

Prizztech

Teknologiametallien kierrätyksen toimintaympäristö Satakunnassa

Prizztech Oy

Minna Haavisto
31.3.2023



SATAKUNTALIITTO

SISÄLLYSLUETTELO

1. Johdanto	2
2. Teknologiametallien kierrätys	2
2.1 Kiristyvät kierrätystavoitteet	4
2.2 Metallien kierrättämiseen liittyvä tutkimus ja tutkimusinfra Suomessa.....	4
3. Kierrätys Satakunnassa	6
3.1 Kierrättämistä edistävät selvitykset ja pilotit.....	7
3.2 Toimijakenttä	8
4. Toimintamalli kierrätyksen edistämiseksi	10
5. Johtopäätökset ja jatkotoimenpiteet	11

1. Johdanto

Yhteiskunta sähköistyy, kun se siirtyy fossiilisen energian käytöstä kohti uusiutuvaa energiaa. Yhä suurempi osa energiasta tuotetaan ja kulutetaan sähköinä. Teknologia, jota yhteiskunnan sähköistämiseen tarvitaan, rakentuu teknologiametallien varaan. Satakunnassa on vahva teollisuusklusteri, joka tuottaa teknologiametalleja sekä niistä valmistettuja komponentteja ja tuotteita uusiutuvan energian tuotantoon ja yhteiskunnan sähköistykseen, kuten sähköisen liikenteen tarpeisiin. Satakunnan teknologia-metalliklusterin kannalta oleellisimpia teknologiametalleja ovat kupari, nikkeli, koboltti, harvinaiset maametallit, magnesium ja vanadiini.

Teknologiametallien rajallinen saatavuus on yksi vihreää siirtymää hidastavista tekijöistä. Kaivostoiminnan laajentamisen lisäksi tarvitaan uusia ja tehokkaita kierrätysmenetelmiä, joilla sivuvirroista ja käytöstä poistetuista tuotteista saadaan metallit mahdollisimman tehokkaasti talteen ja uudelleen käyttöön. Toisaalta yhteiskunnassa ollaan siirtymässä kohti kiertotaloutta, jossa tavoitteena on jätteettömyys. Kaikille teollisessa toiminnassa syntyville materiaalivirroille pyritään löytämään käyttökohteet niin, ettei ympäristöön sijoitettavaa jätettä synny. Kaivannais- ja metallinjalostusteollisuudessa syntyy vielä paljon jätteiksi luokiteltuja virtoja, joiden hyötykäyttömahdollisuuksien etsintä vaatii työtä.

Teollisuuslaitoksiin kohdistuu myös yhteiskunnallinen paine jatkuvasta toiminnan parantamisesta suhteessa ympäristöön. Toiminnan ympäristövaikutuksia saadaan vähennettyä mm. parantamalla energia- ja materiaalitehokkuutta, lisäämällä kierrätysraaka-aineen käyttöä ja ehkäisemällä jätteiden syntyä. Kierrätyksen tehostaminen ja kierrätysraaka-aineiden hyödyntäminen vaatii yrityksiltä investointeja. Investoinnit puolestaan tarvitsevat toteutuakseen tietoa. On oltava tietoa hyödyntämisen teknisistä vaihtoehdoista ja niihin liittyvistä haasteista ja mahdollisuuksista. Tietoa tarvitaan myös taloudellisista vaikutuksista sekä sääntelystä. Lisäksi tarvitaan tietoa muista alan toimijoista, sillä kierrätys vaatii usein toimiakseen useiden organisaatioiden yhteistyötä. Kierrätysraaka-aineiden käyttöä harkittaessa myös tieto raaka-aineen saatavuudesta tulevaisuudessa on tärkeää. Kaikkea tätä tietoa tulisi tuottaa, koota ja välittää avoimesti koko toimialan- ja yritysekosysteemin käyttöön.

Tässä dokumentissa kerrotaan teknologiametallien kierrättämisestä, siihen liittyvän tiedon tuottamisesta, alan toimijoista sekä tavasta, jolla kierrätystä pyritään edistämään satakuntalaisessa teknologia-metalliklusterissa. Tämä raportti kokoaa Kriittisten kierrätysmetallien koetehdaskonsepti-hankkeen kuluessa kertyneen tiedon ja ymmärryksen metallien kierrättämisen toimintaympäristöstä sekä pyrkii hahmottamaan toimintamallia, jolla kierrätyksen edellytyksiä parannetaan myös hankkeen päättymisen jälkeen.

Tämä raportti on tuotettu osana Satakuntaliiton EAKR-rahoituksella rahoittamaa Kriittisten kierrätysmetallien koetehdaskonsepti-hanketta.

2. Teknologiametallien kierrätys

Teknologiametalleiksi kutsutaan sellaisia metalleja, joita hyödynnetään vihreän siirtymän teknologioissa mahdollistamassa yhteiskunnan sähköistymistä. Teknologiametalleja käytetään monesti niiden sähköisten, magneettisten tai kemiallisten ominaisuuksiensa vuoksi. Osa metalleista on luokiteltu kriittisiksi, sillä niiden saatavuuteen liittyy huomattavia riskejä. EU:n kriittiseksi luokittelemien metallien lista kasvaa jatkuvasti, ja yhä useammasta teknologiametallista on tullut kriittinen, kun saatavuuteen liittyvät riskit ovat lisääntyneet kysynnän voimakkaan kasvun myötä.

Metallit ovat yleisesti hyvin kierrätettäviä materiaaleja ja monille perusmetalleille on jo toimivat kierrätysketjuna. Teknologiametallien kierrättämisessä haasteena on niiden erottelu muista metalleista.

Teknologiametalleja käytetään usein osana isompia kokonaisuuksia, esimerkiksi akuissa tai elektroniikassa, jossa yksittäisten metallien pitoisuudet voivat olla pieniä.

Jotta kierrätys voisi toteutua, on kierrätyksen koko ketjun oltava kunnossa. Teknologiametalleja sisältävät jättejakeet on pystyttävä erottelemaan muusta jätteestä. Sen jälkeen prosessit teknologiametallien erottelemiseksi kyseisistä jättejakeista on oltava kunnossa. Prosessien on kyettävä jalostamaan metalleja niin pitkälle, että ne vastaavat käyttäjien näkökulmasta neitseellisiä raaka-aineita.

Kierrätysmetalleja löytyy useista erilaisista lähteistä. Kierrätettäväksi soveltuvia teknologiametalleja löytyy mm. käytöstä poistetuista tuotteista, erilaisista teollisuuden sivuvirroista sekä läjitetyistä materiaaleista eli käytännössä erilaisilta kaatopaikoilta.

