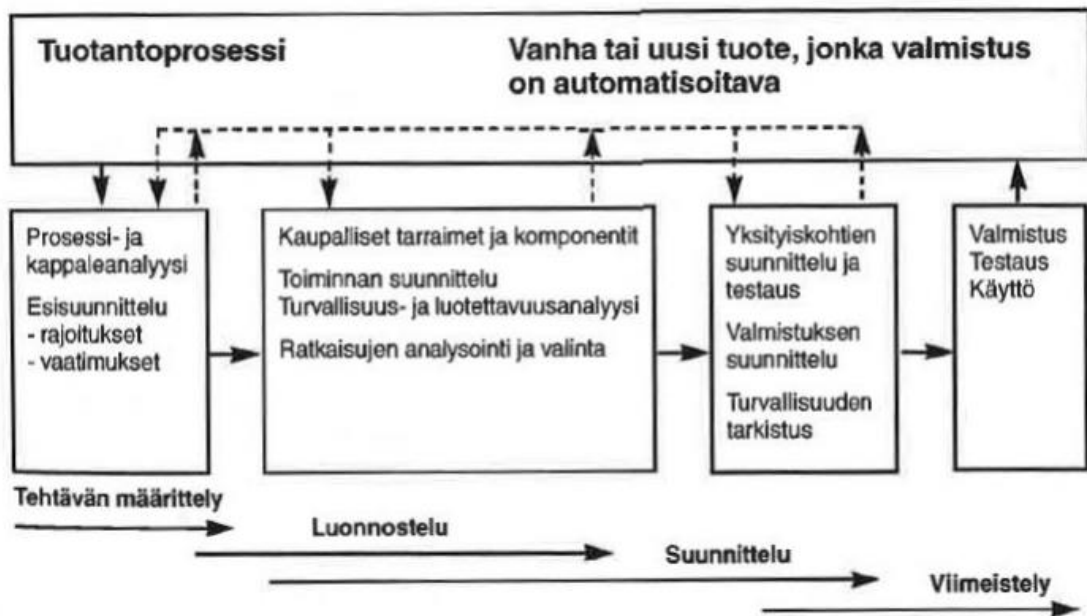
#### 10.4.5 Robotin ohjelmointi etäohjelmoimalla

Robotin etäohjelmointi samalla tavalla kuin virtuaalimaailmassa tapahtuva ohjelmointi tarvitsee robotin työskentelypisteestä tehdyn 3D-mallin. Ohjelmoinnista saa tehtyä sitä tarkemman, mitä tarkemman tekee ko. mallista. Mallin tarkkuudella tarkoitetaan tässä yhteydessä, että käytettävät mallit mallinnetaan riittävällä tarkkuudella. Etäohjelmointi on jaettavissa kahteen eri kategoriaan: Joko tekstipohjaiseen tai mallipohjaiseen ohjelmointiin. Tekstipohjainen ohjelmointi ei juuri-kaan eroa `c#`-kielen ohjelmoinnista, ohjelmointi suoritetaan esimerkiksi No-`tepad++`:lla ja siirretään ohjelman valmistuttua se muistitkun avulla robotille.

## 10.5 Robottien työkalut ja tarttujat

### 10.5.1 Robottien tarttujat

Tarttujen valinnassa pitää ottaa huomioon monta erilaista asiaa. Kaikkein tärkein tekijä on tarttujan pääasiallinen käyttö, mikä tarkoittaa sitä, että tarttuja valitaan siten että se sopii työkappaleen ominaisuuksiin parhaalla mahdollisella tavalla. Esimerkiksi kevyiden muodoltaan pyöreiden kappaleiden liikutteluun voisi sopia parhaiten alipaineella toimiva imukupitarttuja. Kuviossa 32 on esitetty tarttujan valintaprosessi kaaviomuodossa. (Kaarlela 2021a, 30.)



Kuvio 32. Tarttujan valintaprosessi kaaviona (Kaarlela 2021a, 31.)

Toimintaperiaatteeltaan pneumaattiset ja hydraulitoimiset tarttujat ovat samanlaisia, ainoa ero näissä on voiman välittäjäaine. Pneumaattisissa tarttujissa se on ilma ja hydraulisissa neste. Etuina pneumaattisissa tarttujissa on niiden halpa hinta, yksinkertaisuus ja laaja käyttölämpötila-alue, kun taas huoltokustannukset saattavat nousta suuriksi. Hydraulisissa tarttujissa etuihin luetaan tarvittaessa suuri puristusvoima ja puristusvoiman helppo ohjattavuus sekä sen tarkkuus. Haittapuoliksi voidaan lukea käytetty neste joka vuodon sattuessa suurella paineella suihkutessaan voi aiheuttaa vaaratilanteita robotille itselleen ja sen käyttäjille. (Lindholm 2020, 12.)

Vakuimitarttujen toimintaperiaate on hyvin yksinkertainen, näissä kappale nostetaan tarttujan ja liikuteltavan kappaleen välille muodostuvan alipaineen eli vakuumin avulla. Vakuimitarttuja toimii parhaiten pinnoille, jotka ovat tasaisia ja puhtaita. Vakuimitarttujissa käytetty materiaali on joko kumia, muovia tai jotain joustavaa materiaalia, kuten solukumifoamia. Käyttökohteita vakuimitarttujille ovat esimerkiksi robotisoitu lannoitesäkkien pakkaaminen lavalle tai autoteollisuudessa auton peltiosien siirtely. (Lindholm 2020, 12.)

### 10.5.2 Robottien työkalut

Robottien työkalujen valintaan liittyvät samat lainalaisuudet kuin tarttujen valintaan, kannattaa valita kuhunkin käyttötarkoitukseen parhaiten sopiva. Jos on tarve samalla robotilla tehdä useita työvaiheita työstettävälle kappaleelle, joihin tarvitsee erilaisia työkaluja niin silloin on selkeä tarve työkaluvaihtajalle.

