

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 1(47)
--	---	--	---------------

Metallituotteiden suorakerrostuskorjauksen liiketoimintamallit ja kaupallistaminen kiertotalouden näkökulma huomioiden

*Erik Haapa, **Miikka Karhu, **Antti Nousiainen ja *Antti Salminen

*Turun yliopisto

**Turun ammattikorkeakoulu



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 2(47)
--	---	--	-----------------------

SISÄLLYSLUETTELO

1. Esipuhe	3
2. Johdanto	4
3. Nykytilanne ja toimintaympäristö	5
3.1 Teknologian kypsyystaso	5
3.2 Korjauksen nykytilanne	7
3.3 Sääntely- ja markkinaympäristön kehitys	8
4. Suorakerrostuskorjauksen arvoketju	12
4.1 Arvoketjun rakenne ja toimijat.....	12
4.2 Arvonmuodostus	16
4.3 Suorakerrostus verrattuna perinteisiin menetelmiin.....	18
5. Mahdolliset liiketoimintamallit	21
5.1 Liiketoimintamallien tunnistaminen.....	21
5.2 Malli A: Korjauksen alihankintaintegraatio.....	22
5.3 Malli B: Keskitetty korjauspalvelu.....	25
5.4 Malli C: Erikoistunut korjauspalvelu	27
5.5 Malli D: Päivityskorjaus.....	31
5.6 Malli E: Vanhentuneen osan uudelleenvalmistus	34
5.7 Malli F: Elinkaaridataa tarjoava korjauspalvelu	37
6. Kustannusrakenne	40
6.1 Tee-se-itse	40
6.2 Valmis paketti.....	42
7. Jatkoselvitysehdotuksia	44
Lähteet	46



Euroopan unionin
osarahoittama



Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivun 3(47)
---	--	--	----------------

1. Esipuhe

Lukijalle

Tämä tekninen raportti on osa julkisten tietopakettien sarjaa, joka on tuotettu Metallituotteiden uusi elämä -hankkeessa (hankekoodi A80607) hankkeen työpakettien tuloksien levittämiseen yrityksille ja muille sidosryhmille.

Metallituotteiden uusi elämä on Euroopan aluekehitysrahaston (EAKR) rahoituksen saanut hanke, joka on osa Uudistuva ja osaava Suomi 2021–2027 –ohjelmassa tehtävää kehittämistoimintaa. Hankkeen kesto oli 1.1.2024 – 30.6.2026. Hankkeen osarahoittajana on ollut Euroopan unioni ja rahoittavana viranomaisena Uudenmaan liitto. Hanke toteutettiin ryhmähankkeena yhteistyössä Turun ammattikorkeakoulun ja Turun yliopiston kanssa sekä yhteistyössä erityisesti Varsinais-Suomen valmistavan teollisuuden yritysten kanssa. Hankkeen kokonaistavoiteena oli saada suomalainen ja erityisesti Varsinais-Suomen alueen teollisuus käyttämään suorakerrostustekniikkaa osien korjaamiseen, kunnostukseen ja uudelleenvalmistamiseen ja sitä kautta yritykset ottamaan kiertotalouden näkökulma osaksi heidän liiketoimintamalliaan.

Terveisin,

Turun ammattikorkeakoulun ja Turun yliopiston hanketiimien työpakettien tekemiseen osallistuneet työryhmän henkilöt



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 4(47)
--	---	--	-----------------------

2. Johdanto

Tämä tietopakettiraportti keskittyy tarkastelemaan liiketoimintamalleja ja kaupallistamismahdollisuuksia, joita kiertotalous ja suorakerrostus- eli directed energy deposition (DED) -korjausteknologia mahdollistavat suomalaiselle valmistavalle teollisuudelle.

Raportissa esitellään sekä perinteisen että DED-korjauksen nykytilannetta ja sääntely-ympäristöä hankkeen haastattelujen ja kyselyiden, sekä kirjallisuuden pohjalta. Lisäksi tarkastellaan hankkeen haastatteluiden, elinkaarilaskennan, ja kirjallisuuden pohjalta DED-korjauksen arvonluontia ja verrataan sitä perinteiseen korjaukseen. Näiden tietojen avulla on tunnistettu liiketoimintamalleja, joilla yritykset voivat täydentää nykyistä palvelutarjontaansa DED-korjauksella tai rakentaa kokonaan uutta kiertotalouteen pohjautuvaa liiketoimintaa. Malleja arvioidaan realistisesti suhteessa suomalaisen pk-yrityksen resursseihin ja markkinaympäristöön. Lisäksi tarkastellaan, millaisia investointeja toiminnan käynnistäminen edellyttää ja millä ehdoilla nämä investoinnit ovat perusteltavissa.

Tavoitteena ei ole esittää DED-korjausta universaalina ratkaisuna, vaan tunnistaa ne tilanteet ja edellytykset, joissa kiertotalouteen pohjautuva korjausliiketoiminta on sekä teknisesti toteutettavissa että taloudellisesti kannattavaa.

Lopuksi raportissa esitellään liiketoimintamallien edistämiseksi tärkeitä jatkoselvityksiä ja markkinatutkimuksia, jotka vähentävät epävarmuutta ja investointeihin liittyviä riskejä.



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 5(47)
--	---	--	-----------------------

3. Nykytilanne ja toimintaympäristö

3.1 Teknologian kypsyystaso

Suorakerrostus, englanniksi directed energy deposition (DED) on lisäävän valmistuksen (teollinen 3D-tulostus) alakategoria, joka sisältää useita eri teknologioita. Yhteistä niille on, että kappale luodaan lisäämällä ainetta haluttuun paikkaan kerros kerrokselta, niin että lisäaine ja energia syötetään samanaikaisesti. Käytännössä puhutaan siis kappaleen muodostamisesta kerroksittain hitsaamalla. Pääasiassa eri suorakerrostustekniikat eritellään ISO/ASTM 52900:2021 standardin mukaisesti energialähteen ja lisäaineen perusteella; energialähde, yleisimmin laser tai valokaari, ilmoitetaan tekniikan nimessä lyhenteellä ”-LB” ja ”-Arc” vastaavasti. Lisäaine, käytännössä jauhe tai lanka, voidaan ilmoittaa teknologian nimessä muodolla ”/powder” tai ”/wire” vastaavasti.

Tyypillisimmät energialähde-lisäaine -yhdistelmät ovat laser-jauhe (DED-LB/powder), laser-lanka (DED-LB/wire) ja valokaari-lanka eli DED-Arc. ISO-standardin termien rinnalla on hyvin tyypillistä nähdä kauppanimiä, joita ovat laserpohjaisille tekniikoille esim. LMD, DMD tai LENS ja DED-Arc:ille WAAM.

DED:n toimintaperiaatetta on sovellettu korjauskäyttöön jo pitkään korjaushitsauksen tai pinnoitushitsauksen muodossa. Sitten on kehitetty laserpinnoitusmenetelmiä (laser cladding), jotka prosessina muistuttavat hyvin vahvasti suorakerrostusta, tosin pinnoitus viittaa yleensä 2- tai 2.5-ulotteiseen prosessiin, siinä missä suorakerrostus viittaa tekniikkaan joka kykenee monimutkaistenkin 3-ulotteisten geometrioiden luomiseen. Siirtymä tavanomaisesta hitsauksesta tai 2-ulotteisesta pinnoituksesta 3-ulotteisiin geometrioihin edellyttää merkittävästi parempaa prosessinhallintaa ja edistyneempää ohjelmistoa työkaluratojen luontiin, mutta pohjimmiltaan laitteisto on samaa.

DED-työratojen luominen perustuu ”viipalointiin”, eli 3-ulotteisen kappaleen jakamiseen kerroksiin. Jokaisella kerroksella on oma työkaluratansa ja hitsausparametrinsa. Lisäksi 2020-luvulla entistä yleisemmäksi DED-laitteiden ominaisuudeksi on tullut prosessin jatkuva seuranta erinäisillä antureilla, jotka voivat tarvittaessa ohjata prosessia ja ehkäistä virheitä tai esim. mittapoikkeamia.

DED-tekniikoille on hankalaa antaa selkeää teknologista valmiustasoa (technology readiness level, TRL) johtuen käytettävissä olevien ratkaisuiden ja laitteiden kyvykkyyseroista. Korjauskäytössä TRL:n riippuvuus ja etenkin tapauskohtaisuus korostuu. Yleisesti voidaan todeta, että DED-laitevalmistajalta hankittu nykyaikainen laite kykenee korkeaan ja toistettavaan laatuun vaativissa ja reguloiduissa ympäristöissä. Esimerkiksi



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

Suomessa on vuonna 2022 tuotettu LUT-yliopiston ja Andritz Savonlinna Worksin yhteistyönä 300-kiloinen paineastia DED-Arc tekniikalla 316L -ruostumattomasta teräksestä, joka ylitti EN 13445-3 painelaitestandardin vaatimukset moninkertaisesti (DIMECC oy, 2023)

Mikäli geometria on erityisen vaativa, esimerkiksi lämmönhallinnan kannalta, erot laitteiden laadussa ja prosessinseurantajärjestelmissä korostuvat. Lisäävässä valmistuksessa geometrian ja valmistuksen suunnittelu ja lämmönhallinta ovatkin avainroolissa; huolimaton suunnittelu altistaa osan valmistusvirheille riippumatta laitteen kyvyistä tai tekniikan TRL:stä. Varsinkin DED-Arc menetelmässä rakennettavaan tai korjattavaan osaan tuodaan merkittävästi lämpöä, joka saattaa johtaa vääntymiin tai jopa halkeamiin. Korjauskäytössä tärkeää on myös huomioida alla olevan materiaalin lämpökäsittely, joka voi tuhoutua mikäli osa lämpenee liikaa.

Suurin DED-tekniikoiden käyttöönottoa hidastava ja yrityksen näkökulmasta koettua epäkypsyyttä aiheuttava tekijä on standardoinnin puute. Tämä koskee erityisesti operaattoreita, testausta ja laadunvarmistusta. Ongelmaa pahentaa kokemuksen ja osaavan henkilökunnan puute, jolloin yritykseltä puuttuu sekä normatiivinen että kokempuspohjainen viitekehys prosessin laadun arvioinnille. Kokeneita suunnittelijoita ja operaattoreita on hyvin vaikea löytää, eikä sertifioituja operaattoreita käytännössä ole. (Barras & Hauser, 2025) Toisaalta lisäävälle valmistukselle on perustettu mm. ISO-työryhmä (ISO/TC 261), ja viimeisen 5-10 vuoden aikana onkin julkaistu useita kymmeniä lisäävään valmistukseen ja suorakerrostukseen liittyviä standardeja niin terminologialle, operaattorin osaamiselle kuin prosesseillekin. Muutama DED-tekniikoihin liittyvä standardi on listattu Taulukossa 1.

Taulukko 1. Esimerkkejä DED-tekniikoiden käyttöönoton kannalta kiinnostavista standardeista.

Standardin tunnus	Standardin nimi tai kuvaus
ASTM F3187-16	Guide for DED of metals
ISO/ASTM 52943	Process characteristics, performance
ISO/ASTM 52910	Design requirements, guidelines
ISO/ASTM DIS 52922	Design for DED (draft)
ASTM F3413-19e1	Design for DED
ISO/ASTM 52901:2017	Requirements for purchased AM parts
ISO/ASTM 52926	Qualification of operators
ISO/ASTM TR 52905:2023	Defect detection in parts



 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 7(47)
--	---	--	-----------------------

3.2 Korjauksen nykytilanne

Hankkeessa toteutettiin kyselyitä ja haastatteluita olemassa olevien teollisten korjauskohteiden ja -tekniikoidenselvittämiseksi. Näissä haastatteluissa ja kyselyissä esille nousee erityisesti raskaat teollisuudenalat kuten nosturit, koneenrakennus, muottien valmistus, kaivosteollisuus, raideliikenne, ja merenkulku. Tyypillisiä esiin nousseita kappaleita taas ovat akselit, holkit, laakerit, muottien osat, muovaustyökalut, kuljetinruuvit, ja kantopyörät.

Osia yhdistää muutama tekijä; kaikki osat kohtaavat merkittävää kulumaa ja/tai kuormitusta käytössä, jolloin korjaustarpeen ilmeneminen ei ole yllättävää. Toisaalta nämä vaatimukset johtavat siihen, että osat ovat melko massiivisia metallikappaleita, joita on helppo korjata esim. hitsaamalla. Massiivisuus tarkoittaa myös, että osia ei voi kustannustehokkaasti valmistaa erityisen hyvin kulutusta kestävästä, kalliimmista seoksista.

Geometrisesti tyypilliset kappaleet ovat yksinkertaisia ja pyörähdysymmetrisiä, johtuen niiden käytöstä ja toisaalta siitä että metalliosan valmistaminen pyörähdysymmetrisenä on usein kustannustehokkaampaa. Tämä helpottaa jälleen osien korjausta hitsaamalla ja/tai koneistamalla, kun osaa voidaan pyörittää ja työkalu voidaan pitää paikallaan. Mikäli osa ei ole pyörähdysymmetrinen, korjaus pitää suorittaa käsin tai luomalla robotille monimutkaiset työkaluradat, mikä lisää työtunteja ja valmistelun tarvetta merkittävästi. Paljon käännöksiä, nurkkia, ja pysähdyksiä sisältävä hitsaus on myös vaikeampi toteuttaa virheettömästi. Kaiken kaikkiaan teollisuudessa tällä hetkellä tyypillisesti korjattavat osat ovat siis lähtökohtaisesti myös geometrian puolesta helppoja korjata.