Käytöstä poistetut tuotteet:

Käytöstä poistetuista tuotteista erityisesti erilaiset sähkölaitteet, kuten kuluttajatuotteissa yleisesti sähkö- ja elektroniikkaromu sekä erilaiset akut ja paristot, sähköautojen akustot, moottorit ja johteet ovat kiinnostavia teknologiametallien lähteitä. Nämä kuuluvat pääasiassa tuottajavastuun piiriin, joten laitteiden valmistajilla ja maahantuojilla on velvollisuus kustantaa laitteiden kierrätys, kun ne poistetaan käytöstä. Kierrätys tapahtuu tuottajayhteisöjen kautta. Tuottajayhteisöt ostavat kierrätyspalvelun kierrätysyrityksiltä. Tuottajayhteisöt kehittävät kierrätystä yhdessä kierrätyksestä vastaavien yritysten kanssa. Lisää tietoa sähkö- ja elektroniikkaromun kierrättämisestä löytyy aihetta käsittelevästä [raportista](#).

Isonmat teolliset moottorit ja generaattorit, kuten tuuligeneraattorit, ovat myös tärkeitä lähteitä kierrätysmetalleille, erityisesti kuparille ja harvinaisia maametalleja sisältäville NdFeB-magneeteille. NdFeB on neodyymin, raudan ja boorin välinen yhdiste, joka sisältää myös vähäisiä määriä dysprosiumia ja terbiiumia. Magneettien painosta noin kolmasosa on harvinaisia maametalleja.

Teollisuuden sivuvirrat:

Teknologiametalleja sisältäviä tuotteita ja komponentteja valmistavien yritysten prosesseissa syntyy yleensä myös näitä metalleja sisältäviä jättejakeita, kuten esimerkiksi leikkaus- ja hiontajätettä tai epäkuraanttia tuotantoa. Sivuvirrat voivat olla kiinteitä tai myös nestemäisiä, joihin metallit ovat liuenneena. Raaka-aineen hinnan noustessa myös jätteen sisältämän metallin arvo nousee. Se kannustaa yrityksiä kehittämään näiden jätteiden kierrätysmenetelmiä ja siten muuttamaan jätteet hyödynnettäviksi sivuvirroiksi.

Metallinjalostuksessa syntyy erilaisia kuonia ja sivukiviä, jotka sisältävät edelleen pieniä määriä kriittisiä metalleja. Näiden talteen ottaminen vaatii uutta teknologiaa tai metallien hintojen huomattavaa nousua ollakseen taloudellisesti kannattavaa. Yrityksille voikin olla edullisempaa läjittää kuonat, kuin lähteä etsimään niille jatkojalostusmahdollisuutta. Toisaalta kuonat, joista kaikki liukoiset metallit on huolellisesti poistettu, voivat olla hyödynnettävissä esimerkiksi maanrakennuksessa tai betoni- ja laastituotteiden valmistuksessa.

Teollisuuden prosesseissa syntyvät metallipitoiset jätteet ovat yritysten omaisuutta ja vaatii siten yritysten omaa aktiivisuutta etsiä niille uusia hyödyntämismahdollisuuksia.

Läjitetty materiaali:

Perinteisesti yhteiskunta on pyrkinyt eroon jätteistä kokoamalla niitä kaatopaikoille. Vuoden 2016 alusta voimaan tulleen orgaanisen jätteen kaatopaikkakiellon myötä yhdyskuntajätteen kaatopaikkasijoitus on

merkittävästi vähentynyt. Vanhat kaatopaikat voivat sisältää runsaasti myös erilaisia metalleja, mutta niiden käyttöön saaminen on varsin haastavaa. Kaatopaikat on käytön jälkeen huolellisesti suljettu ajatuksella, että niihin ei enää kosketa. Omistajalla on velvollisuus seurata, ettei kaatopaikalta pääse ympäristöön haitallisia aineita. Kaatopaikan avaaminen lisää tähän liittyviä riskejä, eikä siihen kovinkaan köykäisin perustein lähdetä.

Suomessa, kuten muuallakin maailmassa, on paljon kaivostoiminnan seurauksena syntyneitä rikastushiekkakasoja, jotka sisältävät edelleenkin vähäisiä määriä arvokkaita metalleja. GTK (Geologian tutkimuskeskus) on aloittanut vuonna 2022 suomalaisten kaivosten rikastushiekka-alueiden systemaattisen inventoimisen ja luokittelun. Näiden rikastushiekkakasojen uudelleenprosessointi voi muuttua houkuttelevaksi, kun teknologia kehittyy. Alalla on joka tapauksessa siirryttävä hyödyntämään yhä köyhempiä malmiesiintymiä, kun parhaat esiintymät on jo käytetty. Useita selvityshankkeita on menossa kaivannaisteollisuuden ja metallinjalostuksen sivukivien, rikastushiekkojen ja kuonien jatko-prosessoinnin edellytysten selvittämiseen.

2.1 Kiristyvät kierrätystavoitteet

Teknologiametallien kierrättämisen jatkuvaan tehostamiseen ohjataan voimakkaasti EU:n taholta. EU:ssa on valmisteilla mm. akkujen kierrättämiselle tiukentuvia vaatimuksia asettava akkuasetus sekä kriittisiä raaka-aineita ja niiden saatavuutta koskeva lakiehdotus. Akkuasetus tulee asettamaan vaatimuksia niin akkujen kierrätysasetteen nostamiselle kuin kierrätysperäisten raaka-aineiden käytölle uusien akkujen valmistuksessa.

Esimerkiksi kannettavien paristojen ja akkujen keräysastevaatimukset kiristyvät vaiheittain seuraavasti:

- keräysastevaatimus 63 % on täytettävä 2027 loppuun mennessä (vuonna 2021 keräysaste oli 55 %)
- keräysastevaatimus 73 % on täytettävä 2030 loppuun mennessä

Kevyiden sähköisten liikkumisvälineiden akuille (LMT) tulee uusi, oma erillinen keräysastevaatimus, joka kiristyy vaiheittain:

- keräysastevaatimus 51 % on täytettävä vuoden 2028 loppuun mennessä
- keräysastevaatimus 61 % on täytettävä vuoden 2031 loppuun mennessä

Kierrätystehokkuusvaatimuksia kiristetään myös nikkelikadmiumakkujen osalta. Niiden sisältämistä raaka-aineista tulee saada kierrätettyä 80 % vuoteen 2025 mennessä. Uusien akkujen valmistuksessa nikkelistä 6 % ja koboltista 16 % on tultava kierrätyslähteistä. Kierrätyslähteeksi katsotaan myös akkuteollisuuden prosessijätteestä erotellut metallit.