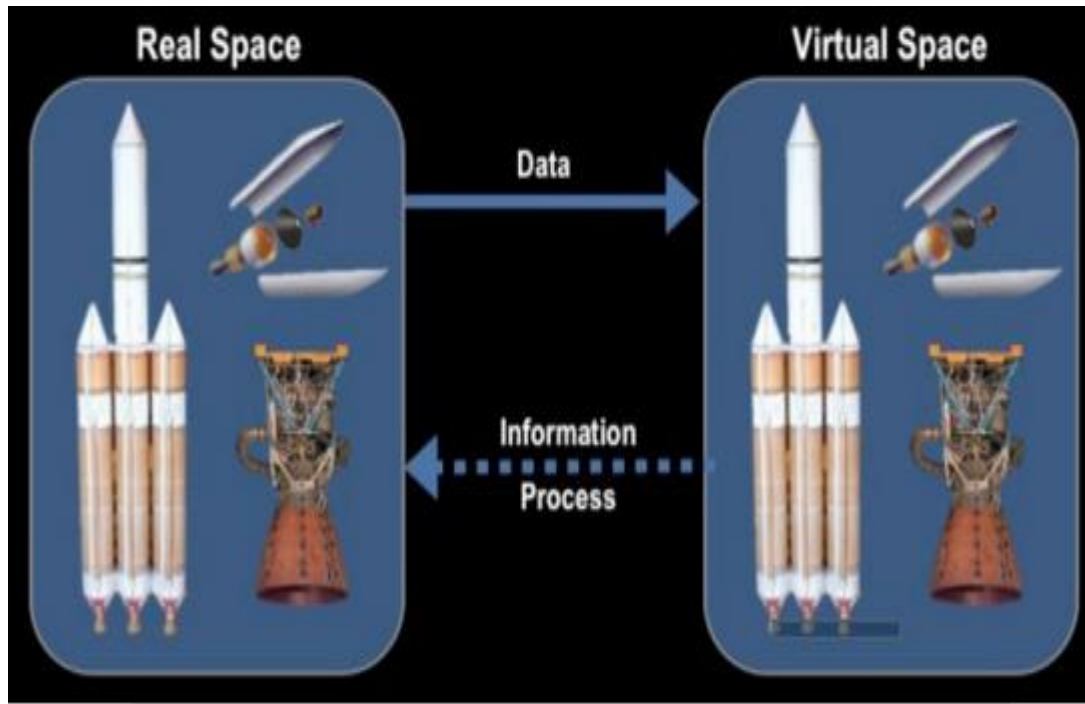
Jos työstettävän kappaleen työstämiseen tarvitaan vain kahta työkalua niin tällaisessa tapauksessa molempien työvaiheiden työkalut voivat olla robotissa kiinni, mikäli työstettävä kappale sen sallii. Työkalun vaihto tapahtuu tällaisessa tapauksessa robotin käsivarren pyöräytyksellä siten että saadaan toisen vaiheen työkalu kohdalleen ja voidaan jatkaa robotin työkiertoa.

### 10.6 Digitaalinen kaksonen

Digitaalisten kaksosten juuret ovat Nasan 1960-luvun Apollo-ohjelmassa (Kuvio 33). Tuolloin Nasa rakensi kuuhun lähetetystä kuumoduulista kopion, joka jäi maanpinnalle. Tämän maan pinnalle jääneen kuumoduulin kopion tarkoituksena oli ratkaista kuulennolla mahdollisesti tulleita ongelmia ja simuloida erilaisia tilanteita mitä lennolla voisi tapahtua. (Pakarinen 2022, 9.)

Digitaalinen kaksonen on tarkka, virtuaalinen kopio jostain tosielämän prosessista, tuotantolaitteesta tai tuotantosolusta. 3D-malli, ilman yhdistettyä dynaamista informaatiota tai analyysin avulla kerättyä dataa, joka on saatu esimerkiksi

BMI-mallinnuksella tai IoT-laitteista, ei vielä toimi. Kerätty data pitää yhdistää tehtyyn 3D-malliin, jotta saadaan tarkka ja oikein toimiva kopio oikeasta prosessista. (Pieskä & Kaarlela 2022.)



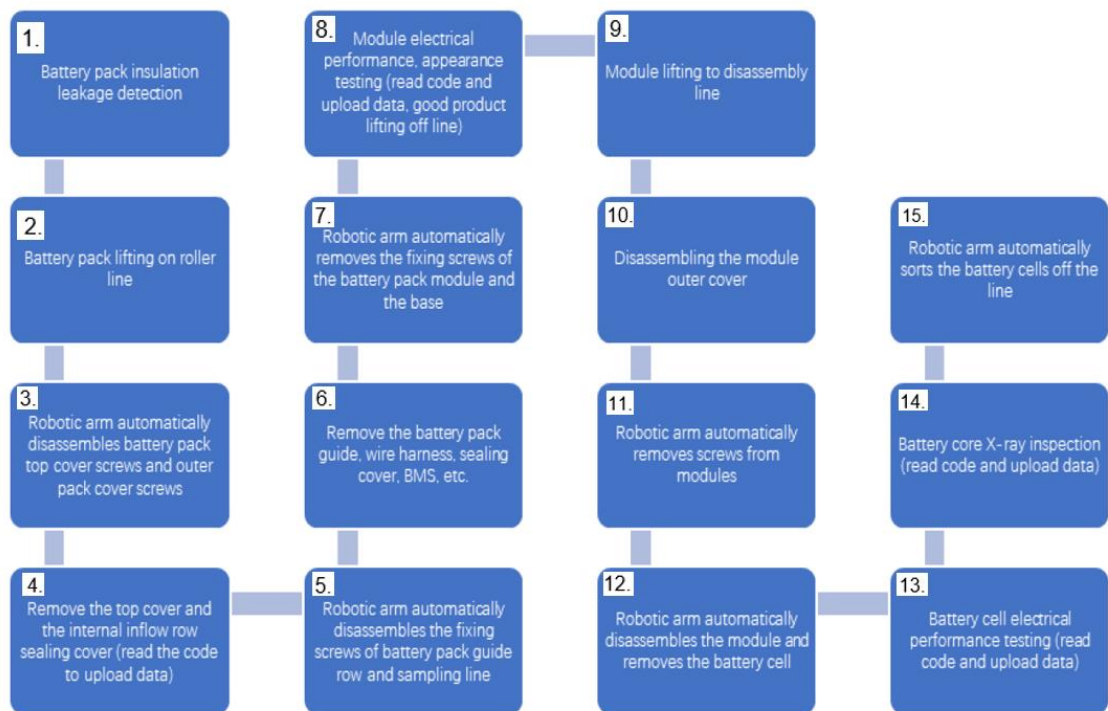
Kuvio 33. Datan siirtyminen digitaalisen ja tosielämän mallin välillä (Pieskä & Kaarlela 2022)

Kun tieto saadaan liikkumaan, fyysisestä ja oikeasta prosessista digitaalisen kaksonen suuntaan, tietoa voidaan käyttää esimerkiksi prosessin analysointiin ja koneoppimiseen. Edellisten lisäksi, kun tuotantoprosessista on tehty toimiva digitaalinen kaksonen, sitä voidaan myös hyödyntää etäohjelmoinnissa.