Muodon lisäksi korjaamiselle potentiaaliselle kappaleelle on selvästi ominaista myös korjaamisen arvo, toisin sanoen korjaamatta jättämisen vaihtoehtokustannus. Esimerkiksi muotit ovat kalliita ja usein ainutkertaisia osia, jotka on tärkeä saada takaisin tuotantoon nopeasti. Muotti on tässä mielessä ”ideaalitapaus”, mutta sama pätee pitkälti moniin muihinkin hankkeessa esiin nousseihin tuotantotyökaluihin. Varaosia ei aina ole nopeasti saatavissa, jolloin korjaus on nopein vaihtoehto saada kone takaisin tuotantoon. Tällöin itse korjauksen kustannus tai kustannustehokkuus ei ole eniten merkitsevä tekijä.

Esille nousseet kappaleet edustavat siis selvästi muodoltaan ja käytöltään teollisuudessa tyypillisiä, kuluvia kappaleita, mutta toisaalta myös mahdollisesti kertovat jotain siitä, millaisia kappaleita pyritään korjaamaan ja mitä ei. Mahdollisesti olemassa on myös taloudellisesti houkuttelevia korjauskohteita, joita ei edes harkita korjattavaksi monimutkaisen geometrian tai lämpöherkkyyden vuoksi.

Muita hankkeen selvityksissä tunnistettuja ongelmia ovat epävarmuus osan kestävydestä, osaavien palveluntarjoajien puute, ja toisinaan materiaalitekniset haasteet. Viimeisin liittyy usein alkuperäisen materiaalin tunnistamisen hankaluuteen, tai esimerkiksi



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 8(47)
--	---	--	-----------------------

lääketeollisuuden kaltaisissa reguloiduissa ympäristöissä rajoitettuun valikoimaan hyväksytyjä seoksia. Toisaalta kyselyyn vastanneet raportoivat korjattujen osien olevan laadultaan yleensä uutta vastaavia, ja materiaalin tunnistukseen on saatavilla esimerkiksi XRF-alkuaineanalyysijä.

Korjaus/pinnoitushitsaus, terminen ruiskutus, ja koneistus ovat tyypillisesti teollisuudessa käytössä olevia menetelmiä. Yksinkertaisia kappaleita kuten akseleita voidaan helposti valmistaa tavallisista tankoaihioista koneistamalla. Monilla yrityksillä on omasta takaa kyvykkyys ja laitteisto näiden korjausten tekemiseen. Toisaalta mielenkiintoa monimutkaisempien korjausten tilaamiseen palveluna on, mutta ongelmaksi on koettu sopivan palveluntarjoajan puute tai aikatauluhaasteet. Mikäli uusi osa on suoraan tilattavissa, saatetaan korjaaminen kokea hitaammaksi tai hankalammaksi vaihtoehdoksi. Inertia ja epävarmuus on usein suurinta niillä jotka eivät ole korjauspalveluita tilanneet, sillä kustannuksista tai aikataulusta ei ole kokemuspohjaista intuitiota.

Perinteisiä korjauspalveluita pääasiallisesti tai sivutoimisena tarjoavia on runsaasti, ja kyselyyn vastanneista yrityksistä suuri osa kertoikin harjoittavansa korjausta sivuliiketoimintana. Varsinaista suorakerrostusta tarjoavia yrityksiä on rajallisemmin; DED-LB/powder pinnoituskorjausta tarjoaa kokkolalainen LCC Kokkola, DED-Arc - suorakerrostusta porvoolainen Tridiam. DED-LB/wire tekniikkaa kaupallisesti harjoittavia yrityksiä ei Suomessa kirjoitushetkellä ole. Tosin DED-laitteistojen jälleenmyyjien (esim. Fenno3D, Apricon, Vossi) kautta voi olla mahdollista hankkia DED-palveluja suoraan laitevalmistajalta. Kaikkia mainittuja DED-tekniikoita löytyy Suomesta erilaisessa muodossa ja konfiguraatiossa lähes kaikilta teknisen tiedekunnan omaavilta korkeakouluilta.

3.3 Sääntely- ja markkinaympäristön kehitys

DED-korjauksen liiketoimintapotentiaalia ei voi arvioida irrallaan sääntely- ja markkinaympäristön kehityksestä. Kiertotalouden regulaatio on viime vuosina edennyt nopeasti erityisesti EU-tasolla, ja useat käynnissä olevat lainsäädäntöprosessit muuttavat lähivuosina korjaavan valmistuksen toimintaympäristöä tavalla, joka pk-yritysten on syytä ennakoida. Samalla asiakasyritysten omat vastuullisuusvaatimukset ja raportointivelvoitteet luovat kysyntää, jota sääntely itsessään ei vielä edellytä.

Huomioitavaa on että teollisten komponenttien korjaus ei toistaiseksi ole sääntelyn ensisijaisessa fokuksessa sillä valtaosa korjaamiseen liittyvästä regulaatiosta keskittyy kuluttajatuotteisiin. Teollisten komponenttien osalta sääntelyn vaikutus on toistaiseksi välillinen, mutta suunta on selkeä.

EU:n kiertotalouden toimintasuunnitelma (Circular Economy Action Plan, CEAP) muodostaa lainsäädännöllisen kehikon, jonka puitteissa korjaaminen, uudelleenvalmistus ja tuotteiden käyttöiän pidentäminen saavat kasvavan painoarvon. Toimintasuunnitelman keskeinen



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 9(47)
--	---	--	-----------------------

toimeenpanoväline on kestävien tuotteiden ekologista suunnittelua koskeva asetukset (Ecodesign for Sustainable Products Regulation, ESPR). Tuoteryhmäkohtaiset asetukset ovat toistaiseksi kohdistuneet pääasiassa kuluttajatuotteisiin (tekstiilit, elektroniikka, rakennustuotteet), mutta ESPR kattaa periaatteessa myös teollisuustuotteet, ja sen laajentumista on ennakoitava. (Directorate-general for Environment, 2026) ESPR mahdollistaa tuoteryhmäkohtaisten vaatimusten asettamisen muun muassa:

- Korjattavuudelle
- Käyttöiälle ja kestävyydelle
- Varaosien ja korjaustiedon saatavuudelle
- Kierrätetyn materiaalin osuudelle

Lisäksi ESPR:n puitteissa voidaan vaatia digitaalista tuotepassia (digital product passport, DDP) johon kirjataan tuotetiedot koko elinkaaren ajalta. DDP on erityisen merkityksellinen DED-korjauksen näkökulmasta, sillä sen puitteissa teollisuuskomponenttien materiaalitiedot, valmistushistoria ja huoltohistoria olisivat saatavilla digitaalisessa muodossa. Tällöin esimerkiksi perusmateriaali, alkuperäinen valmistustapa, ja mahdolliset lämpökäsittelyt ovat tiedossa ja korjaamiseen liittyvä epävarmuus vähenee merkittävästi.

EU:n korjausoikeusdirektiivi (Right to Repair Directive) velvoittaa valmistajia tarjoamaan korjauspalveluja ja varaosia kohtuulliseen hintaan takuuaian jälkeen (Euroopan komissio, 2023). Direktiivi koskee toistaiseksi ensisijaisesti kuluttajatuotteita, mutta sillä saattaa olla välillinen vaikutus teolliseen korjaukseen. Korjaaminen vakiintuu lainsäädännöllisesti tunnustetuksi ja ensisijaiseksi vaihtoehdoksi suhteessa korvaamiseen, mikä saattaa heijastua myös teollisten toimijoiden asenteisiin ja hankintakäytäntöihin. Lisäksi varaosien saatavuusvelvoitteet voivat laajentua tulevaisuudessa teollisuuskoneisiin, mikä parantaa korjauksen edellytyksiä mutta voi myös kilpailla DED-korjauksen tai varaosien ”reverse engineering” -valmistuksen kanssa.

Kestävyysraportointidirektiivi (Corporate Sustainability Reporting Directive, CSRD) velvoittaa suuret ja listatut yritykset raportoimaan ympäristövaikutuksistaan European Sustainability Reporting Standard (ESRS):n mukaisesti. Pk-yrityksiä tämä ei suoraan koske mutta heidänkin tulee huomioida, että raportointivelvolliset suuryritykset tarvitsevat tietoa toimitusketjunsä ympäristövaikutuksista, mikä näkyy vaatimuksina alihankkijoille ja palveluntarjoajille. Tämä saattaa lisätä kysyntää LCA-laskennalle, minkä avulla yritys pystyy raportointikelpoisesti kvantifioimaan tarjoamansa korjauspalvelun ympäristöhyödyt (esimerkiksi energiansäästö, ilmastovaikutukset, materiaalisäästö suhteessa uuteen osaan). ESRS sisältää eri kategorioita, joista korjauspalvelulle voivat soveltua ESRS E1 ja E5 eli ilmastomuutos ja resurssien käyttö/kiertotalous vastaavasti. E1 vaatii CO₂-ekvivalenttia päästötietoa, mutta ei vaadi ISO-standardoitua LCA-prosessia. Hankkeessa kehitetty laskuri voidaan siis muuntaa tähän käyttöön kun esim. lisäaineiden ja suojakaasujen hankintaketju, ja täten suurpiirteinen alueellinen päästökerroin sekä



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 10(47)
--	---	--	------------------------

kuljetustavat, tunnetaan. E5 ei edellytä varsinaista LCA:ta, ja esimerkiksi laskurin tuottama tieto tuotetusta/vältetystä jätteestä ja säästetystä materiaalista on relevanttia. (European Financial Reporting Advisory Group, 2023)

Product Environmental Footprint (PEF) on EU:n kehittämä LCA-menetelmä, joka vertautuu ISO 14044:ään (Euroopan Unionin Green Forum, 2024). PEF saatetaan jatkossa vaatia esimerkiksi tietyissä julkisissa hankinnoissa, mikäli EU:n Green Claims Directive tulee voimaan. Tämä direktiivi edellyttää LCA-laskentaa yritysten esittämien ympäristöväitteiden tueksi estääkseen viherpesua, ja PEF on suositeltu menetelmä. (Directorate-general for Environment, 2023)

Kiertotalous ja todistettavasti ympäristöystävälliset ratkaisut kiinnostavat myös julkisella puolella. Julkisten hankintojen ympäristökriteerit ovat kehittymässä suuntaan, jossa tuotteiden ja palvelujen elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset saavat kasvavan painoarvon hankintapäätöksissä. EU:n Green Public Procurement (GPP) -kriteeristö ja sen kansalliset sovellukset eivät toistaiseksi suoraan edellytä korjaamista uuden hankinnan vaihtoehtona teollisuuskomponenteissa, mutta tarjousvertailutilanteessa korjausvaihtoehdon todistettu ja ehkä intuitiivisestikin matalampi ympäristövaikutus voi olla tärkeä kilpailuvaltti julkisissa hankinnoissa. (Euroopan Unionin Green Forum, 2026)

Ympäristöön, päästöihin, ja suorituskykyihin liittyvä sääntely ja strategiset julkiset investoinnit luovat myös tarvetta uudelle valmistustekniikalle, joka voi näkyä DED-palveluntarjoajan asiakkuuksissa. Esimerkiksi autoteollisuuden päästöregulaatio (Vehicle Emissions and Battery Durability (Euro 7), 2024) on aiheuttanut merkittävää kysyntää jarrulevyjen kovapinnoitukselle, eli käytännössä DED-LB/powder -tekniikalle jarrulevyjen valmistajien keskuudessa. Toisaalta esimerkiksi EU:n REACH-asetus luo painetta perinteisten pinnoitusaineiden kuten kromi VI:n korvaamiseen muilla pinnoitusmateriaaleilla (Euroopan kemikaalivirasto, 2014).

Tietyt markkinaehtoiset trendit puoltavat myös DED-tekniikoiden käyttöönottoa. Toimitusketjujen herkkyys on myös ollut jatkuvasti esillä vuodesta 2020 lähtien pandemian, geopolitiittisen epävarmuuden ja raaka-aineiden kustannusvaihteluiden vuoksi. Suorakerrostuksen mahdollistama paikallinen valmistus- ja korjaustoiminta sopii erinomaisesti tähän megatrendiin.

Suomessa toimivat ydinvoimayhtiöt ovat päättäneet pidentää olemassaolevien ydinvoimaloiden käyttöikää (Fortum, 2024). Tämä edellyttää jopa yli 40 vuotta vanhojen laitteiden kunnossapidon ja varaosien saannin turvaamista vuosikymmeniksi. Haasteita ovat tiukat sääntely- ja sertifiointiprosessit.



**Euroopan unionin
osarahioittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivun 11(47)
---	--	--	-----------------

Kappaleessa esitelty sääntely- ja markkinakehityskulut ovat tiivistetty Taulukossa 2.

Taulukko 2. Tunnistettuja sääntelyn ja markkinatrendien vaikutukset DED-korjaukseen.

Sääntely/markkinakehitys	Suora vaikutus DED-korjaukseen	Aikajänne	Vaikutuksen luonne
ESPR	Väliellinen, toistaiseksi kuluttajatuotteissa	Keskipitkä-pitkä	Mahdollistava
Right to Repair	Väliellinen, normin muutos	Keskipitkä	Mahdollistava
CSRD	Väliellinen, asiakkaiden raportointitarve	Lyhyt-keskipitkä	Kysyntää luova
Vihreät julkiset hankinnat	Väliellinen, elinkaarikriteerit	Keskipitkä	Kysyntää luova
Euro7 ja REACH	Suora, vaihtoehtoisten ratkaisujen tarve	Lyhyt	Kysyntää luova
Toimitusketjuriskit ja ydinvoiman käyttöön pidentäminen	Suora, vaihtoehtoisten ratkaisujen tarve	Keskipitkä	Kysyntää luova

Toistaiseksi sääntely ei velvoita suoraan yrityksiä lisäämään korjauspalveluiden käyttöä uuden osan hankinnan vaihtoehtona. Sääntelyn vaikutus on epäsuora ja pitkällä aikavälillä kumulatiivinen; se luo puitteita, joissa korjaaminen muuttuu asteittain normiksi ja joissa korjauksen dokumentoiduille ympäristöhyödyille syntyy konkreettista käyttöä asiakkaan raportointivelvoitteiden ja hankintatoimen kautta. Lisäksi sääntely edistää ja pakottaa uusien tuotantoratkaisujen käyttöönottoa jotta esimerkiksi päästöihin liittyviin suorituskykyvaatimuksiin päästään.