EU:n maaliskuussa 2023 julkaisemalla [raaka-ainealoitteella](#) pyritään turvaamaan kriittisten ja strategisten materiaalien saatavuutta EU:n alueella. Merkittävässä roolissa tässäkin on kierrätys. Uudella sääntelyllä pyritään tuomaan kierrätettävyyden huomioimista jo tuotteiden suunnitteluvaiheeseen. Esimerkiksi NdFeB-magneettien käyttäjien olisi jatkossa varustettava tuotteensa tiedolla, josta käy ilmi tuotteessa olevien magneettien määrä, koostumus ja sijainti sekä ohjeet magneettien irrottamiseksi. Lisäksi magneettien määrän ylittäessä 200 g, täytyy kierrätettyjen raaka-aineiden osuudet magneeteissa olla julkisesta lähteestä saatavissa. Kierrätettyjen raaka-aineiden osuuksille on tarkoitus myöhemmin asettaa minimivaatimukset.

2.2 Metallien kierrättämiseen liittyvä tutkimus ja tutkimusinfra Suomessa

Jatkuvasti kiristyviin kierrätystavoitteisiin pääseminen vaatii vahvaa tutkimus- ja kehittämistoimintaa.

Metallien kierrättämisessä ei ole kyse mistään yksittäisestä prosessista, vaan siihen liittyy monenlaisia tutkimus- ja kehittämistarpeita aina metalliromun keräämisestä, tunnistamisesta ja lajittelusta eri metallien kemialliseen erotteluun ja jatkoprosessointiin asti. Metallien kierrättämiseen liittyvää tutkimusta tehdään useissa yliopistoissa ja tutkimuslaitoksissa sekä metallialan yrityksissä. Yliopistoissa tutkimus on enemmän perustutkimuksen luonteista, kun taas yritykset tutkivat juuri heidän tuotantoonsa soveltuvia menetelmiä.

Aalto-yliopisto koordinoima BATCircle-hankekokonaisuus on hyvä esimerkki tutkimuskonsortioista, jossa mukana on useita yliopistoja, tutkimuslaitoksia ja yrityksiä tutkimassa akkujen ja akkumateriaalien kierrätykseen ja laajemminkin kiertotalouteen liittyviä asioita yhdessä. Ensimmäinen BATCircle-hanke toteutettiin vuosina 2019–2021. Sen jatkohanke [BATCircle 2.0](#) käynnistyi 2021 ja on käynnissä vuoteen 2024 saakka. Satakunnassa toimivista yrityksistä mukana ovat Boliden Harjavalta Oy, Nornickel Harjavalta Oy ja Fortum Waste Solutions Oy. Hankkeessa mm. kehitetään litiumioniakkujen kierrätysprosessia entistä tehokkaammaksi ja ympäristöystävällisemmäksi. Hankkeessa tutkitaan ja kehitetään myös muita akkumateriaalien valmistusprosessin vaiheita kiertotalouden näkökulmasta. Hanketta rahoittaa Business Finland ja sen budjetti on 19 milj. €.

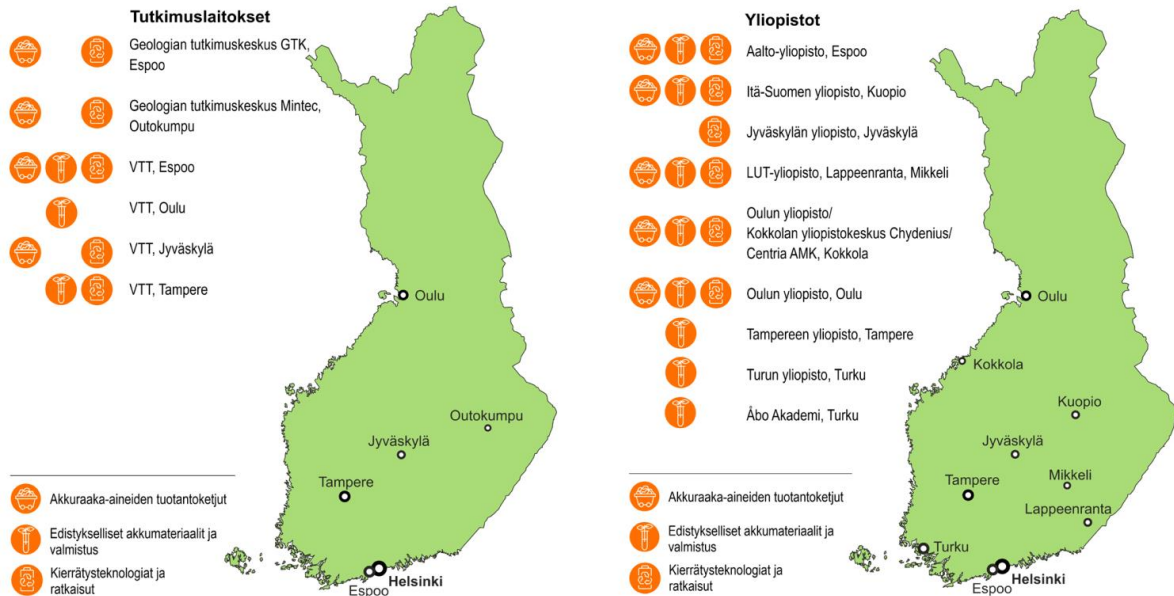
Suomen Akatemia on käynnistänyt [Kriittiset materiaalit kaupunkien kiertotaloudessa](#) -ohjelman jakamalla 7 milj. € rahoituksen ensimmäisille hankkeille vuonna 2022. Ohjelmassa tutkitaan kriittisten metallien esiintymistä kaupunkiympäristöissä, niiden kemiallista luonnetta sekä kehitetään kestävä kehityksen periaatteiden mukaisia ja taloudellisesti kannattavia prosesseja metallien rikastukseen, erotukseen, talteenottoon ja puhdistukseen. Ohjelmassa tarkastellaan sekä kierrätysprosesseja että metallien tai metallirikkaiden välituotteiden integrointia olemassa oleviin prosesseihin. Yksi tässä ohjelmassa käynnistetty hanke on VTT:n koordinoima "Tulevaisuuden sähköisen liikkuvuuden kriittisten materiaalien monitasoinen hallinta" eli [Govermat](#). Tässä hankkeessa yhtenä tarkastelualueena on Porin seutu ja sen teknologiametalliklusteri.