## 11 AJOVOIMA-AKKUJEN PURKUPROSESSIN PROSESSIKUVAUS

Sähköautoissa käytettäviä akkuja tuotetaan enemmän koko ajan lisääntyvän tarpeen myötä. Ympäri maailmaa tutkitaan sähköauton akkujen kierrätysmahdollisuuksia, koska näissä akuissa on nikkeliä, kobolttia, mangaania sekä litiumia ja kierrättämällä näitä akkuja saadaan talteen arvokkaita raaka-aineita akkujen valmistukseen. (Yin, Xiao, & Wang 2022.)



Kuvio 34. Sähköajoneuvojen akkujen purkuprosessin prosessikaavio (Xu, Chen, Chen, Wang, Hu, Wang, Li, Li 2022)

Prosessikaavio on esitetty pääpiirteittäin kuviossa 34, mukaan lukien:

- 1. Eristysvuotojen mittaus
- 2. Akkupaketin nosto kuljetushihnalle
- 3. Robotti irrottaa yläkannen ruuvit ja tiivistet ja lukee viiva- tai qr-koodin
- 4. Robotti irrottaa yläkannen ja lukee viiva- tai qr-koodin
- 5. Robotti irrottaa ohjausrimojen ja kaapeleiden kiinnitys ruuvit
- 6. Johdinsarjan, tiivistekannen ja akun hallintajärjestelmän (BMS) irrotus jne.

- 7. Robotti irrottaa akkumoduulien kiinnitysruuvit
- 8. Moduulien sähköinen testaus ja ulkonäkö ja viiva- tai qr-koodin luenta.
- 9. Moduulit nostetaan purkuhihnalle
- 10. Moduulin ulkokuoren purkaminen.
- 11. Robotti irrottaa moduulin yläkannen ruuvit ja tiivisteet
- 12. Robotti purkaa moduulin ja poistaa akkukennot moduulista
- 13. Kennojen sähköinen testaus ja viiva- tai qr-koodin luenta
- 14. Akun kuoren röntgen tutkimus ja viiva- tai qr-koodin luenta
- 15. Robotti lajittelee akkukennot pois linjalta. (Xu, Chen, Chen, Wang, Hu, Wang, Li, Li 2022.)

Yllä olevassa prosessikuvauksen esimerkissä on ihmisen tehtävä työ hyvin vähäistä. Se rajoittuu ainoastaan kuvion 34, kohdassa 1 tehtävään akkupaketin eristyksen mittaukseen ja kohdassa 2 tehtävään akkupaketin kuljetinhihnalle nostoon. Muuten koko prosessin kaikki muut työvaiheet hoitavat robotit, joten kuvauksen mukaisen prosessin robotisoinnin aste on suuri.



## 12 ESIIN NOUSSEET HAASTEET

Seuraavassa on avattu hieman niitä haasteita, mitä on noussut esiin opinnäyte-työtä tehtäessä, mietittäessä purkuprosessin digitaalisten kaksosten käytön jär-kevyyttä simuloitaessa purkuprosessia.

**Digitaalisten kaksosten** käyttö purkuprosessin esisuunnittelussa on haastavaa koska yksi digitaalisten kaksosten ajatus on, että saadaan jostain käytössä ole-vasta prosessista reaaliaikaista dataa digitaalisen kaksosen malliin. Reaaliaikai-sen datan implementoinnin avulla digitaalinen kaksosen saadaan toimimaan oi-kean prosessin tavoin.

Digitaalisten kaksosista saadaan suurin hyöty tapauksessa, jossa täytyisi aloittaa täysin uuden akkumallin purku. Digitaalisen kaksosen avulla voidaan ottaa uusi akkumalli purkuun ilman että oikean prosessiin tulee käyttökatoa koska uusi oh-jelmisto voidaan ajaa sisään digitaalisessa kaksosessa. Digitaalisessa kakso-nessa voidaan simuloida uuden akkumallin vaikutus purkuprosessiin ja tarkas-tella mm. mahdolliset törmäykset työkalun ja akuston välillä ilman että jo ole-massa olevan prosessin käyttö häiriintyy.

**Purkuprosessissa tarvittavaan laitteistoon** ei voi antaa yksiselitteistä ratkai-sua. Haluttu robotisoinnin ja automaation aste määrittelee sen, millaisia robotteja prosessiin hankitaan ja myös hankittavien robottien määrän. Onko prosessin tar-koitus olla pitkälle automatisoitu? Jos on, niin silloin on selkeä tarve myös käyttää kameratekniikkaa tunnistamaan ajovoima-akkujen komponenttien paikat sekä asennot, jotta prosessin robotit voivat suorittaa ajovoima-akun purun automaatti-esti loppuun asti. Muissa tapauksissa, automaation tason ollessa vähäisempi osa akuston komponenteista voidaan irrottaa ihmisvoimin ja akuston purku suo-ritetaan loppuun robotisoidusti.

### 13 POHDINTA

Työ kokonaisuutena on vain pelkkä pintaraapaisu aiheeseen. Siitä ei ole tarkoituksenmukaista tehdä sellaista työtä, että se kattaisi mahdollisimman tarkasti kaikki akuston purkuprosessin osa-alueet. Muun muassa logistiikan ja infrastruktuurin osa-alueet on rajattu tietoisesti työstä pois. Tarkoitus on vain keskittyä olennaisen tiedon esiin tuomiseen riittävässä määrin purkuprosessin kokonaisuuden hahmottamiseen.