**Euroopan unionin
osarahoittama**

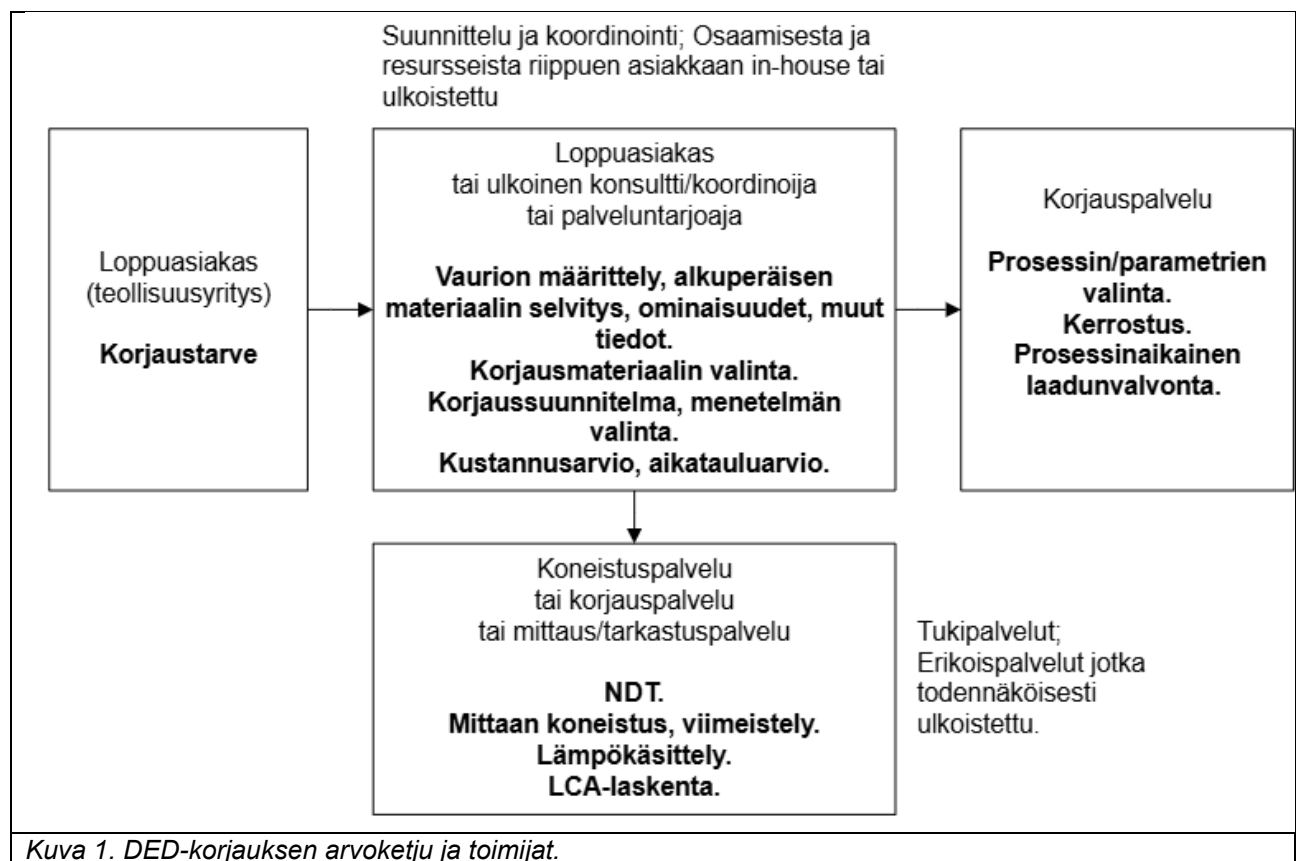


**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

4. Suorakerrostuskorjauksen arvoketju

4.1 Arvoketjun rakenne ja toimijat

Tässä osiossa kuvataan DED-korjauksen arvoketjun rakenne ja tunnistetaan sen keskeiset toimijaroolit. Arvoketjut ja toimijoiden todennäköiset roolit ovat määritetty hankkeen haastatteluissa, kyselyssä, ja työpajan keskusteluissa esiin nousseiden asiakkaiden ja palveluntarjoajien suosimien toimintatapojen, yleisesti sisäisten vs ulkoistettujen kyvykkyyksien, ja tunnistettujen puutteiden pohjalta. Näin määritetty DED-korjauksen arvoketju voidaan jäsentää Kuvassa 1 esitetyllä tavalla.



Kuvassa 1 esitetään yksinkertaistettuna DED-korjauksen työvaiheet ja mille toimijoille arvoketjussa ne saattavat tilanteesta ja asiakkaasta riippuen kuulua. Asiakkaan resursseista tai toiveista riippuen monet vaiheet voidaan hoitaa itse "in-house" tai ulkoistaa. Tietyille osaluille ulkoistaminen on luonnollista ja kannattavaa niiden erikoistumisesta johtuen; itse korjauksen lisäksi Kuvassa 1 on eritelty ns. tukipalvelut kuten koneistus, NDT-testaus, ja

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 13(47)
--	---	--	------------------------

lämpökäsittely. Nämä vaiheet vaativat usein kalliita erikoislaitteita tai -osaamista, joiden hankkiminen on kustannustehokasta vain alaansa erikoistuvalla yritykselle. On toki mahdollista että asiakas on itse valmistavasta teollisuudesta jolloin koneistuskapasiteetti löytyy omasta takaa. Kirjoitushetkellä alalla on tavanomaista, että DED-korjausta tarjoavilla yrityksillä ei ole koneistuskapasiteettia omasta takaa, vaan yritys keskittyy omaan ydintoimintaansa ja ostaa jälkikäsittelyn palveluna muualta.

Arvoketju ei ole aina lineaarinen. Esimerkiksi NDT-tarkastuksen tulokset voivat edellyttää paluuta kerrostusvaiheeseen, tai arvioinnissa voidaan todeta, ettei DED-korjaus ole kyseisessä tapauksessa soveltuvin menetelmä, jolloin asiakas ohjataan perinteiseen korjaukseen tai uuden osan hankintaan.

Alla kuvataan arvoketjun keskeiset toimijaroolit, niiden ydintehtävät ja vaadittavat kyvykkyudet.

Loppuasiakas

Loppuasiakas on teollisuusyritys, jonka tuotannossa käytettävä komponentti on vikaantunut tai kulunut. Hankkeen haastattelujen ja yrityskyselyn perusteella mahdolliset loppuasiakkaat edustavat laajaa toimialakirjoa: telakka- ja meriteollisuus, raideliikenne, prosessiteollisuus, ruiskuvaluvalmistus ja yleinen koneenrakennus.

Loppuasiakkaan rooli arvoketjussa on ensisijaisesti tarpeen tunnistaminen ja korjauspäätöksen tekeminen. Päätöksentekoa ohjaa alustava kustannusvertailu korjauksen ja uuden osan välillä, johon vaikuttavat osan hankintahinta, toimitusaika, seisokkikustannus ja osan kriittisyys tuotantoprosessissa. Hankkeen yrityskysely osoittaa, että loppuasiakkaat suosivat kokonaispalvelua, jossa korjauspalveluntarjoaja hoitaa koko ketjun noudosta palautukseen, eli usein asiakas ei halua itse koordinoita arvoketjun eri vaiheita.

Loppuasiakkaan erityinen haaste on usein puutteellinen tieto korjattavasta komponentista. Alkuperäisiä piirustuksia tai materiaalisertifikaatteja ei välttämättä ole saatavilla, ja joissakin tapauksissa edes perusmateriaalia ei tunneta. Validoiduissa tuotantoprosesseissa, kuten lääketeollisuudessa, materiaalitiedon puuttuminen voi estää korjauksen kokonaan.

Suunnittelu ja koordinointi

Korjauspalvelun koordinoija tai konsultti on arvoketjun toimija, joka hallitsee asiakasrajapintaa ja vastaa korjausprosessin kokonaisuudesta. Tällä hetkellä roolissa toimii tyypillisesti korjaus- ja kunnossapitoyritys tai DED-palveluntarjoaja ja/tai loppuasiakas, riippuen asiakkaan ja palveluntarjoajan kyvyistä. Vaihtoehtoisesti roolissa voisi myös toimi ulkoinen konsultti, joka hoitaa kaiken korjauksen suunnittelusta ja valmistelusta



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 14(47)
--	---	--	------------------------

palveluntarjoajien sekä tukipalveluiden kilpailutukseen ja dokumentointiin. Tällöin asiakas saa kokonaisvaltaisen palvelun, ja DED-palveluntarjoaja voi keskittyä omaan ydinosaamiseensa.

Koordinoijan tehtäviin, oli tämä sitten palveluntarjoaja, asiakas, tai ulkoinen konsultti, kuuluu vaurion arviointi ja korjauksen suunnittelu. Tämä sisältää vaurion dokumentoinnin, materiaalin tunnistamisen (tarvittaessa tilataan palveluna), korjausmenetelmän valinta ja kustannusarvion laatiminen. Tämä vaihe edellyttää sekä materiaalitekniistä osaamista että kokemusta eri korjausmenetelmien soveltuvuudesta.

Korjauspalvelu

DED-korjauksen toteuttaja on erikoistunut toimija. Tämä rooli edellyttää merkittävää erikoisosaamista ja laiteinvestointia, minkä vuoksi se on lähtökohtaisesti aina ostettu palvelu. Hankkeen aineiston perusteella tämä rooli vastaa parhaiten olemassa olevien suomalaisten korjaus- ja kunnossapitoyritysten nykyistä osaamista. Haastatteluissa kuvattu korjausverstaas toteuttaa jo nyt valtaosan näistä tehtävistä perinteisten korjausmenetelmien yhteydessä. DED-korjauksen lisääminen palveluvalikoimaan (alihankintana tai omana kapasiteettina) ei edellytä ydinliiketoiminnan muuttamista, vaan sen laajentamista.

Korjauspalvelu hoitaa kerrostusstrategian ja prosessiparametrien valinnan, työkaluratojen luonnin ja itse kerrostuksen. Lisäksi voidaan tehdä alustavaa laadunvalvontaa mahdollisen prosessinaikaisen valvonnan tuottaman datan avulla, sekä silmämääräisesti kokemuspohjalta.

Hankkeen haastatteluissa nousi esiin useita tähän rooliin liittyviä reunaehtoja, jotka vaikuttavat koko arvoketjun toimintaan. Toimeksiantojen minimikoko on käytännössä noin 1 000 euroa, mikä rajaa pois pienimmät korjauskohteet. Läpimenoaika riippuu tapauksen monimutkaisuudesta, mutta ensi yhteydenotosta voi odottaa kuluvan ainakin viikko valmiiseen osaan. Monimutkaisten kappaleiden geometrian ohjelmointi skannatuista pinnoista on tunnistettu pullonkaula, joka lisää suunnittelukustannuksia. Lisäksi eri DED-tekniikoilla on merkittävästi erilainen kustannusrakenne, tarkkuustaso ja materiaalivalikoima, mikä vaikuttaa siihen, millainen laitteisto soveltuu mihinkin korjauskohteeseen.

Suomessa DED-kerrostuksen toteuttajia on toistaiseksi vähän, ja hankkeen yrityskysely tunnisti palveluntarjoajien puutteen toistuvana esteenä korjauksen toteutumiselle. Tämä tarkoittaa sekä pullonkaulaa että liiketoimintamahdollisuutta.



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 15(47)
--	---	--	----------------

Tukipalvelut

Tämä osio kattaa useita palveluita joita tarvitaan tapauskohtaisesti ja ovat tyypillisesti erikoistuneita yrityksiä. Mikäli korjauspalvelun toteuttaa suuri korjaus- ja kunnossapitoyritys, on mahdollista että se voi tarjota osan tukipalveluista. Toisaalta jos korjaus tilataan erikoistuneelta DED-palveluntarjoajalta (esim. haastavat geometriat), tämä todennäköisesti keskittyy investoimaan omaan ydinosaamiseensa ja tilaa tukipalvelut omana alihankintanaan.

Tukipalveluihin saattaa asiakkaan in-house kyvyistä riippuen kuulua esikäsittely eli korjattavan kohteen koneistus puhtaaksi ja tunnettuun mittaan. Tämä edellyttää tavanomaista koneistuskapasiteettia. Riippuen osan vaatimuksista ja asiakkaan/korjauspalvelun kyvyistä, ostettuna palveluna saattaa olla myös jälkikäsittely, eli korjatun alueen koneistus loppumittoihin, pinnanviimeistely, tarvittaessa lämpökäsittely ja NDT-tarkastus. Mikäli tarvitaan alkuaineanalyysiä, tämä täytyy lähes aina tilata ulkoiselta laboratoriolta. 3D-skannauslaitteisto ei ole enää merkittävä investointi, ja tämä kyvykyys saattaa olla usealla arvoketjun toimijalla. Täytyy tosin huomioida, että laadukkaan 3D-mallin luominen vaatii usein merkittävää osaamista ja aikaa, joten monimutkaisissa tapauksissa tämä vaihe saattaa olla alihankintana toteutettu.

Jälkikäsittelyn vaatimustaso vaihtelee merkittävästi kohteen mukaan, ja saattaa sisältää useita alihankkijoita, etenkin isompien osien lämpökäsittelyn tapauksessa. Vaativampi dokumentointi, esimerkiksi prosessin jäljitettävyyden varmistaminen, tarkastusraporttien laatiminen ja tarvittaessa LCA/LCC-laskennan tuottaminen, on harvemmin osa korjauspalvelun tarjontaa. Tämä vaihe voisi olla luonteva ulkoisen konsultin/koordinoijan tuoma arvonlisä.