Tutkimus tarvitsee yleensä myös kokeita ja kokeiluja, mikä vaatii laboratorioita ja koelaitteistoja. Suomesta löytyy metallien kierrättämistutkimusta palvelevaa infrastruktuuria monista yliopistoista ja tutkimuslaitoksista. Alan tutkimusinfrastruktuuria myös kehitetään aktiivisesti.

Työ- ja elinkeinoministeriö kokosi tietoja Suomen akkuklusterin tutkimusinfrastruktuurista vuonna 2021. [Raportti](#) selvityksestä julkaistiin 2022. Yksi selvityksen osa-alue oli kierrätysteknologiat ja ratkaisut. Kuvaan 1 on kopioitu raportissa esitetyt kuvat yliopistoista ja tutkimuslaitoksista, joista löytyy akkumateriaaleihin liittyvää tutkimusinfrastruktuuria. Kierrätystutkimusta tukevaa infraa löytyy Aalto-yliopistosta, Itä-Suomen, Jyväskylän ja Oulun yliopistoista sekä Lappeenrannan teknillisestä yliopistosta ja Kokkolan yliopistokeskuksesta. Lisäksi GTK:lla ja VTT:llä on akkumateriaalien kierrätystutkimusta palvelevaa infraa.

Metallien kierrätykseen liittyvä tutkimusinfrastruktuuri on pitkälti samanlaista, on sitten kyse akkumateriaaleista tai muista vastaavista teknologiametallilähteistä. TEM:n raportti tuo hyvin esiin sen, että Suomessa on varsin laajasti metallien talteenoton ja jalostuksen kattava tutkimusinfrastruktuuri. Yliopistojen tutkimusinfraassa pääroolissa ovat erilaiset kemialliset erottelumenetelmät, joiden avulla useita erilaisia metalleja sisältävistä jättejakeista saadaan eroteltua ja jalostettua metallit erilleen ja uusiokäyttöön soveltuviksi.

Tutkimuslaitokset, kuten VTT ja GTK, ovat panostaneet isomman mittaluokan kokeilu ympäristöjen rakentamiseen. VTT:n Bioruukki on uusi, myös yritysten tutkimustoimintaa palveleva kokonaisuus, jossa erilaisia jatkuvatoimisia hydrometallurgisia kokeiluja voidaan tehdä asiakkaiden tarpeiden mukaisesti. GTK Mintec on puolestaan rakentanut Outokumpuun mineraaliprosessoinnin koetehtaan. Tässä Euroopan ainoassa mineraalisten raaka-aineiden koetehtaassa voidaan kokeilla mm. erilaisten kaivos- ja rikastustoiminnan sivuvirtojen jatkoprosessointia ja niihin jääneiden metallien talteenottoa.



Kuva 1. Yliopistot ja tutkimuslaitokset, joista löytyy akkumateriaalien valmistukseen ja kierrätykseen liittyvää tutkimusinfrastruktuuria.

Viime aikoina on noussut vahvasti esiin tarve yhteistyöhön julkisesti rahoitettujen tutkimusinfrastruktuurien hyödyntämisessä. Jokaiselle paikkakunnalle ei tarvitse rakentaa omaa laboratorioita, jos yhteistyö eri alueiden ja tutkimuslaitosten välillä toimii joustavasti. Uuden julkisrahoitteisen tutkimusinfrastruktuurin rakentaminen kannattaa kohdentaa tutkimuksen katvealueille.

3. Kierrätys Satakunnassa

Satakunnassa on vahvaa teknologiametalleja ja metallituotteita valmistavaa teollisuutta, joka hyödyntää jo jossain määrin kierrätysraaka-aineita. Teollisuudessa ollaan myös kiinnostuneita kehittämään prosesseja metallien kierrätystä edistävään suuntaan. Teollisuuspuistoihin on syntynyt ekosysteemejä, joissa raaka-aineita kierrätetään useamman yrityksen yhteistyönä.

Satakunnassa on myös merkittäviä jätteiden kierrättämiseen erikoistuneita yrityksiä, jotka käsittelevät teknologiametalleja sisältäviä jätejakeita. Perusmetallien erotteleminen romusta on vakiintunutta toimintaa, mutta useiden eri metallien seosten tai monimetallikomponenttien kierrättäminen vaatii yleensä tapauskohtaista kehittämistä.

Satakunnassa ei ole toistaiseksi (vuonna 2023) korkeakoulutasoista metallurgian tai kemian tutkimustoimintaa alueen oppilaitoksissa. Yritykset tutkivat ja kehittävät raaka-aineiden kierrättämiseen liittyviä asioita itsenäisesti tai yhteistyössä muilla alueilla sijaitsevien tutkimuslaitosten ja korkeakoulujen kanssa.

Kriittisten kierrätysmetallien koetehdaskonsepti-hankkeessa on tarkasteltu Satakuntalaista teknologiametalliklusteria ja sen mahdollisuuksia hyödyntää kierrätysraaka-aineita entistä enemmän

tulevaisuudessa. Hankkeessa selvitettiin ja pilotoitiin kierrättämiseen liittyviä asioita ja menetelmiä. Selvityksillä ja piloteilla tuotettiin tietoa, jota yritykset tarvitsevat suunnitellessaan kierrättämisen edistämiseen tähtäviä toimia ja investointeja.

3.1 Kierrättämistä edistävät selvitykset ja pilotit

Kriittisten kierrätysmetallien koetehdaskonsepti-hankkeessa toteutettiin useita selvityksiä ja pilotteja, joiden avulla tarkasteltiin erilaisia teknologiametallien kierrätykseen liittyviä kysymyksiä. Tässä kappaleessa käydään lyhyesti läpi kaikki nämä selvitykset ja niiden tärkeimmät havainnot. Linkeistä pääsee kuhunkin aiheesta kirjoitettuun raporttiin, jotka ovat julkisesti saatavilla hankkeen nettisivulla.

[Sähköautot ja Satakunnan teknologiametalliklusteri](#)-selvityksessä tarkasteltiin yhteiskunnan sähköistymisen seurauksena syntyvää sähköautojen ja niissä käytettävien metallien tarpeen kasvua. Satakunnan teollisuusklusterissa tuotetaan metallituotteita ja -kemikaaleja sähköautojen tuotantoon. Kysynnän kasvu näissä tuotesegmenteissä tulee todennäköisesti olemaan merkittävää. Yhteiskunnan asettamat tavoitteet liikenteen sähköistämiseksi luovat haasteen metallien riittävyydelle. Metallien kierrättämisen tehostaminen ei yksin ratkaise raaka-aineiden saatavuusongelmia, mutta on välttämätön osa ratkaisua. Autojen akkuihin tarvitaan merkittäviä määriä nikkeliä, kobolttia ja litiumia, sähköjohteisiin kuparia ja moottoreihin harvinaisia maametalleja sisältäviä NdFeB-pohjaisia magneetteja. Nikkeliä, kobolttia, kuparia ja NdFeB-magneetteja valmistetaan Satakunnassa. Niitä myös kierrätetään jonkin verran ja teollisuudessa ollaan kiinnostuneita kierrättämisen edistämisestä ja kehittämisestä.

