

## STN - konsortiohankkeen yhteiskunnallinen ja taloudellinen vaikuttavuus

## Kestävän kierron suunnittelu

<p><b>Hankkeen nimi ja lyhenne:</b>  <b>Korkean jalostusarvon materiaalit suljetussa raaka-ainekierrossa (CloseLoop)</b></p>
<p><b>Konsortiojohtaja:</b>  Prof. Maarit Karppinen</p>
<p><b>Mihin ohjelmakysymyksiin (A, B, C, D) vastataan?</b></p> <p>A) <i>Miten voidaan tehostaa resurssien käyttöä ja tukea siirtymistä kiertotalouteen, joka tuo osaamisperustaista kasvua Suomeen ja vientiä?</i>  Resurssien käyttöä ja siirtymistä kiertotalouteen voidaan tehostaa kehittämällä alustatalouden ohjaus- ja suunnitteluratkaisuja sekä tukijärjestelmiä. Tämä tarkoittaa tehokasta ideoiden, tiedon, datan ja algoritmien yhdistämistä, analysointia ja suurta laskentatehoa suunnitteluratkaisujen ja materiaalin kierron optimoinnissa.</p> <p>B) <i>Mitkä ovat ilmastoneutraalin ja resurssiniukan yhteiskunnan edellytykset?</i>  Ilmastoneutraalin ja resurssiniukan yhteiskunnan yksi edellytys on tehokkaampi tiedonjako ja tiedonjalostus eri toimijoiden (yritysten, hallinnon, yhteisöjen) välillä. Projektissa kehitettävä Modelling Factory -yhteistyöalusta pyrkii tarjoamaan työkaluja kiertotalouden suunnittelun toteuttamiseen, suurten tietomäärien analysointiin ja kommunikointiin.</p> <p>C) <i>Millä tavalla julkiset toimenpiteet parhaiten tukevat kokonaisvaltaista muutosprosessia siten, että muutos etenee hallitusti kohti ilmastoneutraalia ja resurssiniukkaa yhteiskuntaa?</i>  1. Avoin, laaja-alainen vaikutusarviointi ja sitä nopeuttavat digitaaliset työkalut on otettava käyttöön kaikissa monimutkaisissa ja monialaisissa lainsäädäntö- ja ohjaushankkeissa kuten kiertotalouteen ja ilmastonmuutoksen hillitsemiseen liittyvissä hankkeissa. Tähän liittyy oleellisesti ulkoisten kustannusten arvioinnin tuominen standardoiduksi osaksi taloudellisen toiminnan arviointi- ja lupaprosesseja.  2. Keskittyminen Suomen näkökulmasta aluksi potentiaalisille aloille, esimerkiksi palveluliiketoimintaan (esim. julkiset palvelut), prosessiteollisuuteen, raskaaseen konepajateollisuuteen, tietoliikenteeseen ja energian tuotantotapoihin.</p> <p>D) <i>Millä keinoilla huolehditaan siitä, että yrityksillä, työntekijöillä, julkisella sektorilla ja kuluttajilla on käytössään ne inhimilliset voimavarat ja osaaminen, jotka parhaiten edistävät ilmastonmuutokseen sopeutumista ja siirtymistä kohti ilmastoneutraalia ja resurssiniukkaa yhteiskuntaa?</i>  Osallistamalla kaikki toimijat jo muutosprosessin alkuvaiheessa, s.o. suunnitteluvaiheessa, jolloin toimijat itse rakentavat itselleen toimivat ratkaisumallit. Kiertotalouteen kuuluu oleellisesti kansalaiskeskustelu eri aihepiireistä murroksessa, kuten miten vastuunkanto jakautuu tai millainen merkitys eettisyydellä ja kestäväällä kehityksellä on jokapäiväisessä elämässä.</p>
<p><b>1. Vaikuttavuustavoite</b></p> <p><b>Tavoitteemme: Tuotteiden ja materiaalien kierto yhteiskunnassa tehostuu ja jätteiden määrä vähenee kiertotalouden suunnittelu- ja vaikutusarviointimenetelmien paranemisen ja niiden kasvavan käytön edesauttamana.</b>  Kiertotalouteen siirtyminen on systeemitason muutos. Kiertotalouden toteutuminen edellyttää muutoksia tuotteiden suunnittelussa ja tuotannossa, liiketoimintamalleissa, kulutuskäyttäytymisessä ja ennen</p>