Listaamalla kaikki arvoketjun mahdolliset vaiheet, käy ilmi että monimutkaisissa ja vaativissa tapauksissa alihankkijoiden lista saattaa kasvaa pitkäksi. Toisaalta etenkin DED-palveluntarjoajilla on todennäköisesti ajan myötä kasvanut tehokas alihankintaverkosto valmiina, eikä asiakkaan tarvitse kilpailuttaa jokaista palvelua itse.

Nämä eri variaatiot toimijoiden roolin laajuudesta ja sijoittumisesta ovat havainnollistettu kuvassa 2.

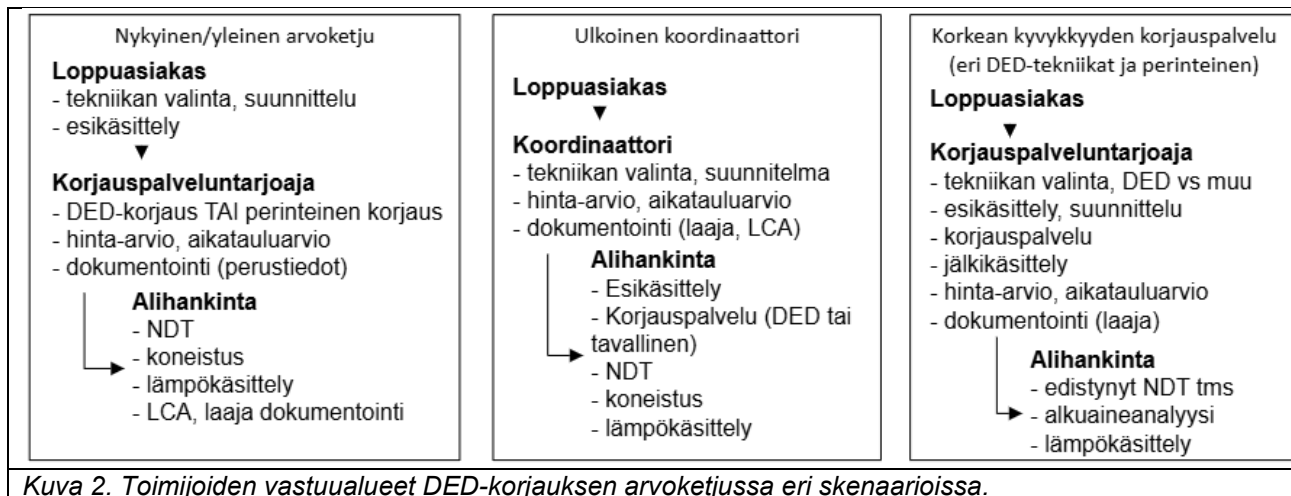


**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 16(47)
--	---	--	----------------



4.2 Arvonmuodostus

Korjausliiketoiminnan kehittämisen ja hinnoittelun perustaksi on ymmärrettävä, mistä asiakkaan kokema arvo korjauksessa muodostuu. Uuden osan hankinnassa asiakas ostaa ensisijaisesti komponentin jonka arvon määrää osan hinta, toimitusaika ja laatu. Korjauksessa osa voidaan palauttaa entiseen kuntoon mahdollisimman nopeasti ja halvasti, tai etenkin DED-korjauksen tapauksessa sitä voidaan parantaa ja sen elinikää kasvattaa, millä on selkeä kustannus- ja ympäristöhyöty. Tässä osiossa jäsennetään korjauksen arvonmuodostusta kolmen toisiaan täydentävän näkökulman kautta: asiakkaan korjauspäätöstä ohjaavat tekijät, arvon kerrostuminen palvelun laajuuden kasvaessa, sekä arvonmuodostuksen riippuvuus korjaustilanteen luonteesta.

Hankkeen haastattelujen ja yrityskyselyn perusteella asiakkaan korjauspäätöstä ohjaa käytännössä aina taloudellinen kokonaisarvio, jossa korjauksen kustannusta verrataan uuden osan hankintaan. Tämä vertailu ei kuitenkaan rajoitu pelkkään ostohintojen vertailuun sillä asiakkaan todellinen päätöksentekokehikko sisältää useita kustannus- ja arvokomponentteja, joista osa on vaikeasti kvantifioitavissa mutta joiden merkitys voi olla ratkaiseva.

Välittömin arvonmuodostuksen peruste on korjauksen alhaisempi suora kustannus suhteessa uuteen osaan. Toisaalta hankkeen yrityskysely nostaa esiin, että korjaus on joissakin tapauksissa havaittu kalliimmaksi kuin uusi osa; esimerkiksi yksinkertaisten akselituotteiden kohdalla uuden osan koneistaminen tankoaihiosta on teknillis-taloudellisesti järkevin vaihtoehto.

DED-korjauksen suora kustannuskilpailukyky uutta osaa vastaan paranee tyypillisesti, kun osan hankintahinta on korkea, tähän voi lukea esimerkiksi suuret valut, taotut kappaleet,



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 17(47)
--	---	--	------------------------

erikoismateriaalit ja monimutkaiset geometriat. Todellista osan kustannusta kasvattaa myös pitkä toimitusaika, etenkin jos kyseessä on tuotannon pyörimisen kannalta kriittinen osa. Vaihtoehtoisesti korjauksen kilpailukyky kasvaa jos korjattava alue on pieni suhteessa osan kokonaiskokoon, eli kyseessä on paikallinen kuluma tai pistemäinen vaurio. On huomioitava että nämä tekijät tekevät korjauksesta ylipäänsä kannattavamman, mutta DED kilpailee silti perinteisten menetelmien kanssa.

Haastatteluissa esiin nousi myös käytännön minimikustannus korjaukselle; pelkästään kiinteiden kulujen ja ajan/kapasiteetin sitomisen vuoksi alle tuhannen euron korjaustöitä ei todennäköisesti oteta vastaan. Toisin sanoen osissa joiden uushankintahinta on tätä matalampi, DED-korjaus ei ole kustannusmielessä kilpailukykyinen vaihtoehto. Tosin tällöin täytyy pitää mielessä korjauksen mahdolliset elinkaarivaikutukset ja vaihtoehtokustannukset.

Monissa teollisuuden korjaustilanteissa suurin yksittäinen kustannuserä ei nimittäin ole itse osa vaan tuotannon seisonta-aika, jonka vikaantunut komponentti aiheuttaa. Tällöin korjauksen arvo asiakkaalle määräytyy ensisijaisesti sen mukaan, kuinka nopeasti osa saadaan takaisin toimintakuntoon, eikä sen mukaan, mitä korjaus itsessään maksaa. Tämä dynamiikka on erityisen merkittävä tilanteissa, joissa uuden osan toimitusaika on pitkä. Suurten valukomponenttien, erikoismateriaaliosien tai vanhentuneiden laitteiden varaosien toimitusajat voivat olla viikkoja tai kuukausia. DED-korjauksen tyypillinen läpimenoaika hankkeen haastattelun mukaan voi olla murto-osa uuden osan toimitusajasta, jolloin korjauksen arvo asiakkaalle moninkertaistuu seisokkikustannuksen kautta, vaikka itse korjauksen hinta olisi uutta osaa korkeampi. Seisokkikustannuksen sisällyttäminen vertailulaskelmaan on usein ratkaiseva tekijä korjauspäätöksessä, mutta se voi toki olla samalla laskennallisesti haastavaa.

Erityinen arvonmuodostuksen tilanne syntyy, kun vikaantuneeseen komponenttiin ei ole saatavilla varaosaa lainkaan. Hankkeen haastatteluissa kävi ilmi, että korjausyritysten asiakkaiden komponenteista puuttuvat toisinaan kokonaan piirustukset ja materiaalitiedot, ja joidenkin osien alkuperäinen valmistaja ei enää toimi tai tarjoa varaosatukea. Tällöin korjauksen arvo ei ole enää vertailtavissa uuden osan hintaan, vaan vaihtoehtoina ovat osan korjaaminen tai koko laitteen tai laitteiston uusiminen. Tällöin komponentin korjauskustannus on käytännössä aina marginaalinen suhteessa koko laiteinvestoinnin uusimiseen. Tämä luo tilanteen, jossa asiakkaan maksuvalmius korjauspalvelulle on huomattavasti normaalia korkeampi.

Viimeiseksi on huomioitava varaosien tilaamisen ja varastoinnin välilliset kustannukset, jotka voidaan korjauksella ohittaa, etenkin jos DED-laitteisto hankitaan yrityksen ”in-house” käyttöön. Tämä näkökulma nostettiin esille hankkeessa järjestetyssä DED-korjauksen työpajassa vierailneiden teollisuusyritysten toimesta. Varsinkin suurilla yrityksillä on byrokraattisempi prosessi hankinnoille ja inventaarion hallinnalle, etenkin tilatessa ennalta



**Euroopan unionin
osarahioittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 18(47)
--	---	--	----------------

hyväksytyjen tai tunnettujen toimittajien ulkopuolelta. Lisäksi toimittajilla voi olla määrätty minimitilausmäärä tai -arvo, joka tekee yhden varaosan tilaamisesta suhteettoman kallista. Osien tilaaminen varastoon on sekin ongelmallista, koska tällöin sidotaan merkittäviä pääomia osiin, joita ei välttämättä koskaan käytetä. Varastointi itsessään maksaa myös, ja saattaa olla pois hyödyllisemmästä tilankäytöstä. Mikäli varaosia voidaan korvata ”digitaalisella varastolla”, eli tietokannalla osien 3D-malleja, säästöt voivat olla huomattavia.

Nämä arvoa luovat tekijät, vaatimukset palveluntarjoajalta/alihankintaverkostolta, ja asiakassuhteen tyypit on esitetty tiivistetysti Taulukossa 3.

Taulukko 3. DED-korjauksen arvon lähteet, asiakkaan kokema hyöty, ja edellytykset palveluntarjoajalta tai sen alihankintaverkostolta.

Arvon kerros	Asiakashyöty	Edellytykset palveluntarjoajalta
Toimintakunnon palautus	Osa takaisin käyttöön	Perus DED-korjaus, koneistus, NDT
Suorituskyvyn parannus	Pidempi käyttöikä, harvemmat seisokit	Materiaalitekkinen osaaminen, LCA/LCC laskentakyky
Dokumentoitu ympäristöhyöty	Raportointidata, vastuullisuusviestintä	LCA-laskentakyky, dokumentointiprosessi
Strateginen kumppanuus	Asiakasorganisaation kehittyminen, digitaalinen varasto, kustannustehokkaasti DED-valmistettavaksi tai korjattavaksi suunnitellut osat	Pitkäaikainen asiakastuntemus, tekninen neuvonta, suunnittelu ja FEM/CFD mallinnus

4.3 Suorakerrostus verrattuna perinteisiin menetelmiin

Suomalaisessa teollisuudessa on vakiintuneita korjausmenetelmiä, kuten pinnoitushitsaus, terminen ruiskutus, koneistus ja näiden yhdistelmät. Niistä on vuosikymmenten kokemus, tunnettu kustannusrakenne ja useita palveluntarjoajia. DED-korjauksen liiketoimintamallin rakentaminen edellyttää realistista käsitystä siitä, milloin DED tarjoaa aidosti lisäarvoa suhteessa näihin menetelmiin, milloin perinteiset menetelmät ovat edelleen paras valinta, ja milloin menetelmät täydentävät toisiaan. Perinteisten menetelmien eroja DED:hen esitellään tiivistetysti Taulukossa 4.



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 19(47)
--	---	--	----------------

Taulukko 4. Eri korjausmenetelmien karkea vertailu, tähtien määrä kuvaa kriteerin kasvua. Taulukko mukailtu ja käännetty lähteestä (Saboori ym. 2019).

Kriteeri	TIG	GTAW	Cold Spray	Terminen ruiskutus	DED
Tuottavuus	**	****	**	*****	****
Kannettavuus	****	****	*	**	**
Mekaaniset ominaisuudet	**	*	**	**	****
Valmistelu aika	***	**	***	**	****
Lämpökäsittelyn tarve	***	**	***	**	***
Hinta	**	*	**	**	***

Kolme neljästä hankkeessa toteutettuun kyselyyn vastanneesta yrityksestä käyttää hitsausta ja/tai koneistusta korjausmenetelminä. Kuten Taulukosta 4 käy ilmi, menetelmien asema ei perustu pelkästään tottumukseen vaan myös todellisiin vahvuuksiin, jotka on syytä tunnistaa.

(Pinnoitus)hitsaus konventionaalisilla menetelmillä (MIG/MAG, TIG, puikkohitsaus, jauhekaarihitsaus) on edullista ja nopeaa, kun korjattava geometria on yksinkertainen ja materiaalit tavanomaisia. Osaamista ja laitteistoa on laajasti saatavilla ja korjausverstaas voi parhaassa tapauksessa aloittaa hitsauksen samana päivänä kun osa saapuu. DED-kerrostuksen läpimenoaika taas on pidempi, sillä korjausta varten on luotava digitaalinen malli ja työkaluradat. Eräs palveluntarjoaja haastateltaessa esiin noussut arvio korjaukselle sisältäen e.m. vaiheet oli noin viikko tai kaksi, monimutkaisuudesta ja tilanteesta riippuen. Yrityskyselyn toistuvasti esiin nostama palveluntarjoajien puute koskee nimenomaan DED-palvelua, kun taas perinteistä korjauspalvelua on saatavilla. Lisäksi perinteisin menetelmin tehtyjen korjausten käyttäytyminen tunnetaan kokemuksen kautta. Yrityskyselyn mukaan kaikki korjauksia tekevät vastaajat arvioivat korjattujen osien toiminnan tuotannossa alkuperäisen veroiseksi. Kokemus luo luottamusta, joka DED-korjauksen kohdalla on vasta rakentumassa. Perinteiset menetelmät eivät myöskään edellytä merkittävää laiteinvestointia, sillä perus hitsauslaitteisto, koneistuskapasiteetti ja perus NDT-tekniikat ovat tavanomaista valmistustekniikkaa joka monilla toimijoilla on muutenkin olemassa. DED-laitteiston hankinta on suuruusluokaltaan täysin erilainen investointi.