Yksi potentiaalinen kierrätysmetallien lähde on sähkö- ja elektroniikkaromu (SER). Hankkeessa selvitettiin [sähkö- ja elektroniikkaromun kierrätystä Suomessa ja Satakunnassa](#). SER sisältää kuparia sähköjohteissa, kuparia ja jalometalleja piirikorteissa ja harvinaisia maametalleja sisältäviä NdFeB-magneetteja mm. tietokoneiden kovalevyissä ja suoravetoisten pyykinpesukoneiden moottoreissa. Satakunnan teknologiametalliklusterissa voitaisiin hyödyntää näitä jakeita, ja osittain niitä jo hyödynnetäänkin. Satakunnassa on myös yrityksiä, jotka käsittelevät tätä SER-jätettä. Osa paikallisesti hyödynnettävissä olevasta SER-jätteestä päättyy kuitenkin vientiin ulkomaille. Kaikilta osin SERin sisältämiä teknologiametalleja ei saada kierrätettyä, sillä sopivia erottelumenetelmiä ei ole. Esimerkiksi NdFeB-magneetit kulkeutuvat rautaromun mukana terästeollisuuteen ja magneettien sisältämät harvinaiset maametallit päättyvät epäpuhtauksina rauta/teräsrakenteisiin.

Pienakut ja patterit sisältävät myös kierrätettävissä olevia teknologiametalleja. Niiden sisältämät metallit saadaan kuitenkin kierrätettyä tehokkaasti vain, jos tunnistetaan jokaisen akun/pariston kemiallinen koostumus, jolloin ne voidaan ohjata juuri kyseiselle akkutyypille tarkoitettuun kierrätysprosessiin. Vääränlainen akku tai patteri väärässä paikassa voi pilata koko kierrätysprosessin. Hanke tuotti [selvityksen](#) pienakkutyypeistä ja niiden kierrätyksestä sekä mahdollisista menetelmistä akkukemioiden tunnistamiseen. Potentiaaliseksi tunnistamismenetelmäksi havaittiin laserspektroskopia ja tämän menetelmän hyödyntämistä lähdettiin jatkokehittämään SAMKiin perustetussa RoboAI Green-osaamiskeskityksessä. Tässä metallien kiertotalouteen keskittyvässä osaamiskeskityksessä laserspektroskopia-tunnistusta on tarkoitus yhdistää tekoälyyn ja robotiikkaan.

Aiemmassa hankkeessa (Circwaste) demonstroititiin suurien NdFeB-magneettien kierrättäminen materiaalin pulverointiprosessin kautta uusiomagneeteiksi. Työtä jatkettiin selvittämällä vanhoista purettavista tuulivoimaloista saatavissa olevia magneetteja tällaiseen kierrätysprosessiin. [Tuuligeneraattorin purkupilotissa](#) demonstroititiin NdFeB-kestomagneettien irrottaminen 1 MW tuuligeneraattorista. Generaattori pitää purkaa varovasti, jotta magneetit saadaan kokonaisuena ulos. Magneetit pitää lämpökäsittellä magneettisuuden poistamiseksi ja käsittelyn helpottamiseksi. Vanhimmissa, nyt suurina määrinä purkuun tulevissa tuulivoimaloissa on vielä varsin vähän magneetteja. Suurimmassa osassa vanhoja generaattoreita ei välttämättä ole lainkaan magneetteja ja pienimmissä

kestomagneettigeneraattoreissakin magneetteja on vain joitakin satoja kiloja. Uudemmissa 2010-luvulla rakennetuissa generaattoreissa magneetteja on selvästi enemmän. Näitä tulee kierrätykseen vielä vähän, pääasiassa vikaantumisten seurauksena, mutta prosessit voimaloiden purkamiselle ja magneettien irrottamiselle tulee olla kunnossa, kun kierrätys tulevana vuosina lisääntyy.

Metallituotteiden ja -komponenttien valmistuksessa syntyy jätėjakeita, jotka sisältävät raaka-aineina käytettyjä metalleja. Näiden kierrättämisessä takaisin metallien valmistusprosesseihin on vielä paljon tehostamisen mahdollisuuksia. Esimerkkinä tällaisesta jätėjakeesta hankkeessa tarkasteltiin kuparituotteiden valmistuksessa syntyviä peittaus- ja pesuhappoja, joihin on liuennut huomattavia määriä kuparia. [Kuparipitoisen jätėjapon käsittelykokeilussa](#) demonstroitiiin kuparin talteenotto jätėjaposta ja kierrättäminen kuparintuotantoprosessin alkupäähän. Tässä käsittelyprosessissa happo neutraloituu, joten se ei ole enää kierrätettävissä uusiokäyttöön. Sakan lisäksi syntyy vain vettä, joka on uudelleenkäytettävissä vetenä.

Kierrätysmetalleja voidaan saada myös metallinjalostuksen sivutuotteena syntyvästä kuonasta, johon jää nykyisissä prosesseissa hyödyntämättömiä metalleja. Esimerkiksi Poriin suunnitella oleva Critical Metals Ltd:n vanadiinin tuotantolaitos tulee jalostamaan vanadiinioksidia terästeollisuuden kuonasta. Vanadiinin talteenoton jälkeen jäljelle jää edelleen suurin osa kuonasta. Kyseisessä prosessissa kuonan määrä jopa kasvaa, sillä siihen sitoutuu hiilidioksidia. Jotta terästeollisuuden kuonan jatkojalostus olisi kannattavaa niin taloudellisesti kuin ekologisesti, pitäisi kuonalle löytää hyötykäyttökohte läjityksen sijaan. [Vanadiinilaitoksen sakan hyötykäyttömahdollisuuksien selvityksessä](#) tarkasteltiin useita erilaisia vaihtoehtoja, kuten kuonan käyttöä betonin, asfaltin tai maanrakennuksen raaka-aineena. Kaikkiin käyttökohtevaihtoehtoihin liittyy haasteita ja mahdollisuuksia. Sääntely on monesti se suurin haaste, sillä erilaiset hyväksymismenettelyt vievät vuosia, pahimmassa tapauksessa jopa kymmeniä. Myös suuret volyymit sekä kuonan sisältämä kosteus aiheuttavat haasteita erityisesti kuljetuskustannusten osalta.