Se millaiseen ratkaisuun päädytään, kun aloitetaan suunnittuprosessi akkujen purkuprosessia ajatellen, on monen asian summa. Lopputulokseen vaikuttaa se, kuinka pitkälle prosessissa halutaan viedä automaation taso ja missä määrin halutaan käyttää robotteja prosessin aikana. Se missä kohtaa robottia käytetään prosessissa vaikuttaa oleellisesti mm. siihen millainen on oltava robotin käsittelykyvyn sekä siihen millaista työkalua käytetään. Näin siksi koska sähköauton akusto on painava, noin 600 kiloa. Kennotasolla robotilta vaaditaan käsittelykykyä noin 20–30 kg. (Tesla)

Purkuprosessin simulointi on yksi tärkeä osio suunniteltaessa akunpurkuprosessia ja simuloitavan mallin rakentaminen mahdollisimman todenmukaiseksi auttaa todenmukaisen lopputuloksen saavuttamisessa. Tarvittaessa simulointia voidaan tehdä pistetasolla, mikä tarkoittaa purkuprosessin jonkin tietyn pisteen tarkempaa simulointia mutta yleensä ottaen koko prosessin simulointi kerralla riittää.

Se millaista ohjelmointitapaa käytetään kunkin pisteen robotille, on yksi asia mihin kannattaa kiinnittää huomiota. Paras ohjelmointitapa yksinkertaisimpiin ohjelmointitarpeisiin on tehdä robotin ohjelma joko johdattamalla tai ohjelmointipäätteen avulla. Monimutkaisempiin tapauksiin kannattaa käyttää jotain ohjelmointityökalua, kuten RoboDK: ta. Tosin ohjelmointityökalua käytettäessä on ohjelmoitavasta kohteesta oltava riittävän tarkka 3D-malli, jotta ohjelmaan saadaan oikeaan kohtaan reittipisteen asetettua eli jos purettavasta akusta ei ole riittävän tarkkaa 3D-mallia saatavilla niin tällaisessa tapauksessa ohjelman teko onnistuu parhaiten johdattamalla.

Aihe on näyttänyt sen kokonaisuuden kuinka paljon purkuprosessi erivaiheet tarvitsevat monenlaista osaamista. Yhden ihmisen on mahdotonta hallita kaikkia tällaisen projektin kokonaisuuksia, siksi onkin tärkeä akkujen purkuprosessiin tähtäävässä projektissa koota moniammatillinen tiimi pohtimaan tarvittavia asioita. Aineiston hankkiminen tähän työhön on joiltain osin ollut haasteellista koska tässä laajuudessa tällaista työtä ei ole tietääkseni toteutettu ja moni lähde teksti onkin englanninkielinen.

Oppimiskokemuksena työ on ollut haasteellinen, mikä juuri on tehnyt siitä mielenkiintoisen kokemuksen. Se mitä aihe pitää sisällään myös tulevaisuudessa antaa toivottavasti edellä mainitulle tulevaisuudelle myös suuntaviivat. Työn joitain osa-alueita olisi mielenkiintoista tutkia lisää ja tarkemmin, kuten robotiikkaa. Jotkut osa-alueet puolestaan menevät oman osaamisen yli, eikä niihin ole juuri siitä syystä enempää paneuduttu tässä työssä. Tällaiset asiat kuten tarkempien ilmastointiratkaisujen tekeminen on parempi jättää sellaisille henkilöille, jotka sen oikeasti osaavat.

## LÄHTEET

Carlton, B. 2017. VRscout. Training Robots Tedious Tasks With VR.

Viitattu 16.1.2023.

<https://i0.wp.com/vrscout.com/wp-content/uploads/2017/11/ucb-robot-vr.jpg?w=750&ssl=1>.

Centria AMK, tutkimus, kehitys ja palvelut. Viitattu 2.5.2023 <https://net.centria.fi/tki/>.

Centria AMK, tutkinnot. Viitattu 3.5.2023

<https://net.centria.fi/tki/> <https://net.centria.fi/koulutus/amk-tutkinnot/>.

Centria Bulletin, Centria-ammattikorkeakoulun verkkolehti. Viitattu 10.5.2023

<https://centriabulletin.fi/wp-content/uploads/2022/11/RoboLab-edited.png>.

Pieskä, S & Kaarlela, T. 2022. Digitaaliset kaksoset, Centria AMK.

Kaarlela, T. 2021a. Teollisuusrobottien tarttijat, Robotiikka MT00AH34-3001.

Centria AMK.

– 2021b. Robotiikan taustaa, perusteita, historiaa ja määritelmiä, rakenteita ja tilastoja, Robotiikka MT00AH34-3001. Centria AMK.

– 2021c. Robottien rakenteet ja robottityypit. Centria AMK.

Pieskä, S. 2021. Yhteistyö ja mobiilirobotiikka AK00AG73-3001. Centria AMK.

Klohs, D., Offermanns, C., Heimes, H., Kampker, A. 2023. Automated Battery Disassembly—Examination of the Product- and Process-Related Challenges for Automotive Traction Batteries. Viitattu 26.11.2023 <https://www.mdpi.com/2313-4321/8/6/89>.

Ferob Oy. Koulutukset. Viitattu 20.5.2023 <https://www.ferob.fi/wp-content/uploads/robottija%CC%88rjestelmien-koulutuspalvelut-1024x576.jpg>.

Haimi, P. 2020. Nykyaikaisen sähköauton akku. Opinnäytetyö. Viitattu 28.5.2023. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/346098/Haimi\\_Pasi.pdf?sequence=2](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/346098/Haimi_Pasi.pdf?sequence=2)

Yin, H., Xiao, J., Wang, G. 2022. Human-Robot Collaboration Re-Manufacturing for Uncertain Disassembly in Retired Battery Recycling. Viitattu 26.11.2023 <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10021388>.

Lampela, P. & Boman, M. 2021. Hissin ja oven integraatio hahmontunnistusjärjestelmässä. Viitattu 31.7.2023. <https://www.theseus.fi/handle/10024/503060>.

Leino, J. 2021. Ohjelmistoprojektin vaatimusmäärittelyn laatimisen haasteet. Viitattu 31.7.2023. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/130947/LeinoJoonas.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Lindholm, T. 2020. robottien tartuntavaihtoehdot. Viitattu 8.6.2023. <https://oulu-repo.oulu.fi/handle/10024/15065>

Zorn, M., Ionescu, C., Klohs D., Zähl, K, Kisseler, N., Daldrup, A., Hams, S., Zheng, Y., Offermanns, C., Flamme, S., Henke, C., Kampker, A., Friedrich, B. 2022. An Approach for Automated Disassembly of Lithium-Ion Battery Packs and High-Quality Recycling Using Computer Vision, Labeling, and Material Characterization. Viitattu 26.11.2023 <https://www.mdpi.com/2313-4321/7/4/48>

Metsis, J. 2022. Vaatimusmäärittelyn tarkennusmenetelmät ja niiden vaikutukset ohjelmistokehittäjän ja asiakkaan väliseen yhteisymmärrykseen. Viitattu 31.7.2023. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2022060917203>

Perko, M. 2021, Vaatimusmäärittely osana valmisjärjestelmän hankintaprosessia. Viitattu 3.7.2023 <https://www.theseus.fi/handle/10024/427088>.