DED-korjauksen asemointi ei voi perustua siihen, että se olisi halvempi tai nopeampi vaihtoehto perinteisille menetelmille kaikissa tilanteissa. Sen sijaan DED erottautuu tilanteissa, joissa perinteiset menetelmät kohtaavat teknisiä rajoituksia tai joissa DED:n erityisominaisuudet tuottavat arvoa, jota perinteiset menetelmät eivät pysty tarjoamaan.



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 20(47)
--	---	--	------------------------

DED-tekniikat, erityisesti laserpohjainen DED, mahdollistavat huomattavasti laajemman materiaalivalikoiman kuin perinteinen pinnoitushitsaus. Nikkeliseokset, koboltti-kromiseokset, työkaluteräket ja monimateriaaliyhdistelmät ovat DED:llä kerrostettavissa hallitusti, kun taas perinteisessä pinnoitushitsauksessa materiaalivalikoima on rajatumpi ja prosessin hallinta haastavampaa erityismateriaalien kanssa, joka nostettiin haastatteluissa myös esiin perinteisten hitsauskorjausten haasteena.

Tämä mahdollistaa päivitys- tai parannuskorjauksen jossa kulutuspinna korvataan alkuperäistä kestävämmällä materiaalilla. Hankkeen LCA/LCC-laskentatyökalulla tehty suhteellisen konservatiivinen elinkaaritarkastelu osoitti tämän olevan taloudellisesti ja ympäristönäkökulmasta selkeästi kannattavaa ainakin laser-DED-korjausten tapauksessa. Laskentaesimerkin tiedot löytyvät hankkeen julkaisusarjan raportista ”Metallituotteiden suorakerrostuskorjauksen taloudelliset- ja ympäristövaikutukset”. Samoin etenkin laserpohjaisen DED:n vahvuuksiin lukeutuu pienempi ja paremmin hallittava lämmöntuonti verrattuna perinteiseen pinnoitushitsaukseen. Tämä tarkoittaa pienempää vääristymäriskiä, mikä on kriittistä tarkkojen komponenttien korjauksessa, sekä kapeampaa lämpövaikutusvyöhykettä (HAZ), mikä vähentää perusmateriaalin ominaisuuksien heikkenemistä. Nämä ominaisuudet ovat etenkin hyödyllisiä säröilylle herkällä materiaaleilla ja pienillä/ohuilla tai geometrisesti monimutkaisilla/tarkoilla osilla.

DED:n CNC-ohjattu työkalurata mahdollistaa monimutkaisten geometrioiden korjaamisen toistettavasti. Perinteisessä pinnoitushitsauksessa tulos riippuu vahvasti hitsaajan taidosta, ja monimutkaisissa geometrioissa laadun tasaisuus on haaste. DED-prosessissa kerrostusstrategia ohjelmoidaan etukäteen, mikä parantaa toistettavuutta ja dokumentoitavuutta. Toisaalta DED-palveluntarjoajan haastattelussa todettiin, että monimutkaisten kappaleiden geometrian ohjelmointi skannatuista pinnoista on haaste ja potentiaalinen pullonkaula. Geometrinen monipuolisuus on siis DED:n etu mutta myös kustannustekijä, erityisesti ensimmäisen tyyppiään edustavan osan kohdalla.

DED-tekniikoilla voidaan rakentaa muotoja olemassa olevan geometrian päälle, mikä mahdollistaa osien uudelleenvalmistuksen tavalla, joka ei ole perinteisillä korjausmenetelmillä tarkoituksenmukaista. Tämä on erityisen relevanttia tilanteissa, joissa alkuperäistä osaa ei ole saatavilla ja vaihtoehtoina ovat osan uudelleenvalmistus tai koko laitteen uusiminen. Tällaista korjaus/uudelleenvalmistus tapausta on hankkeessa kokeiltu käytännössä, ja tämän selvityksen tulokset ovat luettavissa hankkeen julkaisusarjan raportissa ”tietopaketti-osa 3”

Toisaalta täytyy myös tunnistaa tilanteet, joissa perinteiset menetelmät ovat parempi tai riittävä vaihtoehto. DED-korjaus vaatii kohteen digitointia ja työkaluratojen luontia, joka saattaa pienissä tai yksinkertaisissa kohteissa jo ylittää perinteisen hitsauksen ajan tai kustannukset. Haastatteluiden perusteella nyrkkisääntönä alle tuhannen euron korjauksissa DED ei välttämättä ole kilpailukykyinen, mikäli geometrian tai lämmöntuonnin puolesta



 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 21(47)
--	---	--	------------------------

perinteiset menetelmät eivät tuota ongelmia. Nopeampi läpimeno yksinkertaisissa tapauksissa voi myös lisätä perinteisen korjauksen arvoa tapauksissa, joissa tuotanto seisoo osan korjauksen ajan. Lisäksi perinteiset hitsausmenetelmät ovat melko helposti siirrettävissä asiakkaan tiloihin tai kentälle, mikä on ratkaisevan tärkeää suurten, vaikeasti liikuteltavien kohteiden korjauksessa. Yrityskyselyn vastauksissa mainittiin paikan päällä tehtävä korjaus yhtenä haluttuna palvelumallina. Markkinoilla on kylläkin saatavilla nimenomaan kenttäkorjaukseen tarkoitettavia rekalla kulkevia DED-soluja, tosin kotimaisen in-situ-korjauksen kysynnän määrä ei välttämättä oikeuta tällaista investointia vielä.

Tavanomaisia korjauspalveluja tarjoavan yrityksen näkökulmasta DED ei ole välttämättä korvaava teknologia, vaan laajentaa palveluvalikoiman kattamaan kohteet, joita perinteisillä menetelmillä ei voida järkevästi korjata tai joissa elinkaaren pidentämisen vaikutus tasapainottaa kustannukset.

5. Mahdolliset liiketoimintamallit

5.1 Liiketoimintamallien tunnistaminen

Tässä luvussa esiteltävät liiketoimintamallit on tunnistettu yhdistämällä kolme tietolähdettä: hankkeen yrityskyselyn ja haastattelujen tulokset, hankkeen LCA/LCC-laskennan havainnot sekä kansainvälinen kirjallisuus ja toimialaesimerkit. Mallien tunnistamisen lähtökohtana ei ole ollut teknologialähtöinen ajattelu, "mitä DED:llä voi tehdä", vaan asiakastarpeen ja markkinan näkökulma, eli millaisiin todellisiin ongelmiin ja liiketoimintatilanteisiin DED-korjaus tarjoaa ratkaisun, josta asiakas on valmis maksamaan.

Liiketoimintamallien tunnistaminen eteni kolmessa vaiheessa:

1. Asiakastarpeiden kartoitus. Hankkeen yrityskysely ja haastattelut sekä kirjallisuus tuottivat kuvan siitä, millaisia korjaustarpeita suomalaisessa teollisuudessa on, miten korjauspäätökset tehdään, ja mitkä tekijät estävät tai mahdollistavat korjausten toteuttamisen. Erityistä huomiota kiinnitettiin tilanteisiin, joissa nykyiset korjausmenetelmät eivät tuota riittävää lopputulosta tai joissa korjausvaihtoehtoa ei ole lainkaan hyödynnetty.
2. Arvonmuodostuksen analyysi. Kappaleessa 4.2 kuvatun arvonmuodostuskehikon ja Kappaleen 4.3 menetelmien erojen avulla tunnistettiin, millaisissa korjaustilanteissa DED-korjauksen arvonmuodostuspotentiaali on suurin ja missä se erottautuu perinteisistä menetelmistä. Tämä rajasi tarkastelua niihin tilanteisiin, joissa DED:llä on aito kilpailuetu.
3. Toteutettavuuden arviointi. Tunnistettuja mahdollisuuksia arvioitiin suhteessa suomalaisen pk-yrityksen realistiseen investointikykyyn, osaamispohjaan,



**Euroopan unionin
osarahioittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 22(47)
--	---	--	------------------------

olemassaolevaan laitteistoon ja alihankintaverkostoon. Mallit, jotka edellyttäisivät epärealistista investointia tai osaamishyppäystä, rajattiin pois tai muotoiltiin vaihteittain saavutettaviksi.

Esiteltävät kuusi liiketoimintamallia eivät sulje toisiaan pois. Yritys voi toteuttaa useita malleja samanaikaisesti tai edetä mallista toiseen liiketoiminnan kehittyessä. Mallien kuvaukset ovat tiivisteltyinä Taulukossa 5.

Taulukko 5. Tunnistettujen liiketoimintamallien tiivistelmä.

Malli	Ydinajatus
A. Alihankintaintegraatio	DED lisätään palveluvalikoimaan alihankintana
B. Keskitetty DED-korjauspalvelu	DED-korjauksen tarjoaminen palveluna
C. Erikoistunut korjauspalvelu	Erikoistuminen korkean arvon segmenttiin
D. Päivityskorjaus	Suorituskyvyn parantaminen korjauksen yhteydessä tai ennakoivasti
E. Vanhentuneiden osien uudelleenvalmistus	Varaosaongelman ratkaiseminen
F. Kiertotaloussertifioitu korjauspalvelu	Dokumentaatio raportointivelvollisille asiakkaille, lisäarvo korjaukseen

Jokainen malli kuvataan samalla rakenteella: mallin ydinajatus, arvonluontimekanismi, toteutuksen edellytykset ja taloudellinen arvio, riskit ja haasteet sekä etenemispolku. Mallien kuvaukset on pidetty tiiviinä, eikä niiden yksityiskohtainen arviointi ole mielekästä ilman kattavampaa markkinaselvitystä mallikohtaisesti. Tämän hankkeen selvityksen tarkoituksena on kartoittaa millaisia malleja DED-korjaus ja kiertotaloustoiminta ylipäättään mahdollistaa, joko uudelle liiketoiminnalle tai olemassaolevan liiketoiminnan laajentamiseen.

5.2 Malli A: Korjauksen alihankintaintegraatio

Tässä mallissa olemassaoleva korjaus- ja kunnossapitoyritys, tai puhtaasti koordinaattoriroolissa toimiva konsultti, lisää DED-korjauksen palveluvalikoimaansa ostamalla kerrostusvaiheen alihankintana ulkopuoliselta DED-palveluntarjoajalta. Yritys säilyttää asiakasrajapinnan, toteuttaa esi- ja jälkikäsittelyn omalla kapasiteetillaan tai alihankintaverkostollaan, ja koordinoi kokonaisuuden. Asiakas saa yhden palvelupisteen, joka hoitaa koko korjausprosessin.



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 23(47)
--	---	--	------------------------

Arvon luonti

Malli vastaa hankkeen yrityskyselyn keskeiseen havaintoon, että asiakkaat suosivat kokonaispalvelua jossa palveluntarjoaja hoitaa prosessin noudosta palautukseen. Asiakas ei halua itse etsiä DED-palveluntarjoajaa, koordinoida logistiikkaa ja hallita usean alihankkijan ketjua. Korjausyritys, joka tarjoaa tämän koordinaation, täyttää markkinasta puuttuvan roolin.

Yritys luo arvoa useassa vaiheessa, alkaen korjauspäätöksen valmisteluista. Se arvioi vaurion, tunnistaa materiaalin, laatii korjaussuunnitelman ja kustannusarvion. Olemassaolevan korjauspalveluntarjoajan tapauksessa tämä on osa alkuperäistä osaamista perinteisten menetelmien pohjalta. Esi- ja jälkikäsittelyn yritys hoitaa itse omalla erityisosaamisellaan, tai hoitaa korjaustapaukselle sopivan ja osaavan alihankkijan etsimisen, joka itsessään voi vaatia jonkin verran ymmärrystä lastuavasta työstöstä, sillä korjaustapaukset/geometriat, niiden toleranssit, lämpökäsittelyt, ja osaa ympäröivä regulaatio voivat vaihdella merkittävästi tapauksesta toiseen. Vaativaan tapaukseen pieni ja edullinen konepaja ei välttämättä riitä, mutta erikoistunutta/kallista kapasiteettia ei myöskään kannata käyttää yksinkertaiseen jälkikäsittelyyn. Lisäksi kokonaisuuden hallinta, alihankkijoiden välinen tiedonsiirto, dokumentointi ja asiakasviestintä on aineetonta mutta arvokasta palvelua, joka osaltaan oikeuttaa koordinaatiokatetta, varsinkin tapauksessa jossa korjauksen tilaa organisaatio jolla ei ole kokemusta käytetyistä menetelmistä tai konepajoista alihankkijoina.

Hinnoittelu on kustannusperusteista: DED-alihankinnan kustannus, mahdollisesti oma työ ja materiaalit, koordinaatiokate. Asiakkaalle esitetään vaivattomasti ymmärrettävä kokonaishinta korjatulle osalle, ei eriteltyä alihankintakustannusta.

Edellytykset ja taloudellinen arvio

Toteutuksen edellytykset ovat samat riippumatta siitä onko koordinoija korjausyritys vai konsultti. Konsultin tapauksessa voidaan joutua rakentamaan uusia alihankintaverkostoja, riippuen erikoistumisesta ja aiemmasta toiminnasta. Korjausyritykselle relevantit asiakassuhteet ja suuri osa kyvykkyyksistä tai alihankintaverkostoista on todennäköisesti olemassa, ja siirtymä tähän liiketoimintamalliin on kevyempi. Molemmille hankittavaksi kyvykkyydeksi jää DED-tekniikoiden perustuntemus, joka vaaditaan alustavan korjaussuunnitelman laatimiseksi ja asiakkaan konsultoimiseksi, vaikka kerrostusta ei itse toteutetakaan.