Sen lisäksi, että teknologiametallit pitää saada mahdollisimman tehokkaasti kiertoon, pitäisi metallinjalostusprosessit saada kestäviksi niin, että prosesseissa ei syntyisi jätteitä, vaan kaikki prosessin sivuvirrat saadaan hyödynnettyä uusina tuotteina. Yksi tyypillinen metallinjalostuksen ja kaivosten jätevirta on sulfaatti- ja metallipitoinen jätevesi. Hankkeessa tuotettiin [selvitys](#), jossa tarkasteltiin mahdollisuutta muuttaa kaivos- ja metalliteollisuuden prosesseja kestävämmäksi saostuskemikaalia vaihtamalla. Korvaamalla lipeä esimerkiksi magnesiumhydroksidilla olisi tuloksena syntyvä magnesiumsulfaatti hyödynnettävissä raaka-aineena lannoiteteollisuudessa. Samalla vedestä voidaan selektiivisesti erottaa eri metalleja. Akkumateriaaliteollisuudessa saostuskemikaalin vaihtaminen ei prosessiteknisistä syistä onnistu, mutta esimerkiksi happamien kaivosvesien käsittelyyn magnesiumkemikaalit olisivat erityisen sopivia.

3.2 Toimijakenttä

Satakunnassa toimii monia yrityksiä, jotka käyttävät ja kierrättävät teknologiametalleja tai suunnittelevat ja valmistavat tuotanto- ja kierrätyslaitteistoja näihin tarkoituksiin. Alla on listattuna merkittävimmät alan toimijat.

Yritykset

MetsoOutotec Oy myy ja kehittää metallinjalostusprosesseja, myös kierrättämisprosesseja. MetsoOutotecin tutkimusyksikkö koetehtaineen sijaitsee Porin Kupariteollisuuspuistossa.

Boliden Harjavalta Oy jalostaa kuparia ja nikkelikiveä sekä jalometalleja hyödyntäen myös kierrätyksestä tulevia raaka-aineita. Bolidenin sulatot sijaitsevat Harjavallan Suurteollisuuspuistossa ja kuparielektrolyysi Porin Kupariteollisuuspuistossa.

Nornickel Harjavalta Oy jalostaa nikkeliä sekä nikkeli- ja kobolttikemikaaleja akkuteollisuuteen, hyödyntää lisäksi Fortumin prosessoimaa kierrätysraaka-ainetta. Nornickelin tuotantolaitos sijaitsee Harjavallassa.

Fortum Battery Recycling Oy jalostaa sähköautojen akkujen mustasta massasta metalleja uusiokäyttöön. Fortumin uusi akkumateriaalien kierrätyslaitos valmistui 2022 Harjavallan Suurteollisuuspuiston viereen.

Aurubis Finland Oy ja **Luvata Pori Oy** valmistavat kuparituotteita hyödyntäen myös kierrätyskuparia. Molemmat yhtiöt toimivat Porin Kupariteollisuuspuistossa.

Neorem Magnets Oy valmistaa NdFeB-pohjaisia kestmagneetteja ja voi hyödyntää isoja käytöstä poistettuja magneetteja uusien magneettien raaka-aineena. Neorem Magnetsin tuotantolaitos sijaitsee Ulvilassa.

Stena Recycling Oy kerää, lajittelee ja murskaa metalleja sisältävää jätettä. Stenalla on suuri metallin murskausasema Porin Tahkoluodossa.

Eurajoen Romu Oy kerää, lajittelee ja murskaa metalleja sisältävää jätettä. Eurajoen Romun metalliromun käsittelyasema sijaitsee Eurajoella.

BMH Tehnology Oy valmistaa jätteiden käsittelylinjastoja. BMH:n tuotantolaitos sijaitsee Raumalla.

Australialaisyhtiö **Critical Metals Ltd** suunnittelee vanadiinin kierrätyslaitosta Porin Tahkoluotoon. Laitos tulee hyödyntämään vanadiinutuotannossaan terästeollisuuden kuonaa.

Berner Chemicals Oy valmistaa magnesiumkemikaaleja ja etsii erilaisia mahdollisuuksia magnesiumin kierrättämiseen. Berner Chemicals toimii Kokemäellä.

Tutkimus- ja oppilaitokset:

Satakunnassa toimii ammattikorkeakoulu ja Porin yliopistokeskus, joissa molemmissa on myös tutkimustoimintaa.

Satakunnan ammattikorkeakoulu on aktivoitunut materiaalitekniikan koulutuksen ja tutkimuksen lisäämisessä. Sille on 2023 myönnetty oikeus aloittaa uusi prosessi- ja materiaalitekniikan insinöörien koulutusohjelma. Koulutuksen on tarkoitus käynnistyä syksyllä 2024. Aiemmin SAMKin energia- ja ympäristötekniikan opintokokonaisuuteen on rakennettu opintopolku, josta pääsee etenemään Aalto-yliopiston Sustainable Metals Processing-maisteriohjelmaan. Ensimmäiset opintopolkua hyödyntäneet opiskelijat aloittivat Aalto-yliopiston maisteriopinnot syksyllä 2022. SAMKiin on vuonna 2021 perustettu metallien kierrättämiseen erikoistunut osaamiskeskus RoboAI Green, jossa yhdistyvät kierrätysmetallien tunnistaminen ja analysointi sekä robotiikka ja tekoäly. Osaamiskeskus toimii tiiviissä yhteistyössä alueen teollisuuden kanssa kehittäen laserspektroskopiaan perustuvaa alkuaineiden tunnistamisteknologiaa ja sen automatisointia.

Porin yliopistokeskuksessa toimii Tampereen ja Turun yliopistojen yksiköt. Tekniikan alan koulutus ja tutkimus keskittyy data-analytiikkaan ja optimointiin, tietojohdantamiseen ja ohjelmistotekniikkaan. Kaupallinen koulutus keskittyy asiantuntijaorganisaatioiden liiketoimintaosaamisen ja teollisuuden uudistumis- ja kilpailukyvyyn tutkimukseen yrittäjyyden ja kansainvälisyyden näkökulmat huomioiden. Materiaaleihin ja niiden kierrätykseen liittyvää tutkimusta tai koulutusta ei yliopistokeskuksessa ole, mutta emoyliopistojen tarjonta on helposti hyödynnettävissä.