Koivula, J. 2020. Näin onnistut vaatimusmäärittelyn tekemisessä. Viitattu 20.5.2023 <https://www.rubic.fi/blogit/nain-onnistut-vaatimusmaarittelyn-tekemisessa/>.

Tukes 2015. Räjähdyksivaaralliset tilat. vaatimusmäärittelyn laatimisen haasteet. Viitattu 31.7.2023 <https://tukes.fi/teollisuus/rajahdysvaaralliset-tilat#aa33254c>

Tukes 2021. Vaarallisten kemikaalien käsittely ja varastointi. Viitattu 3.9.2023. <https://tukes.fi/vaarallisten-kemikaalien-kasittely-ja-varastointi>

RoboDK. Offline Programming with RoboDK. Viitattu 20.7.2023 <https://robodk.com/blog/wp-content/uploads/2018/10/Offline-Programming-Mecademic.png>

Ojanen, R. 2022. Mobiilirobottien navigointitekniikat ja esteiden välttäminen. Viitattu 29.5.2023. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202204233447>.

Pakarinen, S. 2022, Digitaalinen kaksonen kiinteistön huollossa ja käytössä, 2022. Viitattu 31.5.2023 <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202203294130>.

Peltola, A. 2021. Auton akkujen kierrätys. Viitattu 17.5.2023 <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202103032882>

Ziemann, S., Grunwald, A., Schebek, L., Müller, D.B. & Weil, M. 2013. The future of mobility and its critical raw materials. Viitattu 15.10.2023 <https://www.researchgate.net/publication/257984459>

Nordic plug, Sähköauton lataus tulevaisuudessa - katoavatko latausasemat, Viitattu 25.5.2023 <https://nordicplug.fi/blogs/sahkoautot-ja-lataaminen-blogi/sahkoauton-lataus-tulevaisuudessa>

Tesla 5.3 kWh Battery Module (85 kWh Pack). Viitattu 3.9.2023 <https://stealthev.com/product/tesla-module/>

Tuominen, T. 2017. Vaatimusmäärittely projektihallinnan malleissa. Viitattu 21.8.2023. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201703213564>

Visure. Mitä ovat ei-toiminnalliset vaatimukset: esimerkit, määritelmä, täydellinen opas. Viitattu 21.5.2023 <https://visuresolutions.com/fi/blog/non-functional-requirements/>

Zhao, Y., Pohl, O., Bhatt, A.I., Collis, G.E., Mahon, P.J., R, Thomas and Hollenkamp, A.F. 2021 A Review on Battery Market Trends, Second-Life Reuse, and Recycling. Viitattu 10.9.2023 <https://www.mdpi.com/2673-4079/2/1/11>

Xu, Z., Chen, P., Chen, X., Wang, P., Hu, S., Wang, Q., Li, D., Li, L. 2022. Research progress of automatic dismantling technology of new energy vehicle traction battery. Viitattu 26.11.2023 <https://ieeexplore.ieee.org/document/9744759>

## LIITTEET

1 RECIRCULATE-hanke, Vaatimusmäärittely



RECIRCULATE-hanke, Vaatimusmäärittely

Sami Ollila

2024

Laatija/t: Sami Ollila

Päiväys: 02.08.2023

Luottamuksellisuus: julkinen

Hyväksynyt: \_\_\_\_\_

Versio: 1.0

## Sisällysluettelo

MUUTOSHISTORIA.....	4
1 DOKUMENTIN TARKOITUS JA KOHDERYHMÄ .....	5
2 MÄÄRITELMÄT JA TERMIEN SELITYKSET .....	5
3 YLEISKUVAUS.....	6
3.1 Asiakas .....	6
3.2 Käyttötarkoitus.....	6
3.3 Käyttäjät ja toimintaympäristö.....	7
3.4 Liittymät muihin järjestelmiin ja digitaalinen kaksonen.....	7
4 TOIMINNALLISET VAATIMUKSET .....	8
4.1 Yleiskuvaus järjestelmän toiminnasta .....	8
4.2 Yleiset rajoitukset .....	9
4.3 Käyttötapauskaavio .....	9
4.4 Käyttötapaukset.....	10
4.5 Robottien lisätoiminnot .....	10
5 EI-TOIMINNALLISET VAATIMUKSET .....	11
5.1 Käytettävyys .....	12
5.2 Tietoturva .....	12
5.3 Toimintavarmuus .....	12
5.4 Ylläpidettävyys, huollettavuus ja laajennettavuus.....	12
6 MUUT VAATIMUKSET .....	14
7 RAJOITUKSET SUUNNITTELULLE JA TOTEUTUKSELLE .....	15
7.1 Laitteistorajoitukset.....	15
7.2 Ohjelmistorajoitukset .....	15
LÄHTEET.....	16

## Muutoshistoria

Henkilö	Päiväys	Versio	Kommentti

## 1 DOKUMENTIN TARKOITUS JA KOHDERYHMÄ

Tämän vaatimusmäärittelydokumentin tarkoituksena on kuvata Recirculate-hankkeen puitteissa tehtävän robotisoidun sähköauton ajoakkujen purkupisteen toimintojen pääpiirteet ja tärkeimmät toiminnot. Vaatimusmäärittelydokumenttia voi tarvittaessa käyttää sopimuksena asiakkaan ja projektiryhmän välillä, jos rakennetaan samantyyppinen robotisoitu sähköautoakkujen purkupiste. Oleellista on kuitenkin, että tehtävän sopimuksen molempien osapuolet tietävät, että mitkä ovat purkupisteen toimintojen pääpiirteet ja tärkeimmät toiminnot.