Investointitarve on siis matala, sillä laiteinvestointia ei tarvita. Kustannukset kohdistuvat osaamisen kartuttamiseen, kumppanuuden rakentamiseen ja prosessien dokumentointiin.



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 24(47)
--	---	--	------------------------

Mallin kannattavuuslogiikka perustuu siihen, että yritys ottaa katteen koordinoinnista ja omasta työstä ilman DED-laitteiston kiinteitä kustannuksia. DED-alihankinnan kustannus on läpimenoerä, jonka päälle yritys hinnoittelee oman työn ja katteen.

Tämä liiketoimintamalli todennäköisesti lisää hieman palvelun kustannusta asiakkaalle. Toki säästöjäkin syntyy säästyneen ajan ja mahdollisesti onnistuneemman kilpailutuksen myötä. Kustannukset liiketoimintamallissa ovat pitkälti kiinteät, etenkin koordinoija-konsultille. Haastatteluiden perusteella arvioitu noin 1 000 euron minimikustannus tarkoittaa, että korjaustoimeksiannon kokonaishinta asiakkaalle on tyypillisesti useita tuhansia euroja, etenkin kun esi- ja jälkikäsitteilyn kustannus lisätään. Kaikkein alhaisimmassa hintaluokassa ja etenkin hintaherkissä tapauksissa, joissa korjauksen kustannus verrattuna esimerkiksi uuteen osaan on merkittävä päätöksenteon tekijä, tämän liiketoimintamallin katteet voivat kasvaa liian suureksi osuudeksi korjauksen kokonaiskustannuksia. Suurissa korjauksissa palvelu voikin olla houkuttelevampi.

Volyymiriippuvuus on matala sillä malli ei edellytä tasaista toimeksiantovirtaa, koska DED-kerrostuksen kiinteät kustannukset eivät ole yrityksen omassa taseessa. Yksittäinenkin onnistunut toimeksianto on kannattava, jos hinnoittelu on oikein.

Riskit ja haasteet

Riskit ja haasteet mallissa liittyvät riippuvuuteen alihankkijoista. Suomessa DED-palveluntarjoajia on vähän, mikä luo pullonkaulan kapasiteetin ja aikataulun hallintaan. Yhden alihankkijan varaan rakentaminen on riskialtista, kun kapasiteettiongelmia tai palveluntarjoajan liiketoimintamuutokset heijastuvat suoraan omaan palvelukykyyn. DED-alihankkijan työn laatu on myös kriittistä, ja koordinoijalla on rajalliset mahdollisuudet vaikuttaa siihen.

Etenemispolku

Malli on luonteeltaan matalimman kynnyksen lähestymistapa, ja se voi toimia ensimmäisenä askeleena kohti syvempää DED-osaamista.

Vaihe 1: DED-palveluntarjoajan tunnistaminen ja kumppanuusneuvottelut. Oman henkilöstön DED-peruskoulutus (teknologian perusteet, materiaaliveitohdot, prosessin rajoitukset).

Vaihe 2: Ensimmäiset 2-3 pilottitoimeksiantoa, mieluiten tunnetuilta asiakkailta ja kohteista, joissa korjauksen taloudellinen peruste on selvä. Prosessin pullonkaulojen ja tiedonsiirtohaasteiden tunnistaminen käytännössä.



**Euroopan unionin
osarahioittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 25(47)
--	---	--	------------------------

Vaihe 3: Palvelun vakiinnuttaminen osaksi normaalia tarjousprosessia.

Referenssidokumentaation kerääminen. Arvio siitä, onko volyyymi ja osaamiskertymä riittävä siirtymään kohti syvempää DED-integraatiota tai mahdollisesti omaa DED-kapasiteettia (katso muut liiketoimintamallit).

5.3 Malli B: Keskitetty korjauspalvelu

Tässä mallissa yritys investoi omaan DED-laitteistoon ja tarjoaa kerrostusta palveluna laajalle asiakaskunnalle, sekä suoraan loppuasiakkaille että mallin A mukaisesti toimiville koordinoijille. Malli vastaa yrityskyselyn toistuvasti tunnistamaan palveluntarjoajien puutteeseen.

Arvon luonti

Yritys myy DED-kerrostusta palveluna. Hinnoittelu voi perustua kerrostettuun massa (€/kg), prosessiaikaan (€/h) ja/tai toimeksiantokohtaiseen kokonaishintaan. Hankkeen julkaisusarjan raportissa ”Metallituotteiden suorakerrostuskorjauksen taloudelliset- ja ympäristövaikutukset” esimerkkitapaukselle tehty kustannuslaskenta osoittaa, että kustannusrakenteen painopiste vaihtelee merkittävästi tekniikan, materiaalin, ja kappalekoon mukaan.

DED-Arc: Terästä kerrostaessa suojakaasu, laitekustannus, ja operaattori muodostavat valtaosan kuluista, molemmat ovat kerrostuksen ajasta riippuvaisia. Kalliimpia lisäaineita käyttäessä materiaalikustannus taas dominoi, jolloin hinnoittelussa painottuu pinnoitettu massa ja korjauksen koko.

DED-LB/powder: Lisäainemateriaali muodostaa teräkselläkin yli 30 % kuluista ja Stelliten kaltaisilla erikoismateriaaleilla jopa 80–90 %. Hinnoittelussa korjauksen koko, eli pinnoitettu massa painottuu.

DED-LB/wire: Kustannusrakenne painottuu laitteeseen ja suojakaasuun, johtuen pienemmästä materiaalihävikistä langan kustannuksen osuus on pienempi kuin muissa prosesseissa.

Edellytykset ja taloudellinen arvio

Laiteinvestointi on mallin suurin kynnys. DED-laitteiston hankintakustannus vaihtelee merkittävästi tekniikasta ja kokoluokasta riippuen, ja myös siitä onko yrityksellä valmiina esimerkiksi hitsausrobotteja tai suojakaasu- jne. infrastruktuuria. Hitsausrobotti on



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 26(47)
--	---	--	------------------------

periaatteessa vain oikean ohjelmiston päässä DED-Arc laitteesta, ja toisessa päässä kustannuskaalaa on avaimet-käteän DED- 3D-tulostinlaitteen hankinta, jolloin suuruusluokka on helposti puoli miljoonaa. Tarkempi kustannusarvio DED-tekniikoiden investointikustannuksille on esitetty Kappaleessa 6.

Mallissa vaaditaan käytännössä syvällistä prosessiosaamista. Perusosaamisen voi saavuttaa koulutuksella jota esim. laitevalmistaja todennäköisesti tarjoaa, mutta varsinkin arvokkaimpien ja monipuolisten asiakassuhteiden kehittämiseksi tulisi osaamisen taso olla korkeammalla. Vaativimmissa tai geometrisesti monimutkaisissa tapauksissa tulee ymmärtää syvällisesti esimerkiksi prosessiparametrien suhde lämmöntuontiin, tarkkuuteen ja laatuun, sekä geometrioiden vaikutus työstöratoihin ja edelleen kerrostuksen onnistumiseen. Kokemuksella voidaan myös merkittävästi vähentää kustannuksia, sillä kuten aiemmin mainitussa hankkeessa tehdyssä kustannuslaskelmassa kävi ilmi, mm. kerroskorkeuden ja kerrostuspaksuuden suhde tulee säätää tarkoin jotta vältytään turhan ylittävän tuottamiselta. Tämä edellyttää joko kokeneen henkilöstön rekrytointia tai pitkäjänteistä yhteistyötä esim. tutkimuslaitoksen kanssa.

Eräs merkittävä kilpailutekijä, jota tulee miettiä investointivaiheessa, on materiaalivalikoima. Palveluntarjoaja, joka hallitsee sekä perusteräkset että erikoismateriaalit (nikkeliseokset, koboltti-kromi, työkaluteräkset), voi palvella laajempaa asiakaskuntaa.

Riskit ja haasteet

Mallin taloudellinen haaste on kallis alkuinvestointi yhdistettynä epävarmaan ja epätasaiseen kysyntään. Tämä on kansainvälisestäkin tunnistettu erääksi suurimmista kynnyksistä tekniikan käyttöönottoon (Barras & Hauser, 2025). DED-laitteiston kiinteät kustannukset (laite, tila, perushenkilöstö) juoksevat riippumatta toimeksiantojen määrästä. Korjaustarpeita ei voi aikatauluttaa, joten jonkinlaisen säännöllisen tuotannon tai sopimusvalmistuksen lisääminen osaksi liiketoimintaa voi olla kriittistä etenkin kalliimpien konehankintojen tapauksessa. Mikäli DED-laite pohjautuu linjastosta poimittuun hitsausrobottiin, voi korjausliiketoiminnan hiljaisia aikoja paikata palauttamalla laite hitsauskäyttöön.

Etenemispolku

Malli on investointina ja riskinä merkittävästi suurempi kuin malli A. Mahdollinen etenemispolku on mallin A kautta: yritys aloittaa DED-alihankintaintegraatiolla, kerää kokemusta, asiakassuhteita, tietoa markkinoista sekä kysynnästä, ja tekee investointipäätöksen vasta kun volyymi ja osaamis pohja ovat riittävällä tasolla.



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 27(47)
--	---	--	------------------------

5.4 Malli C: Erikoistunut korjauspalvelu

Tässä mallissa yritys erikoistuu korkean arvon tuotteisiin, esimerkiksi muottien ja työkalujen DED-korjaukseen. Segmentti on rajattu, mutta korjattavien kohteiden yksikköarvo on korkea, materiaalit ja vauriomekanismit ovat suhteellisen ennustettavia, ja korjauksen taloudellinen peruste on tyypillisesti vahva.

Hankkeen yrityskysely tunnisti ruiskuvalumuottien korjauksen konkreettisena tarpeena. Muotit ja työkalut (ruiskuvalumuotit, taontamuotit, puristustyökalut) edustavat DED-korjauksen kannalta lähes ideaalista kohdetta: korkea osan arvo/vaihtoehtokustannus, paikallinen ja tyypitettävä vaurio, vaativat materiaalit joissa DED erottautuu. Esimerkki taontatyökalun korjauksesta Formnext-messuilla SATO:n DED-LB/wire tekniikalla on esitetty kuvassa 4.



Kuva 3. IN718-nikkelisuperseoksella korjattu taontatyökalu (vasemmalla) ja alkuperäinen osa (oikealla).
Kuva: Erik Haapa.

Työkalujen lisäksi maailmalla on tunnistettu potentiaalisiksi erikoistumisen arvoiksi tyyppikohteiksi tietyt koneenosat kuten turbiinit ja hammaspyörät. Kuvassa 5 nähdään Formnext-messuilta löydetty esimerkit turbiinilavan korjauksesta Nikon-SLM Solutions:in DED-LB/powder tekniikalla ja hammaspyörän korjauksesta Meltion DED-LB/wire tekniikalla.

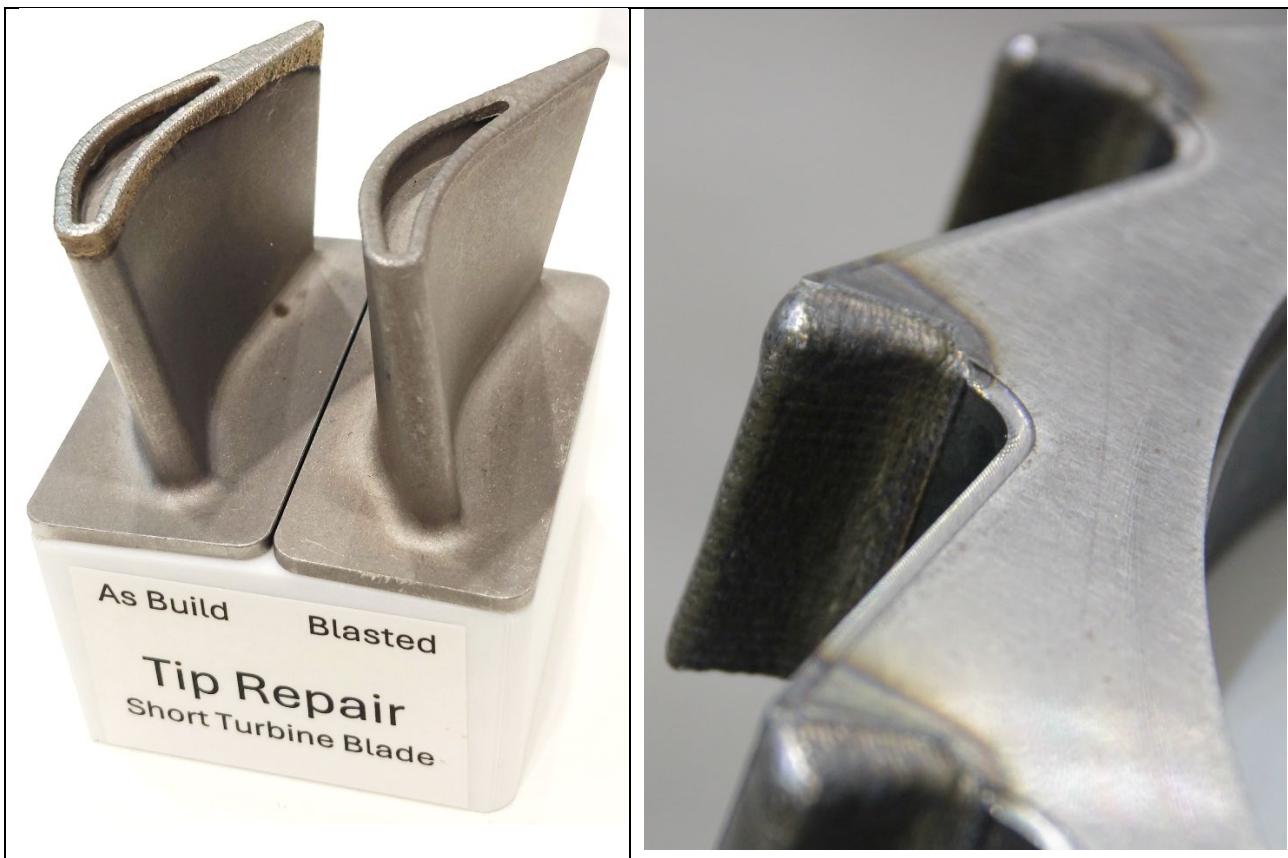


**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 28(47)
--	---	--	----------------



Kuva 4. Korjattu turbiinilapa (vasen) ja hammaspyörä (oikea). Turbiinilavan korjattu kärki erottuu hieman erivärisenä vasemmalla; oikealla sama osa jälkikäsiteltynä. Hammaspyörän korjaus on ennen jälkikäsitelyä, jotta nähdään kerroituksen tarkkuus ja lämmöntuonnin vaikuttama tummempi alue. Kuvat: Erik Haapa

Arvon luonti

Liiketoimintamallin arvon luonti on selkeä. Muotin tai muun työkalun puute voi pysäyttää tuotantolinjan, ja uuden muotin toimitusaika on tyypillisesti viikkoja tai kuukausia. Nopea korjaus on lähes aina edullisempi kuin tuotannon menetys. Ilman tuotantoseisokkiakin muotit ovat erittäin kalliita, ja korjaus on tällöinkin lähtökohtaisesti aina edullisin vaihtoehto.