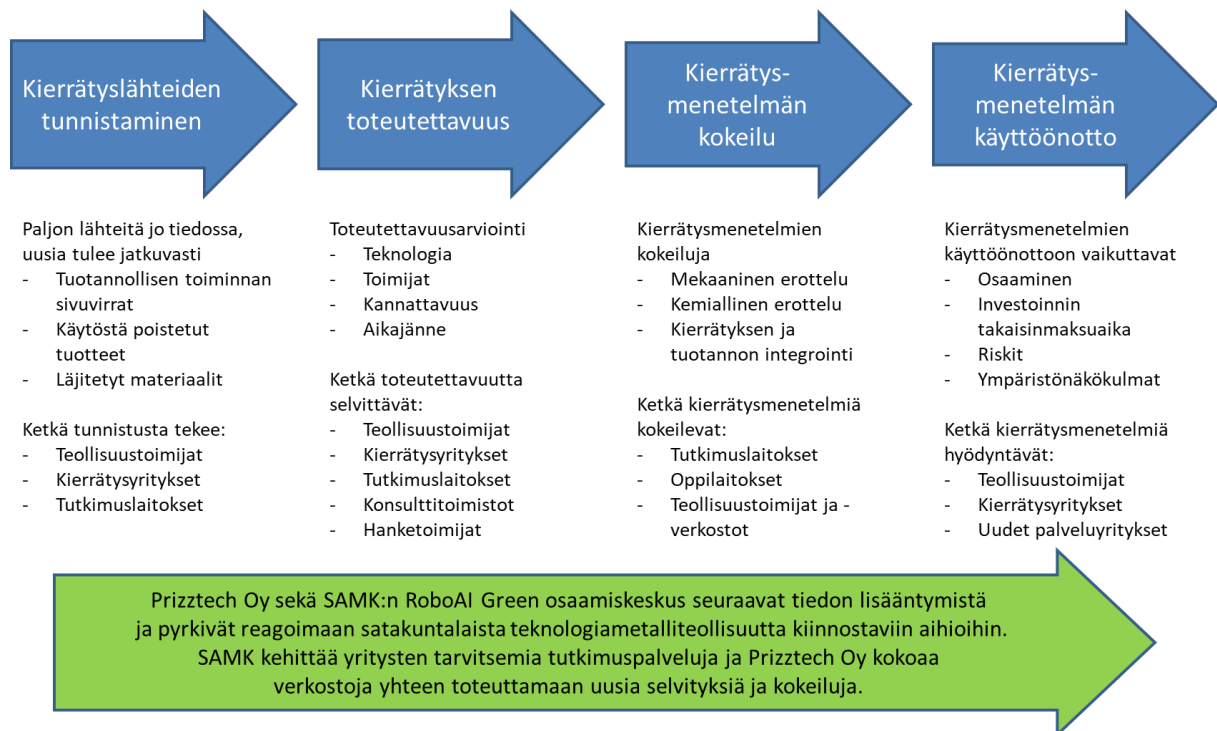
4. Toimintamalli kierrätyksen edistämiseksi

Satakunnan teknologiametalliklusterin toimintaedellytysten turvaamisen kannalta on tärkeää, että metallien kierrätys kehittyy ja sitä kehitetään aktiivisesti. Satakuntalaisella teollisuudella on hyvät mahdollisuudet kulkea eturintamassa hyödyntämässä uusia kierrätysmenetelmiä ja -raaka-aineita. Tämä vaatii alan tutkimuksen ja kehityksen aktiivista seuraamista ja ripeää reagoimista tiedon lisääntyessä. Tähän tarvitaan verkostoja, joissa on osajia laajasti kierrätyksen eri osa-alueilta.

Kierrätysprosessin kehittäminen lähtee potentiaalisten kierrätyslähteiden tunnistamisesta. Teknologinen kehitys tuo uudentyyppisiä tuotteita kierrätettäväksi. Lisäksi monet aiemmin hyödyntämiskelvottomina jätteinä nähdyt materiaaliavirrat muuttuvat kiinnostaviksi kierrätysraaka-ainelähteiksi kysynnän kasvaessa ja teknologian kehittyessä.

Uusille potentiaalisille kierrätysmetallien lähteille täytyy tehdä kierrätyksen toteutettavuuden arviointi. Siinä tulisi kartoittaa ainakin hyödyntämisteknologiat ja niihin liittyvä toimijakenttä sekä taloudellinen kannattavuus ja kierrätyksen elinkaari. Potentiaalista teknistä ratkaisua täytyy lisäksi kokeilla, jotta varmistetaan siitä, että prosessi toimii myös käytännössä ja on skaalattavissa teolliseen mittakaavaan. Ennen uuteen kierrätysprosessiin investoimista yrityksen täytyy vielä selvittää mahdolliset ympäristövaikutukset ja riskit. Yrityksen on myös huolehdittava, että sillä on riittävä osaaminen kierrätysprosessin tai -raaka-aineen käyttöön.

Kuvassa 2 on hahmoteltu yllä kuvattujen toimenpiteiden ketju, joka muodostaa toimintamallin.



Kuva 2. Teknologiametallien kierrättämiseen liittyvän tiedon tuottamisen vaiheet.

Potentiaalisten kierrätyslähteiden tunnistamista tekevät eri tahot riippuen siitä, millaisesta lähteestä on kyse. Yritykset tuntevat sivuvirtansa parhaiten itse ja etsivät niille kierrätysmahdollisuuksia ja hyötykäyttäjiä. Yritysten apuna tässä voi toimia esimerkiksi [Teolliset symbioosit -verkosto](#), joka voi auttaa yrityksiä löytämään yhteistyökumppaneita ja hyödyntäjiä sivuvirroilleen. Tutkimuslaitoksilta yritykset voivat saada apua sivuvirtojen prosessoinnin kehittämiseen. Käytöstä poistettujen tuotteiden osalta potentiaalisten kierrätyslähteiden tunnistaminen tapahtuu kierrätysyrityksissä tai tuottajayhteisöissä. Kierrätysyrityksiä ohjaa ennen kaikkea kierrättämisen taloudellinen kannattavuus, ei välttämättä vaikeasti tunnistettavien ja kierrätettävien teknologiametallien talteen saaminen. Läjitettyjen materiaalien osalta GTK:lla on paras tuntemus mm. kaivos- ja metalliteollisuuden rikastushiekoista ja muista vastaavista materiaaleista.

Kierrätyksen toteutettavuuden teknisiä edellytyksiä arvioivat yritysten lisäksi myös tutkimus- ja oppilaitokset. Toteutettavuutta selvitetään usein myös erilaisissa hankkeissa. Kierrätyksen kannattavuus ja aikajänne ovat yleensä yritysten omia selvityksiä, joissa apuna voidaan käyttää alan konsultteja ja mahdollisesti myös tutkimuslaitoksia. Kierrätyksen onnistumisen edellyttämiä yhteistyökumppaneita voivat kartoittaa myös erilaiset hanketoimijat, kuten kunnalliset elinkeino-yhtiöt.