## 2 MÄÄRITELMÄT JA TERMIEN SELITYKSET

Termi	Kuvaus
VPN	Virtual Private Network, virtuaalinen erillisverkko. tiedonsiirron salaustapa, jolla voidaan yhdistää kaksi erillistä verkkoa toisiinsa julkisen verkon yli muodostaen näennäisesti yksityisen verkon.
TOSIBOX	TOSIBOX® on globaalisti auditoitu, patentoitu ja noudattaa toimialan korkeinta tietoturvasoaa. Se ei ole pilvipalvelu, vaan suora VPN-tunneli kahden fyysisen laitteen välillä. Vain valtuutetut laitteet pääsevät verkkoon. Laitteiden välistä dataa ei pureta. Tekniikkaa voidaan käyttää mm. IoT-infrastruktuurin rakentamiseen.
ATEX	ATEX-luokiteltuja tuotteita on pakko käyttää vaarallisiksi luokitelluissa paikoissa, kuten paikoissa, joissa varastoidaan tai valmistetaan tulenarkoja tuotteita. Näissä pienikin kipinä saattaisi aiheuttaa palo- tai räjähdysvaaran. Tällaisten tilojen luokituksesta ja tarkastuksesta vastaavat paloturvallisuusviranomaiset.

### 3 YLEISKUVAUS

Projektiympäristönä Recirculate-hankkeessa, robotisoidun purkupisteen osalta toimii Centria ammattikorkeakoulun, Ylivieskan yksikön robotiikkalaboratorion viereinen tila. Tilaan on rakennettu robotisoitu sähköauton ajoakkujen purkupiste, jossa tutkitaan sitä, miten olisi parasta purkaa ajoakkuja robotisoidusti, samalla tutkitaan sitä mikä olisi kuhunkin tapaukseen paras mahdollinen tapa ohjelmoida kulloinkin käytössä oleva robotti. Tämä vaatimusmäärittelydokumentti toimii suuntaviivoina tulevaisuudessa samantyyppisille projekteille tai hankkeille, missä on tarkoitus robotisoida sähköauton ajoakkujen purku.

#### 3.1 Asiakas

Tämä vaatimusmäärittely dokumentti on osa selvitystä, jossa otetaan kantaa siihen, miten on purkaa sähköauton ajoakkuja robotisoidusti. Selvitystyön tarkoitus on antaa työn tilaajalle Centria-ammattikorkeakoulun osapuolille selkeä kuva siitä mitä robotisoitu ajoakkujen purku vaatii kokonaisuudessaan sekä infran että purkuprosessin robottien ohjelmoinnin osalta. Tulevaisuudessa käyttäjinä tällaisille purkuprosesseille voisi olla kiertotalouden osapuolet, joilla on tarve robotisoida akkujen kierrätys.

#### 3.2 Käyttötarkoitus

Yksinkertaisuudessaan sähköauton ajoakkujen robotisoidun purkuprosessin tehtävä on suorittaa prosessiin tuodun akun purku robotisoidusti, ennalta ohjelmoidulla tavalla tarpeenmukaisilla työkaluilla. Tarvittavat työkalut on asetettu robotin ulottuville vaihtopisteeseen, josta robotti käy tarvittaessa vaihtamassa toisen työkalun suorittaakseen kulloisenkin työvaiheen. Työkalujen vaihdot ja työvaiheet on ohjelmoitu robotin ohjelmistoon.

### 3.3 Käyttäjät ja toimintaympäristö

Robotisoidun purkuprosessin pääasialliset käyttäjät ovat varta vasten kyseistä tehtävää koulutetut henkilöt. Kyseisille henkilöille on opetettu se, miten missäkin tilanteessa tulee toimia heidän käyttäessään purkuprosessin laitteita. Purkuprosessia voivat käyttää muutkin kuin varta vasten koulutetut henkilöt, mutta heillä täytyy kuitenkin olla muulla tavalla hankittu osaaminen, joka mahdollistaa prosessin laitteiston käytön ilman että siitä aiheutuu kohtuutonta vaaraa heille itselleen tai muulle käytössä mukana oleville henkilöille

### 3.4 Liittymät muihin järjestelmiin ja digitaalinen kaksonen

Mikäli sähköauton ajoakkujen purkuprosessille nähdään tarpeelliseksi tehdä digitaalinen kaksonen eli prosessi, joka toimii juuri samalla tavalla kuin oikea reaali maailman prosessi on tietoa prosessin osa-alueiden laitteista ja niiden liikkeistä siirryttävä digitaaliselle kaksoselle, jotta sen osa-alueiden laitteiden liikkeet saadaan vastaamaan reaali maailman prosessin laitteiden liikkeitä. Tiedonkeruu reaali maailman prosessista on hoidettava automaattisesti ja esimerkiksi IoT:tä hyväksi käyttäen, jota analysoidaan tarvittaessa, että sitä voidaan käyttää digitaalisessa kaksosessa hyväksi oikealla tavalla.

## 4 TOIMINNALLISET VAATIMUKSET

### 4.1 Yleiskuvaus järjestelmän toiminnasta

Sähköauton ajoakkujen robotisoidun purkuprosessi toimii siten että prosessiin tuodaan akusto, joka halutaan purkaa riippuen purun tason tarpeesta esimerkiksi kennotasolle saakka tai jopa pidemmälle. Tehtävän on suorittaa prosessin robotiikkalaitteista, ennalta ohjelmoidulla tavalla tarpeenmukaisilla työkaluilla, jotka voivat vaihdella erilaisista purkuun tulevista akkutyypeistä johtuen. Tarvittavat työkalut on asetettu robotin ulottuville vaihtopisteeseen, josta robotti käy tarvittaessa vaihtamassa toisen työkalun, jotta se voi suorittaa kulloisenkin työvaiheen. Työkalujen vaihdot ja työvaiheet on ohjelmoitu robotin ohjelmistoon.