Muottien ja työkalujen kulutuspinoissa DED mahdollistaa alkuperäistä kovemman tai kulutuksenkestävämmän materiaalin käytön. Hankkeen LCA/LCC-laskennan perusteella korkeamman suorituskyvyn materiaalin käyttö kasvattaa yksittäisen korjauksen kustannusta merkittävästi, mutta pidentynyt käyttöikä kompensoi tämän helposti, puhumattakaan vähentyneiden seisokkien arvosta asiakkaalle. Stelliten käyttö työkalujen korjauksessa ja pinnoituksessa on tunnettua tekniikkaa, ja parantaa tutkitusti eliniän lisäksi myös esimerkiksi taontatyökalujen tapauksessa työkalun suorituskykyä ja tuottavuutta (Foster ym. 2019).



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 29(47)
--	---	--	------------------------

Asiakkaan tai jopa muottien/työkalujen valmistajan kanssa voisi olla myös luontevaa rakentaa pitkäaikainen suhde, jossa palveluntarjoaja tuntee asiakkaan työkalukannan ja vaurioitumishistorian. Tämä mahdollistaisi ennakoivan huoltosuunnittelun ja materiaalivalintojen optimoinnin.

Edellytykset ja taloudellinen arvio

Geometrinen tarkkuus ja pistemäisten, hankalissakin sijainneissa olevien varioiden korjauskyky on tässä sovelluksessa oleellista. Muottien ja työkalujen korjauksessa laserjauhe -pohjainen DED-LB/powder on maailmalla toimivaksi todettu ratkaisu (Foster ym., 2019; Gouveia ym., 2022; Saboori ym., 2019; Vincic, 2024). Tekniikka lisäaineineen on kallis, mikä ei toisaalta välttämättä ole ongelma arvokkaisiin kohteisiin erikoistuttaessa. DED-LB/powder-tekniikalla on myös erinomainen materiaalivalikoima. DED-LB/wire tekniikka on myös sovelluksessa toimiva, kuten nähtiin Kuvissa 3 ja 4.

Materiaalivalikoima ja toisaalta materiaali tekninen osaaminen onkin tässä mallissa tärkeää. Työkaluterästen (H13, P20, D2 jne.) ja kovametallipinnoitteiden (Stellite-seokset, nikkeliseokset) DED-kerrostus edellyttää tarkkaa prosessiparametrien hallintaa ja lämpökäsittelyosaamista. DED-tekniikoille ominaista on nopea jäähtyminen joka johtaa hienoon ja kovaan raerakenteeseen, jolloin jonkinlainen lämpökäsittely on työkalukorjauskäytössä usein tarpeen (Keshavarz ym., 2021; Rabiey ym., 2020). Hankkeen aineistossa lämpökäsittely esiintyy johdonmukaisesti ulkoistettuna, mikä todennäköisesti pätee myös tässä liiketoimintamallissa, mutta palveluntarjoajalla tulee silti olla ymmärrystä lämpökäsittelyistä.

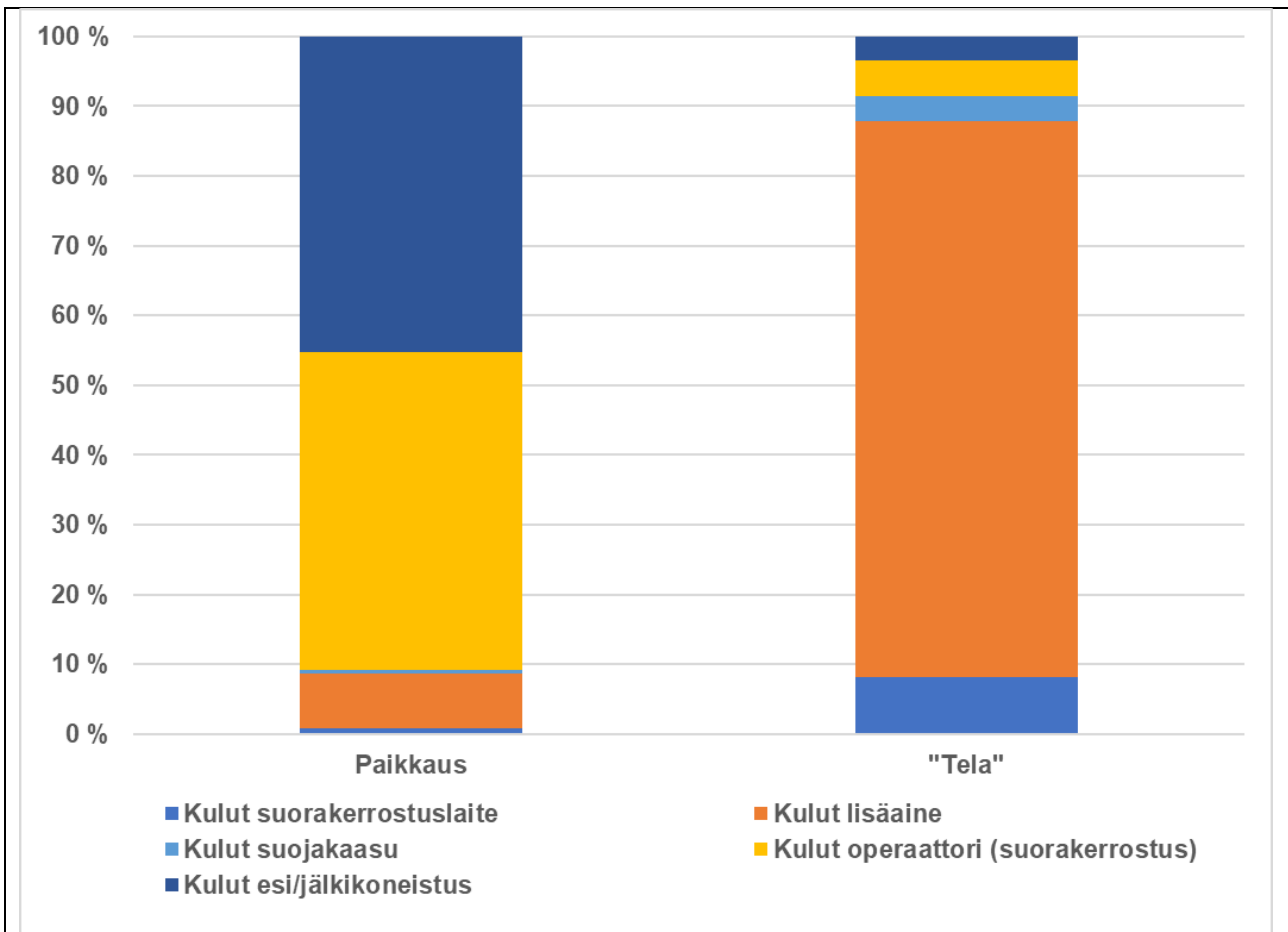
Hankkeen kustannuslaskelmissa materiaalikustannus dominoi kovapinnoitusaineita kuten Stelliteä käyttäessä DED-LB/powder prosessin kustannuksia. Tällöin lisäaineen osuus oli jopa 80% korjauksen kokonaiskustannuksesta. Laskelmia tulkitessa on kriittistä huomata että laskelma suoritettiin melko kookkaalle kappaleelle johon kerrostettiin ainetta yli kilon verran. Kerrostetun massan pienentyessä, etenkin pistekorjauksessa, kiinteät kulut ajavat nopeasti materiaalikulujen ohi, kuten Kuvassa 5 havainnollistetaan.



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**



Kuva 5. Hankkeessa kehitetyn LCA/LCC-laskurin laskema kustannusjakauma DED-LB/powder -tekniikalla käyttäen Stellitea, sovellettuna telamaisen sylinterin pinnoituskorjaukseen (>1 kg) ja pieneen paikkauskorjaukseen (10 g).

Liiketoimintamallia varten olisi kiinnostavaa tehdä lisää taustatyötä, sillä asiakassegmentti on tarkkaan rajattu ja mahdollisia erityisvaatimuksia on mahdollista tunnistaa ja toteuttaa laitehankinnassa. Esimerkiksi onko prosessinvalvontadata asiakkaalle kiinnostavaa korjauksen laadunvarmistusnäkökulmasta? Onko uusia markkinoita avattavissa jos korjauslaite voitaisiin tuoda asiakkaan tiloihin?

Muotti- ja työkalusegmentin taloudellinen houkuttelevuus perustuu korkeaan kätteeseen. Korjattavien muottien arvo on helposti yli kymmeniä tuhansia euroja, ja korjauskustannus on murto-osa tästä. Seisokkikustannus nostaa lisäksi korjauksen vaihtoehdon kustannuksia. Odotettava volyymi pienenee erikoistuttaessa, mutta toisaalta volyymivaatimuskin on maltillisempi kuin yleisessä korjauspalvelumallissa (B), koska yksittäisten toimeksiantojen arvo on korkeampi. Erikoistuminen tehostaa myös itse prosessia ja antaa skaalaetuja, kun samat materiaalit ja samantyyppiset kohteet toistuvat. Tällöin suunnittelukustannus per

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 31(47)
--	---	--	------------------------

toimeksianto laskee ja laatu paranee. Tämä on merkittävä ero yleispalvelumalliin, jossa jokainen toimeksianto voi olla uniikki.

Riskit ja haasteet

Kuten mainittu, erikoistuneiden tapausten volyymi on todennäköisesti melko rajattu. Mikäli korkeampi kate ei riitä kattamaan pienempää volyymiä, pitää laitteistolle keksiä muuta käyttöä. Tämä voi tarkoittaa laajentamista esimerkiksi yleisempään korjauspalveluun tai seuraavassa toimintamallissa D esiteltyyn ennakoivaan ja suorituskykyä parantavaan päivityskorjaukseen.

Erikoistuttaessa kalliisiin kappaleisiin kuten työkaluihin ja muotteihin, toisena mahdollisena riskinä voi nostaa esille mahdollisten virheiden kustannukset. Liiallisen lämmöntuonnin aiheuttama vääristymä tai muu vahinko voi olla taloudellisesti merkittävä.

Etenemispolku

Malli voi käynnistyä mallin A kautta: korjausyritys tunnistaa DED-korjauksen potentiaalin, segmentin vaatimukset, ja arvioi kysynnän olevan riittävää. Ensimmäiset tapaukset voidaan toteuttaa alihankintana, ja erikoistumisen syventyessä arvioidaan oman kapasiteetin hankintaa. Vaihtoehtoisesti olemassa oleva DED-palveluntarjoaja (malli B) voi erikoistua tunnistessaan erikoisalan vaatimat kyvykkyydet, niiden kustannukset ja toteaa niiden olevan kannattavia kysyntään nähden.

5.5 Malli D: Päivityskorjaus

Korjauksen yhteydessä käytetään usein tarkoituksellisesti alkuperäistä korkeamman suorituskyvyn materiaalia, jolloin korjauksen lopputulos ei ole vain toimintakyvyn palauttaminen vaan parantaminen. Pinnoitus voidaan tehdä myös ennakoivasti muuten toimintakuntoiseen osaan.

DED-tekniikan materiaalivapaus on tämän mallin mahdollistaja. Toisin kuin perinteisessä pinnoitushitsauksessa, DED:llä voidaan hallitusti kerrostaa materiaaliyhdistelmiä perusmateriaalin päälle, esimerkiksi korroosiota kestävä nikkeliseos tai kulutusta kestävä kobolttikromipinnoite teräskomponentin funktionaaliselle pinnalle.

Mallin asiakkuus voi syntyä myös alihankkijuutena laitevalmistajalle, joko osana tuotantoketjua tai "after sales" päivityspalveluna osalle, jossa on tunnistettu parannuspotentiaalia tai johon on tehtävä muutoksia mukautuakseen uuteen sääntelyyn.