kaikkea ajattelumalleissa ja arvoissa. Muutos on todennäköisesti niin suuri, että sen kokonaisvaikutuksia on vaikea hahmottaa ilman erityisiä työkaluja ja uudenlaisia tapoja jakaa tietoa. Työkaluja kehitettäessä tavoitteena on, että eri käyttäjäryhmät (mm. teolliset tuotesuunnittelijat, viranomaiset) voivat hyödyntää samaa tietoteknistä alustaa suunnittelu- ja ohjaustyössään, ja toisaalta käyttäjät voivat arvioida valintojensa vaikutuksia.

Materiaali- ja tuotesuunnittelu kiertotalouden periaatteiden mukaisesti eroaa monin tavoin nykykäytännöstä lineaaritaloudessa. Muun muassa seuraavat kaipaavat muutoksia:

- **Kestävän suunnittelun / ekosuunnittelun integrointi kaikkiin tuotesuunnitteluprosessin vaiheisiin. Tuotteiden purkaminen materiaalin uudelleenkäyttöä ja/tai tuotteen uudelleenvalmistusta varten sekä materiaalien eroteltavuus pitää sisällyttää saumattomasti suunnitteluprosessiin.**

Pelkkä elinkaariarvio ei luo uusia kestäviä ratkaisuja. Materiaalikierto käsittää tuotteiden, komponenttien, materiaalien, kemikaalien ja seosten kierron. Tuotteiden pilkkominen eritasoisesti kiertäväksi materiaksi elinkaaren loppupäässä on tärkeä muuttuja kiertotalousprosessien suunnittelussa. Materiaalien äärimmäinen kierrätys alkuaineisiin asti on epätaloudellisin ja energiaintensiivisin tapa kierrättää, koska tuotetta tehdessä joudutaan aloittamaan materiaalin valmistus alusta. Äärimmäinen kierrätys voi myös osoittautua termodynaamiikan ja energiatehokkuuden kannalta mahdottomaksi. Kierrätyssektori tulee muuttumaan kiertotaloudessa; kierron sulkeminen siirtyy kemikaalitaloudelle, seostasolalle, materiaalitilatasolalle, komponenttitilatasolalle ja tuote suuremmassa määrin ns. pienempiin kiertoihin. Materiaalin hallinnoinnissa ja omistuksessa arvioidaan tapahtuvan radikaaleja muutoksia.

Integroidut mallipohjaiset suunnittelu ympäristöt mahdollistavat monenlaisten optimiratkaisujen hakemisen suunnitteluprosessin eri vaiheissa. Esimerkiksi purkamistapojen kustannustehokkuuksia voidaan vertailla eri teknologioiden välillä, ja materiaaliyhdistelmien hyvyyslukuja uudelleenvalmistuksessa ja kierrätyksessä voidaan määrittää laskennallisesti.

**Materiaaliominaisuudet käyttötavaroiden suunnittelussa ja tuotannossa** on aihepiiri, joka liittyy olennaisesti sekä kuluttajien tottumuksiin että suunnittelu- ja valmistusprosesseihin. Tuotteen loppukäyttäjä voi esimerkiksi haluta tuotteen olevan mahdollisimman pitkäikäinen. Toiveen toteuttaminen vaatii tietyn tyyppisten materiaalien valintaa ja valmistajan liiketoimintamallin sopeuttamista pitkäikäisyyden toiveeseen: seurataanko esimerkiksi nopeita muodin vaihteluita ja haetaan voittoa suurista valmistusmääristä vai yritetäänkö rakentaa pitkäikäisempää [1] huolto- ja ylläpitoliiketoimintaa kestävämmän ja kappalemääräisesti pienempilevivikisemmän tuotteen ympärille.

Integroidut suunnittelu ympäristöt mahdollistavat vastausten hakemisen liiketoimintamallien ja toimintaympäristöjen vertailuun data- ja mallipohjaisesti. Kuluttajien ottaminen mukaan tuote- ja käyttötapasuunnitteluun entistä tiiviimmin voisi helpottaa yritysten siirtymistä uudenlaisiin, paremmin kiertotaloutta tukeviin toimintamalleihin [2]. Myös luotettava ja ajantasainen kuluttajadata ja sitoutumisasteen indikaattorit helpottaisivat liiketoiminnan kehittymistä.