Purun valmistuttua tulee ilmoitus siitä, että purku on valmistunut ja puretut osat voidaan noutaa pois purkupaikalta joko automaattisesti mobiilirobotilla tai trukilla riippuen siitä millainen on automaation taso prosessissa. Taulukossa 1 on listattu purkuprosessin toiminnallisia vaatimuksia

Taulukko 1. Purkuprosessin toiminnalliset vaatimukset taulukoituna (Kaarlela, Arnarson, Pitkäaho, Shu, Solvang & Pieskä. 2022)

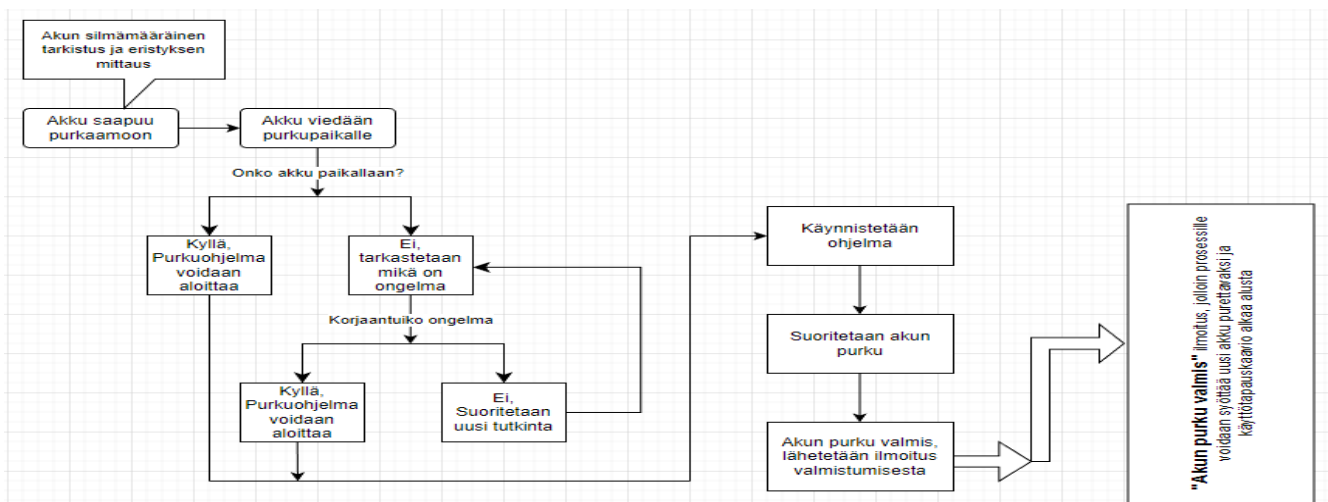
Tunniste	Nimi	Kuvaus	Taso
ID1	Prosessin monitorointi	Purkuprosessia voidaan valvoa kameroiden välityksellä etänä	Must
ID2	Ajovoima-akun rekisteröinti	Rekisteröidään akku purkuun, jolloin akun purkuun tarvittavat ohjelmistot ladataan roboteille	Must
ID3	Akun tutkinta	Akulle suoritetaan tutkimus, jotta voidaan olla varmoja akun purkamisen turvallisuudesta.	Must
ID4	Purkuprosessi Start	Aloitetaan purkuprosessi	Must
ID5	Akuston kuvaaminen kameralla	Selvitetään kameratekniikkaa hyväksikäyttäen komponenttien paikat ja asennot	Could
ID6	Purkuprosessi Stop	Ilmoitus purkuprosessin valmistumisesta	Must



## 4.2 Yleiset rajoitukset

Centria-ammattikorkeakoulun koepurkuprosessia ei tulla automatisoimaan pitkälle vaan akkujen nouto ja toimitus tapahtuu esimerkiksi trukilla ennalta määritettyyn pisteeseen, mistä kyseinen akusto lähtee purkuun robotisoidusti. Mikäli halutaan teollisen mittakaavan prosessia automatisoida pidemmälle, siitä pitää keskustella asiakkaan kanssa perusteellisesti ja kirjata tarpeet ja toiveet ylös, jotta päästään yhteisymmärrykseen siitä mitä ollaan tekemässä ja miksi.

## 4.3 Käyttötapauskaavio



Kuvio 1. Käyttötapauskaavio

Ylempänä on yksinkertaistettu käyttötapauskaavio akun purkuprosessista, josta nähdään purkuprosessin kulku pääpiirteittäin. Prosessin kulkuun palataan dokumentin myöhemmissä vaiheissa tarkemmin prosessin vaatimusten yhteydessä.

#### 4.4 Käyttötapaukset

Taulukko 2. Purkuprosessin käyttötapaus

KÄYTTÖTAPAUS:	Akun purku
YHTEENVETO:	Suoritetaan akun purku ennalta määritellyllä tavalla
TOIMIJAT:	Käyttötapausten toimijoina ovat prosessin robottilaitteistot ja prosessin käyttäjähenkilöstö
EHDOT:	Akun pitää olla asemoitu oikein purkupaikalle sekä sen pitää olla siinä kunnossa että purku osiin voidaan suorittaa turvallisesti
KUVAUS:	Suoritetaan sähköauton ajoneuvon akuston purku ennalta määritellyllä tavalla ohjelmiston mukaisesti
POIKKEUKSET:	Akustoa ei voida purkaa, mikäli se on vioittunut mekaanisesti tai sähköisesti siten että sen purku ei ole turvallista. Akuston sähköinen toimivuus todetaan suorittamalla eristysmittaus ja mekaaninen kunto tarkastetaan silmämääräisesti.
LOPPUTULOS:	Prosessin lopputuloksena saadaan riippuen tarpeesta kennotasolle ja pienempiin osiin purettu akku

#### 4.5 Robottien lisätoiminnot

Tarvittaessa prosessin robottilaitteisto voidaan ohjelmoida esimerkiksi:

- laittamaan purettu peltiosat valmiiksi kierrätyslaatikkoon.
- pinoamaan kennostot valmiiksi lavalle odottamaan kuljetusta muualle.
- nostamaan purkupaikalle uusi purettava akusto.

## 5 EI-TOIMINNALLISET VAATIMUKSET

Taulukossa 3 on esitetty tyypillisiä, ajovoima-akun purkuprosessin toiminnallisia vaatimuksia. Ei-toiminnallisia vaatimuksia voi esiintyä muitakin kuin ne mitä on alla olevassa taulukossa esitetty.