Kun päästään kokeiluvaiheeseen, tarvitaan usein monien eri toimijoiden yhteistyötä. Kokeilut voivat sisältää mekaanisia ja/tai kemiallisia prosessivaiheita riippuen kierrätysmetallin lähteestä ja sen ominaisuuksista. Tutkimus- ja oppilaitoksista löytyy monenlaisia mahdollisuuksia kokeiluihin. Eri osapuolten välistä yhteistyötä voivat koordinoida tutkimus- ja oppilaitosten lisäksi myös kunnalliset elinkeino-yhtiöt, kuten Prizztech Oy. Kierrättämisen mahdollista integrointia olemassa olevaan tuotantoon täytyy kokeilla niissä yrityksissä, jotka harkitsevat kierrätystä.

Lupaavien kokeilutulosten jälkeen voidaan siirtyä kierrätysmenetelmän käyttöönotto-vaiheeseen. Uusien kierrätysmenetelmien käyttöönotto vaatii aina investointeja ja investoinnit rahoitusta. Rahoituksen saaminen puolestaan edellyttää hyvinkin tarkkoja tietoa tarvittavista teknisistä ratkaisuista, niiden ympäristövaikutuksista ja taloudellisesta kannattavuudesta. Tämän tiedon tuottamiseen yritykset voivat saada apua alan konsulteilta, oppilaitoksilta tai hanketoimijoilta.

Teknologiametallien kierrättämisen edistäminen on siis monivaiheinen prosessi ja pitää sisällään monia tiedon tuottamisen ja yhteistyön vaiheita. Prosessia harvemmin hallitsee mikään yritys yksinään, vaan erilaisten toimijoiden välinen yhteistyö on avainasemassa. Porin kaupunki on tehnyt vuonna 2021 Työ- ja elinkeinoministeriön kanssa ekosysteemisopimuksen, jossa yhdeksi alueen kehitettäväksi painopisteeksi on nostettu teknologiametallit ja kiertotalous. Kaupunki on siis sitoutunut edistämään ja rahoittamaan omarahoitusosuudella teknologiametallien kiertotalouden ekosysteemien ja yhteistyöverkoston rakentamista. Juuri tällaista koordinoitua ja eri toimijoiden välistä yhteistyötä edistävää toimintaa teknologiametallien kierrätyksen kehittäminen tarvitsee.

5. Johtopäätökset ja jatkotoimenpiteet

Hankkeessa toteutetut selvitykset ja pilotit ovat tuottaneet arvokasta tietoa niin teknologia-metalliklusterille kuin muillekin toimijoille. Piloteissa tehty kehittämistyö jatkuu yritysvetoisesti. Tuulivoimaloita purkavat yritykset löytävät julkisen raporttimme netistä ja osaavat sen ohjaamana suunnitella purkuprosessinsa niin, että myös magneetit saadaan irti ja myytyä kierrätysraaka-aineeksi Neorem Magnets Oy:lle. Jätehappojen käsittely kuparin talteen ottamiseksi etenee EPSE Oy:n kehitystoiminnalla, jossa tavoitteena on tuotteistaa käsittelyprosessi sellaiseksi, että se voidaan myydä palveluna teollisuudelle.

SER-selvitys ei ole johtanut varsinaisiin jatkotoimenpiteisiin. Kansainvälisillä konserneilla on omat linjauksensa siitä, mihin kierrätysmetallien jalostaminen pääasiassa keskitetään. Bolidenillä SER-romun käsittely on pitkälti keskitetty Rönnskärin sulattoon Ruotsissa.

Pienakkujen kierrätys selvitys paljasti merkittävän pullonkaulan kierrätysprosessissa, nimittäin akkujen lajittelun heti kierrätysketjun alussa. Selvityksen yhteydessä tehty kokeilu toi esiin myös potentiaalisen ratkaisun, jota jatkokehitetään SAMKin uudessa RoboAI Green-osaamiskeskuksessa. Osaamiskeskus on jo muutamassa vuodessa kasvanut merkittävästi ja saanut kansallisesti merkittävän aseman ja yhteistyöverkoston niin yliopistojen kuin yritystenkin suuntaan. Osaamiskeskus tulee olemaan merkittävässä roolissa tulevaisuudessa, kun teknologiametallien kiertotaloutta Satakunnassa edistetään. Osaamiskeskus on onnistunut löytämään sellaisen tutkimusalueen, jolla ei vielä Suomessa ole ollut toimintaa, mutta jolle on ollut selkeä tarve. RoboAI Green on pystynyt yhdistämään useita tutkimuksen osa-alueita yhteen eli metallien kierrättämisen, tunnistusteknologian ja tekoälyn. Tällä yhdistelmällä voidaan kehittää aivan uudenlaisia ratkaisuja teollisuuden tarpeisiin.

Vanadiinilaitoksen sakan hyötykäyttöselvityksen, kuten myös sulfaatteihin liittyvän selvityksen, tuloksia tullaan käyttämään myös jatkossa, kun kyseisten sivuvirtojen hyödyntämistä pyritään edistämään. Tämän tyyppistä toimintaa Prizztech Oy:n tulisi jatkossakin koordinoida teollisten symbioosien (FISS) edistämiseen tarkoitetuissa hankkeissa.

Prizztech Oy on yhtenä toteuttajana Porin ekosysteemisopimushankkeissa. Näissä hankkeissa tulisi seurata oheisen toimintamallin mukaisesti teknologiametallien kierrätyslähteiden tunnistamisen saralla tapahtuvia aktiviteetteja ja tiedon lisääntymistä. Myös eri tahoilla tehtäviä toteutettavuusarvioita ja teknologiaselvityksiä tulisi seurata ja mahdollisuuksien mukaan myös osallistua niihin. Satakunnan teknologiametalliklusteria tukeviin kiinnostaviin kierrätysmahdollisuuksiin tulee reagoida ja käydä paikallisen teollisuuden kanssa keskustelua aiheiden merkityksestä. Kierrätyskokeilujen toteuttamista tulee edistää kokoamalla toimijoita yhteen, koordinoimalla kokeilujen suunnittelua, etsimällä kokeiluille rahoitusta ja toteutuskumppaneita.

Satakunnan teknologiametalliklusterille on tärkeää, että se kykenee ennakoimaan kiristyvien kierrätysvaatimusten vaikutukset ja pysyy kierrätykseen liittyvän kehityksen kärjessä varmistaakseen toimintansa kilpailukykyisyyden myös pitkälle tulevaisuuteen.