- Mahdollisimman **jätteen tuotanto** vaatii radikaaleja muutoksia nykykäytäntöön. Tällä hetkellä valmistusprosessit tuottavat isoja jätemääriä alkaen kaivoksista aina lopulliseen kokoonpanoon. Jätteiden, sivuvirtojen ja sivutuotteiden mahdollisuuksia ei aina tunnisteta, olletikin koska läjittäminen on aiemmin ollut hyväksyttävää. Esimerkiksi kuonia ja tuhkia käytetään maanrakennusaineena alhaisella kilohinnalla, kun niistä voisi tehdä korkeamman arvon tuotteita, joita ei enää hinnoitella massan perusteella. Jätteiden ja sivuvirtojen koostumuksen analysointi ja tuominen osaksi elinkaariarviointia on tärkeää paremman kokonaiskuvan saamiseksi ja vaikutusarvioinnin tason parantamiseksi. Valmistusprosesseista kerättyä dataa voidaan suoraan hyödyntää monenlaisten jatko- ja loppukäyttösuositusten tekemiseen, ja kerättyä prosessidataa voidaan yhdistää taloudelliseen analyysiin erityyppisten käyttötarkoitusten kannattavuuksien ja kuormittavuuksien laskennallisessa arvioinnissa.

Integroidut suunnittelualustat toimivat olennaisena apuna, kun halutaan varhaisen vaiheen arvioita tuotteiden/materiaalien elinkaaren loppupään käyttötarkoitussuosituksiksi. Myös prosessien käytönaikainen säätäminen tulee jatkossa tehostumaan, mahdollistaen jo laitosoperaattoritason henkilökunnan ratkaisujen hyödyntämisen reaaliaikaisessa tuotannonohjauksessa hukkamateriaalikuorman pienentämiseksi. Digitaalisia suunnitteluympäristöjä voidaan hyödyntää myös näissä tarkoituksissa ohjausympäristöinä, mikäli ne tukevat teollisia tiedonsiirtostandardeja.

## 2. Keinot

**Kestävän suunnittelun integrointi koko tuotesuunnitteluprosessiin** on haaste, jota voidaan osin toteuttaa työkaluilla ja innovatiivisilla menetelmillä. CloseLoop-hankkeessa rakennetaan ko. työkaluja. Muutos vaatii myös asennemuutosta koko yhteiskunnassa, jota voidaan tukea muun muassa politiikan ja lainsäädännön keinoin.

**Alustat:** Eräs ratkaisuksi esittämämme työkalu, joilla kiertotalouden mallien tarkastelut voidaan tehdä, on VTT:n poikkitieteellinen Modelling Factory -mallinnusympäristö. Työkaluja peilataan kentällä olevaan tarjontaan ja työkalujen puutteet/parannusmahdollisuudet kartoitetaan. Tällä hetkellä tavoite on, että kehittämämme työkalu yhdistää ekodesignin, materiaalitietokannat, elinkaarianalyysit ja liiketoimintamallit sosiaalisten ja poliittisten vaikutusten analyysin kanssa. Energia-analyysihin perustuvia elinkaarianalyysijä voidaan tarkentaa erilaisin mittarein, esim. TU Bergakademie Freibergin kehittämällä eksergia-analyysillä, jotka ottavat huomioon materiaalien yhdistämisestä ja uudelleen erottamisesta aiheutuvat entropiamuutokset [3]. Toisaalta LCA-työkalut pitää päivittää ottamaan huomioon jäte- ja sivuvirrat taselaskennassa sekä arvottamaan hukka negatiivisesti. Nykyinen logiikka on enemmän energian käyttöön painottuva sekä ilmakehän päästöt huomioiva. Tämä parannus on välttämätön, jotta päästään aidosti sulkemaan 'vaikutusarviointisilmukka', ja pystytään antamaan realistisia ohjaussuosituksia.