Taulukko 3. Purkuprosessin ei-toiminnalliset vaatimukset taulukoituna (Kaarlela, Arnarson, Pitkäaho, Shu, Solvang & Pieskä 2022)

Tunniste	Nimi	Kuvaus	Taso
ID1	Ohjelmointityökalu	* RoboDK * KU-KA.Sim * ABB Robotstudio * Ohjauspääte	Usability Performance
ID6	Toimintaympäristö	Robottien toimintaympäristö asettaa rajoitteita kehitysympäristön ohella, jotka täytyy huomioida tehtäessä ohjelmaa robotille	Usability
ID7	Data	järjestelmässä liikkuvan datan määrä on suuri robotin ja ohjaimen välillä, joten tiedonsiirtokaapeli täytyy olla oikeanlainen, että siinä riittää kapasiteetti.	Performance
ID8	Varmuuskopiointi	Robotin ohjelmisto pitää varmuuskopioida tarvittaessa, jotta välttyttäisiin mahdollisen sähkökatkon tai muusta syystä johtuvan ohjelmiston menettämiseen.	Reliability Usability
ID9	Läpimenoaika	Purettavan akuston läpimenoaika, joka vaihtelee akustotyypeittäin. Läpimenoajalla tarkoitetaan sen tapahtuman välistä aikaa, kun akku nostetaan hihnalle ja akun purku on valmis.	Performance
ID11	Käytettävyys	Purkupaikan käytettävyys, ts. kuinka vaikea on laittaa uusi akku purkupaikalle ja ottaa jo purettu akku pois?	Usability
ID12	Keskeytykset	Kuinka saadaan purettua akusto ilman että purkuprosessi keskeytyy?	Reliability Performance

ID13	Tietoturva	Miten saadaan prosessi tietoturval- liseksi?	Security
ID14	Etäohjelmointi	Miten järjestetään etäohjelmointi? Onko etäohjelmointi tarpeellista? • VPN • TOSIBOX®	Security Usability
ID15	Digitaaliset kaksoset	Onko digitaalisten kaksosten käyttö järkevää?	Usability Performance

### 5.1 Käytettävyys

Purkuprosessin käytettävyyttä voidaan lisätä lisäämällä automaation määrää prosessissa eli esimerkiksi lisätään robotisointi astetta ja hankitaan toinen tai useampi robotti tekemään sellaisia tehtäviä jotka on järkevä robotin suorittaa kuten akkukennojen pakkaus lavalla. Lisäksi prosessin käytettävyyttä voidaan parantaa erilaisilla nostimilla, jotka liikkuvat joko lihanvoimalla tai moottorin avulla.

### 5.2 Tietoturva

- Purkuprosessin robottien ohjelmointiin käytettäviin tietokoneisiin pääsy on hyvä suojata riittävän pitkällä salasanalla, joka on vähintään 12 merkkiä tai enemmän pitkä.
- Mikäli prosessin robotteja on tarve ohjelmoida etänä, on suotavaa järjestää turvallinen etäyhteys esimerkiksi VPN:ä tai TOSIBOXia käyttäen.

### 5.3 Toimintavarmuus

Purkuprosessin laitteiden on toimittava luotettavasti tilassa, minne ne asennetaan, vaikka kyseisessä tilaan olisi päässyt purettavista akuista kaasuja, jotka olisivat ihmiselle vaarallisia tai saattaisivat aiheuttaa räjähdyksen kipinästä johtuen. Tästä syystä laitteiden on oltava ATEX-hyväksytyjä.

### 5.3 Ylläpidettävyys, huollettavuus ja laajennettavuus

- Järjestelmän varmuuskopioinnista on huolehdittava asianmukaisesti, että mahdollisesta vikatilanteesta johtuva ohjelmiston rikkoontuminen voidaan korvata toimivalla ohjelmistolla varmuuskopiolta.

- Tarvittaessa käytettävää ohjelmistoa on pystyttävä päivittämään toiminnallisuuksien lisäämiseksi ohjelmistoon.
- Robotin ohjelmistoon on pystyttävä tekemään muutoksia tarpeen niin vaatiessa.
- Järjestelmä on rakennettava siten että sitä on mahdollista tarpeen niin vaatiessa laajentaa.
- Järjestelmä on rakennettava siten että sitä on mahdollista tarpeen niin käyttää muuallakin siirron jälkeen.

## 6 MUUT VAATIMUKSET

- **Suorituskyky**

- Prosessin suorituskykyyn vaikuttaa purettavan akuston tyyppi ja käytössä olevat robotit.

- **Rajapinnat**

- Fyysinen liityntä laitteistoon on smartPADin kautta tai ohjelmointityökalun kautta

- **Tietoliikennerajapinnat**

- Järjestelmän tietoliikenne järjestetään joko langattomasti tai kaapelilla käyttäen kuhunkin tapaukseen parhaiten sopivaa tapaa ja standardia.

- **Käyttöliittymät**

- Käyttöliittymä purkuprosessin laitteistolle olla esimerkiksi:

- RoboDK-ohjelmisto
- KUKA smartPAD
- KUKA.WorkVisual
- KUKA.Sim ohjelmisto

Käyttöliittymä purkuprosessin laitteistolle voi olla myös jokin muu kuin yllä mainitut ohjelmistot.

## 7 RAJOITUKSET SUUNNITTELULLE JA TOTEUTUKSELLE

Kun suunnitellaan ohjelmistoa robotille, jonka mukaan robotti suorittaa sille asetetun tehtävän, täytyy ottaa huomioon mm. seuraavat asiat:

- Robotin hyötykuorma
- Robotin liikerajoitukset
- Robotin mahdolliset asentorajoitukset
- Työkalun ja sen kiinnityksen tuomat rajoitukset

### 7.1 Laitteistorajoitukset

Ohjelmointiin sopivan tietokoneen täytyy olla Windows-pohjainen tietokone käytettäessä ohjelmointityökaluja. RoboDK:sta löytyy myös Linux-pohjainen versio, joten sitä käytettäessä tietokoneeseen voi olla asennettuna käyttöjärjestelmäksi myös jokin sopiva Linux-järjestelmä, esimerkiksi jokin ubuntu-pohjainen käyttöjärjestelmä.

### 7.2 Ohjelmistorajoitukset

- RoboDK-ohjelmisto
- KUKA smartPAD
- KUKA.WorkVisual
- KUKA.Sim ohjelmisto

Yllä mainitut ohjelmistot ovat esimerkkejä siitä, mitä ohjelmistorajoituksiin voidaan kirjata. Ohjelmistorajoituksiin voidaan määrittää myös jokin muu ohjelmisto tai laitteisto, millä suoritetaan purkuprosessin robotin/robottien ohjelmointi.

## LÄHTEET

Kaarlela, T., Arnarson, H., Pitkäaho, T., Shu, B., Solvang, B. & Pieskä, S. 2022. Common Educational Teleoperation Platform for Robotics Utilizing Digital Twins.

Viitattu 19.12.2023 <https://www.mdpi.com/2075-1702/10/7/577>.