**Uudet menetelmät ja kokeilut:** Suunnittelualustan hyödyntämät analyysimallit tarvitsevat syötteekseen reaali maailman mittausdataa. Kaikista ilmiöistä ei voida rakentaa helposti prosessitason huomioon ottavaa malliketta, joten käytännön kokeet ja menetelmäkehitys ovat myös tärkeässä roolissa materiaali teknisten korkean arvon ratkaisujen tuottamisessa. Tavoitteena on demonstroida nopeilla laboratoriotesteillä prosessointijätteen ja sivuvirtojen käyttömahdollisuuksia. Materiaali teknistä [4] osaamista tarvitaan myös projektissa tehtävään kriittisten materiaalien korvaukseen tavoittelevaan tutkimukseen, sekä materiaali yhdistelmien purkamiseen elinkaaren loppupäässä.

**Oleellista on sisällyttää tuotteen suunnitteluun myös tuotteen ja valmistusmateriaalien kierron suunnittelu.** Tällöin suunnittelun pitäisi tapahtua samalla tasolla, eli jos tuotteen materiaalit siirtyvät uuteen kiertoon seostasolla, suunnittelun pitäisi kattaa tämä taso. Usein tuote suunnitellaan esimerkiksi komponenttitasolla, jolloin ei pystytä ottamaan huomioon kiertoon liittyviä asioita. Modelling Factory –jalusta mahdollistaa puuttuvan osaamisen yhdistämisen ja eri tasoilla tapahtuvan suunnittelun linkityksen sekä datan että simulointimallien ja analyysien esittämisen eri käyttäjäryhmille näiden tarvitsemassa muodossa.

## 3. Vaikutukset

Tavoitteena on tuottaa ensimmäinen aidosti kiertotalouden suunnittelua ja vaikutusarviointia eri tasoilla tukeva, osallistava yhteistyöalusta. Alustaa voidaan hyödyntää sekä lainvalmistelussa (mallipohjainen taloudellisten, sosiaalisten ja ekologisten vaikutusten arviointi ja ratkaisuvaihtoehtojen vertailu), yrityksissä (tuotesuunnittelu, materiaalisuunnittelu, strateginen suunnittelu) sekä tutkimuksessa (poikkitieteelliset analyysit). Yhteistyöalustalla voidaan esimerkiksi jalostaa tietoa erilaisten liiketoimintamallien soveltuvuudesta uuteen toimintaympäristöön tai sen avulla voidaan hakea ratkaisuja erityyppisiin monioptimointiongelmien. Yhteistyöalustan sisältöä voidaan myös hyödyntää opetussisältöinä niin yrityksissä kuin kouluissakin.

#### 4. Tavoiteltu vaikuttavuus

Tavoitteenamme on edistää projektissa tuotettavan tiedon ja työkalujen avulla kokonaisvaltaista materiaaliavirtojen hallintaa kuten

- tuotteiden purkaminen, materiaalin uudelleen käyttö, tuotteen uudelleen valmistus
- tuotteiden raaka-aineiden alkuperän tunnistaminen
- kierrätettävien ja sekundääristen raaka-aineiden käyttö tuotteissa
- mahdollisimman jätteen tuotanto
- tuotteiden pitkäikäisyys

Tähän mennessä projektissa on luotu aiempaa tehokkaampaa elinkaarianalyysityökalua (LCA) ja integroitu se yhteistyöalustaan, missä sitä voidaan yhteiskäyttää esimerkiksi prosessisimulaatiomallien kanssa. Tämän tyyppisten liitosten kautta voidaan tuoda elinkaarianalyysi (esim. erilaiset jalanjälkilaskurit) lähemmäksi suunnittelijoita ja välittömämmin käytettäväksi osaksi prosessisuunnittelua. Kaivosteollisuudessa käytettyjen prosessisimulaattoreiden integrointi alustaan on myös aloitettu. Lähitulevaisuudessa testataan mm. elinkaarianalyysien syötetietojen (esim. prosessikohtainen resurssien kulutusdata) hankintaongelman ratkaisemista prosessimallien avulla. Modelling Factory – alustalle on myös toteutettu demo, jonka avulla erilaisten valmistusprosessien taloudellisia kannattavuuksia voidaan vertailla metallituotteiden valmistuksessa. Tätä voidaan hyödyntää esimerkiksi liiketoimintamallien kehittämisessä korvaamalla yksinkertaiset esimerkkimallit yksityiskohtaisemmilla alakohtaisilla laskentamalleilla [5]. Myös tulosten käytettävyyttä ja löydettävyyttä on pyritty edistämään rakentamalla kattavat verkkojulkaisutyökalut yhteistyöalustan käyttäjille.

#### 5. Tahattomat vaikutukset

Projektin tässä vaiheessa ei vielä pystytä sanomaan, kuinka laaja-alaisia vaikutuksia tuotoksilla tulee olemaan, mutta positiivisia merkkejä on jo saatu useita. Yritysten kanssa on käyty useita keskusteluja eri toimialoilla olevien liiketoimintaekosysteemien tietojen tuomisesta kokonaisvaltaiseen LCA-analyysiin ilman, että verkoston yksittäisten toimijoiden sensitiivinen data joutuu muiden toimijoiden käyttöön. Toisin sanoen yhteistyöalustalla pystytään jalostamaan laskennallisesti koko verkostoa koskevaa yhteenvetotietoa (kokonaiskuva) joka voidaan jakaa verkoston toimijoille näiden omalla kielellä. Vastaavaa toimintamallia voidaan soveltaa myös elinkaarianalyysin ulkopuolella, esimerkiksi alihankkijaketjujen toiminnan optimoinnissa. Tutkimuspuolella yhteistyöalustan ominaisuuksia ollaan kehittämässä yhteistyössä elinkaarianalyysitikkujen kanssa suuntaan, jossa analyysipalveluita voidaan tarjota entistä tehokkaammin.

#### 6. Taustalla oleva tutkimus

[1] Tuotteiden pitkäikäisyys uudeksi arvoksi: Kaupallisesti on usein kannattavaa, että tuotteen elinikä on mahdollisimman lyhyt. Uusina trendinä ovat nousseet mm. tuotteiden parempi päivitettävyyttä, korjattavuus, huollettavuus sekä mekaaninen ja kemiallinen kestävyys. Jos pyritään erittäin pitkään kestoikään tarvitaan hyvin aikaa kestäviä materiaaleja, yleisiä luonnon alkuaineita, tarpeeksi sitkeitä keraameja, korroosiota ja kulumista kestäviä metalleja, kestäviä pinnoitteita sekä muutoin lujutensa ja ominaisuutensa säilyttäviä materiaaleja.

[2] Esimerkkejä arvo- ja tottumusdatan hyödyntämisestä liiketoimintamallien muutoksessa:

- Hiilipohjaisen sijoitusliiketoiminnan disinvestment-malli : <https://www.theguardian.com/environment/2015/jun/05/norways-pension-fund-to-divest-8bn-from-coal-a-new-analysis-shows>
- Älyvakuutukset: <http://yle.fi/aihe/artikkeli/2016/02/04/alyvakuutukset-tulevat-kerro-sykkeesi-saat-alennusta-vakuutusmaksuista>
- Reilun kaupan periaatteet: <http://wfto.com/standard-and-guarantee-system/wfto-fair-trade-model>

[3] M. Reuter: "Digitalizing the Circular Economy", Metallurgical and Materials Transactions B 47 (2016) 3194: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11663-016-0735-5>

[4] Materiaalitiede – kierrätetyn ja sekundäärimateriaalien käyttö, korkean arvon ratkaisuja jätehaasteeseen:

- Novel synthesis methods for advanced porous ceramics from mine tailings - CERATAIL project- (2015- 2019) Academy of Finland. Projektissa kehitetään korkean arvon teknisiä keraameja kaivosten rikastushiekoista.
- Turning waste into value, EU REslag, projektissa pilotoidaan sekundäärimateriaalipohjaisia refraktorimateriaaleja: <http://www.reslag.eu/>
- MIN-PET: products from Petrit-T sidestream, <http://eitrawmaterials.eu/project/minpet-mineral-products-from-petrit-t-sidestream/>
- ERMAT: Efficient use of Residual MATerials, <https://eitrawmaterials.eu/project/ermat/>
- PoSe: Powder technology piloting service for Secondary raw materials, <http://eitrawmaterials.eu/project/pose-powder-technology-piloting-service-for-secondary-raw-materials/>
- The novel utilization of secondary raw materials in powder based products and components, Challenge Finland -projekti.

[5] Työkaluja suunnittelun, osaamisen, arvoketjun yhdistämiseen taustaprojekteja:

- Modelling Factory ja Virtual Upscaling EU-projektit, kiertotalouden suunnittelu- ja vaikutusarviontimallien kehitysalusta (<https://modellingfactory.org>)