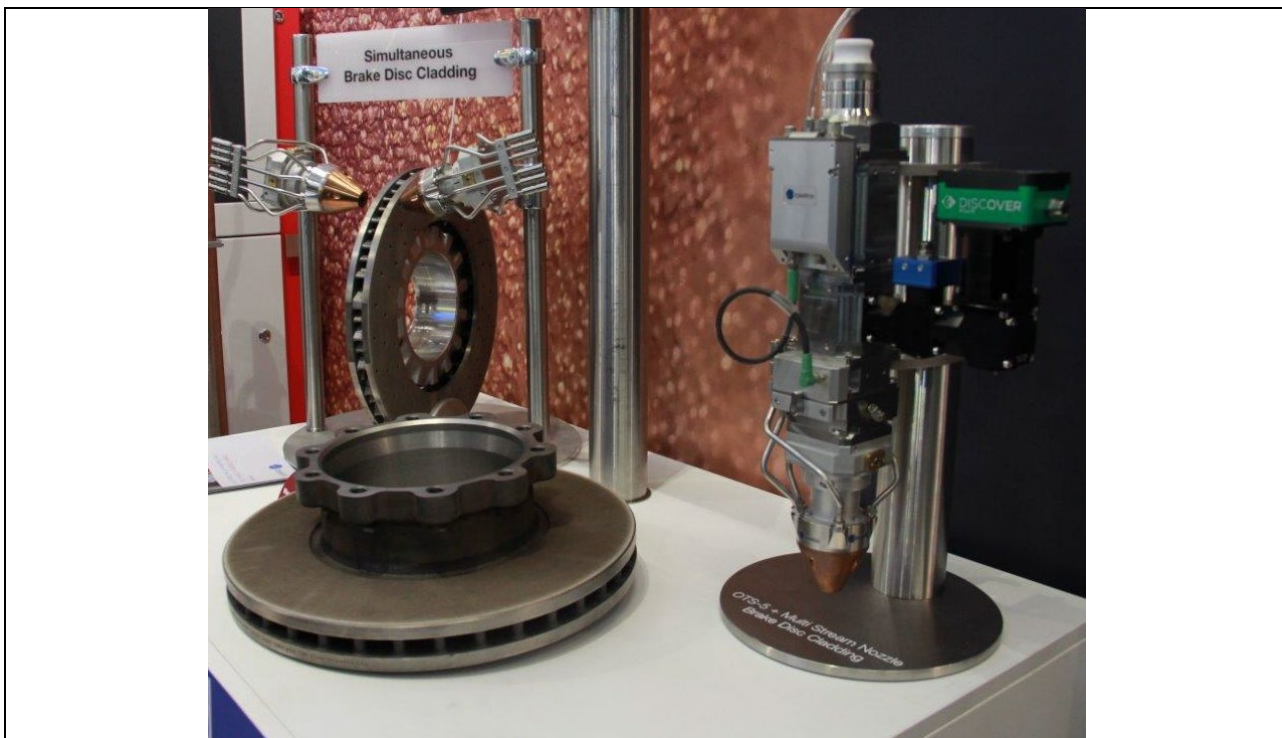
**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 32(47)
--	---	--	------------------------

Konkreettisena esimerkkinä tästä ovat autojen jarrulevyt, joiden kulumasta aiheutuvaan pienhiukkaspäästöihin puututaan EU-lainsäädännössä. Tämä käytännössä edellyttää uusien jarrulevyjen pinnoitusta kulutusta kestäväällä aineella. Johtuen pinnoitteen ohuudesta ja käytetyistä hauraista pinnoitusaineista, DED-LB/powder on luonnollisesti soveltuva tekniikka. Tämä on johtanut merkittävään kysyntään DED-pinnoituspalvelulle ja -laitteistolle. Kuvassa 6 esitetään esimerkki tarkoitukseen muokatusta Laserline:n DED-LB/powder laitteesta, lisäävään valmistukseen keskittyviltä Formnext-messuilla.



Kuva 6. Tunnistettuun jarrulevyjen pinnoitustarpeeseen nimenomaisesti vastaava DED-LB/powder laitejärjestely, jossa kaksi pinnoituspäätä työstää molempia levyn puolia samanaikaisesti. Kuva: Erik Haapa.

Arvon luonti

Asiakkaan kokonaiskustannus muodostuu osan elinkaaren aikaisista korjaus- ja vaihtokustannuksista, ei yksittäisen korjauksen hinnasta. Hankkeen elinkaarilaskennan tuloksissa korkeamman suorituskyvyn materiaalin käyttö on yksittäisen korjauksen osalta selkeästi kalliimpi, mutta pidemmällä tarkastelujaksolla materiaali-investointi maksaa itsensä takaisin sekä taloudellisesti että ympäristövaikutusten osalta suurimmassa osassa tapauksia.



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 33(47)
--	---	--	------------------------

Pidempi käyttöikä tarkoittaa myös harvempia suunnittemattomia seisokkeja ja ennustettavampaa huoltoaikataulua. Tämä on monille teollisuusasiakkaille merkittävä säästö. Pinnoitus voidaan myös tehdä suunnitellusti ennen hajoamista, jotta suunnittematon seisokki vältetään täysin.

Hankkeen työpajassa saatiin anekdootti kaivosteollisuudesta, jossa kovapinnoitetut pinnat voisivat ehkäistä osan loppuun kulumista. Joissain tapauksissa osan elinikä saattaa olla tuotantokustannukseen nähden hyväksyttävä, mutta kaukaisessa, haastavan huoltoyhteyden päässä toimivassa kaivoksessa tilanne saattaa olla toinen. Osan ennakoiva pinnoitus näissä tapauksissa voisi tuoda merkittäviä säästöjä.

Edellytykset ja taloudellinen arvio

Materiaalitekniinen asiantuntemus on keskeinen tässä mallissa. Palveluntarjoajan on kyettävä analysoimaan vaurioitumismekanismi (kuluminen, korroosio, lämpöväsyminen, kavitaatio) ja valitsemaan sen perusteella materiaali, joka kohdistaa parannuksen oikeaan ominaisuuteen.

Elinkaarilaskentakyky on käytännössä välttämätön, koska päivityskorjauksen myyntiargumentti perustuu elinkaaritarkasteluun. Hankkeessa kehitettyä laskentatyökalua voi hyödyntää pohjana yrityksen tilanteeseen mukautetulle laskurille. Monipuolinen ja tarkka kustannusarvio (ja vertailu "uuden veroiseen" osaan) eri aikajänteille, joka on mukautettavissa asiakkaan tilanteeseen lennosta, on oleellinen myytäessä asiakkaalle kallista elinkaarivaikutukseen nojaavaa palvelua. Myös kvantitatiivinen, raportointikelpoinen data ympäristöhyödyistä (LCA-laskenta) voi olla asiakkaasta riippuen hyvinkin arvokasta.

Ensimmäisissä toimeksiannoissa näyttö perustuu väistämättä materiaalitekniiseen perusteluun ja kirjallisuuteen. "Demo"-osien pinnoittaminen referenssien puutteessa voi olla hyödyllistä. Pidemmällä aikavälillä palveluntarjoajan oma seurantadata korjattujen osien toteutuneesta käytöstä rakentaa uskottavuutta.

Palveluntarjoajan näkökulmasta päivityskorjauksen kate voi olla korkeampi kuin peruskorjauksen, koska palveluun sisältyy materiaalitekniistä konsultointia ja elinkaarilaskentaa. Erikoismateriaaleja käyttäessä, ja etenkin suurten kappaleiden/kerrostettujen massojen tapauksessa, materiaalikustannukset ovat korkeita ja dominoivat korjauksen kustannusrakennetta. Hankkeessa tehdyn elinkaariaskelman perusteella Stellite-korjauksen kustannusrakenteessa lisäainemateriaali muodostaa 30-80 % kokonaiskustannuksesta tekniikasta riippuen, kun taas terästä käyttävässä korjauksessa materiaalin osuus on hyvin pieni. Tässä mallissa materiaalihyötysuhteen merkitys kustannuksille ja ympäristövaikutuksille kasvaa siis selkeästi. Pinnoituksissa laserpohjaisilla tekniikoilla on tiettyjä etuja, kuten pienempi kerrospaksuus, joka vähentää koneistuksen tarvetta ja materiaalihukkaa. Lisäksi jauhetta lisäaineena käyttävillä prosesseilla



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 34(47)
--	---	--	------------------------

materiaalivalikoima on lankaa laajempi. Toisaalta DED-LB/powder tekniikkaan liittyy usein merkittävää materiaalihukkaa, sillä kaikki suihkutettu jauhe ei päädy sulaan. DED-LB/powder tekniikan muunnos, niinsanottu EHLA-prosessi, kykenee merkittävästi parempaan hyötysuhteeseen, tosin se ei taivu yhtä laajaan kattaukseen geometrioita ja kinematiikkoja kuin perinteinen DED-LB/powder. Lanka-laser pohjaisen DED-LB/wire -tekniikan etuna on matala materiaalihukka. Lankaa käyttäessä lähtökohtaisesti kaikki syötetty lisäaine päättyy sulaan, ja toisaalta kerrospaksuus voi olla melko pieni.

Riskit ja haasteet

Erikoismateriaalien korkeampi hinta kasvattaa toimeksiannon kokonaisarvoa (ja siten eurokatetta), mutta se myös kasvattaa materiaalikustannusriskiä. Tällöin huomiota kannattaa kiinnittää materiaalihankintaan ja hyötysuhteen kasvattamiseen. Erikoismateriaalit ovat myös herkempiä toimitusketjun häiriöille, sillä tuottajia on vähemmän ja maantieteellinen hajautus on pientä. Esimerkiksi kobolttikromin tapauksessa kobolttin tuotanto on keskittynyt lähes kokonaan Kongon demokraattiseen tasavaltaan.

Elinkaarilupauksen todentaminen voi olla hankalaa. Eliniän pidentymistä ei voi osoittaa välittömästi, ja asiakas kantaa riskin. Elinikä myös riippuu vahvasti kulutusmekanismeista, jotka vaihtelevat tapauskohtaisesti.

Etenemispolku

Malli rakentuu luontevasti mallin A tai C päälle. Korjauspalvelua jo tarjoava yritys tunnistaa asiakkaiden toistuvat vauriomekanismit, ehdottaa materiaalipäivitystä ja dokumentoi tulokset. Ensimmäiset päivityskorjaukset voi toteuttaa asiakkaille, joilla on toistuva ongelma, esimerkiksi säännöllisesti kuluva kuljetinruuvi, ja joilla on siten vertailukohta alkuperäisen materiaalin käyttöikänsä. Näiden referenssitapausten pohjalta elinkaarisäästö voidaan todentaa ja laajentaa asiakaskuntaa.

5.6 Malli E: Vanhentuneen osan uudelleenvalmistus

Kun alkuperäisen varaosan valmistaja ei enää toimi, varaosatuki on päättynyt tai osa on alun perinkin tuotettu tilaustyönä, DED-tekniikalla voidaan valmistaa osa uudelleen joko rakentamalla materiaalia kuluneelle pohjalle tai valmistamalla kokonaan uusi osa. Malli ratkaisee osien saatavuuden varmistamisen tilanteessa, jossa alkuperäistä toimitusketjua ei enää ole.

Tämä tilanne on tunnistettu hankkeen haastatteluissa, joissa usein nostettiin esiin tilanne jossa korjattavasta osasta ei ole tietoja olemassa tai saatavissa sen valmistajalta. Ongelma



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 35(47)
--	---	--	------------------------

on myös yleisesti tiedossa suomalaisessa teollisuudessa, jonka tyypilliseen laitekantaan kuuluu pitkäikäisiä koneita joiden varaosatuki on päättynyt.

Arvonluonti

Arvonmuodostus tulee tässä(kin) mallissa vaihtoehtokustannuksen kautta. Asiakkaan vaihtoehtoina ovat osan uudelleentulovalmistus tai koko laitteen tai laitteiston uusiminen. Yksittäisen komponentin uudelleentulovalmistuskustannus on käytännössä aina marginaalinen suhteessa laiteinvestoinnin uusimiseen. Asiakkaan maksuvalmius on tällöön korkea ja hintaherkkyys matala.

Tyypilliset tähän malliin sopivat asiakasosat ovat todennäköisesti valmistettu menetelmillä jotka vaativat jonkinlaisen mallin tai muotin, kuten valetut, muovatut, tai taotut osat. Esimerkiksi valetun osan uudelleentulovalmistus perinteisesti edellyttäisi valumallia ja valimoa, ja täten merkittävää kiinteää kustannusta osille joita tarvitaan ehkä vain yksi.

Edellytykset ja taloudellinen arvio

Malli edellyttää DED-prosessiosaamisen lisäksi 3D-skannauksen ja CAD/CAM-suunnittelun hallintaa etenkin lisäävän valmistuksen suunnitteluperiaatteiden mukaan (design for additive manufacturing, DfAM), materiaalitekniikan tuntemusta sekä kokonaisvaltaista insinööriä. Investointeja tarvitaan siis henkilöstöpääomaan, suunnittelu- ja mallinnusohjelmistoihin, skannauslaitteistoon, ja todennäköisesti käyttökohde vaatii hieman keskivertoa parempaa suorituskyykyä DED-laitteeltakin.

3D-skannaus ja käänteissuunnittelu ovat kriittinen kyvykkyys. Kun alkuperäisiä piirustuksia ei ole, osan geometria on digitoitava olemassa olevasta kappaleesta. Hankkeen haastattelujen perusteella skannaus vaatii melko paljon kokemusta ja tiheän, tarkan pistepilven jotta sen laatu on riittävä CAD-ohjelmassa työstämistä ja työkaluratojen luomista varten. Tämä korostuu monimutkaisissa geometrioissa. Lisäksi uudelleentulovalmistuksen kohdalla skannattu osa on usein kulunut ja geometriaa puuttuu. Tällöin skannaukseen pitää lisätä geometriaa arvion tai esimerkiksi vanhan valokuvan perusteella, mikä voi vaatia yrittäjästä ja erehdyttä. Tällaiseen työnkulkuun tulee varautua, ja kehittää toimintamalli jolla vältetään kokeilukappaleiden valmistus DED:llä. Ratkaisu voisi olla esimerkiksi halvat muovi-3D-tulosteet.

Joissain tapauksissa voi olla kannattavinta uudelleentulovalmistella kappale perusteellisesti, sillä esimerkiksi valua tai lastuavaa työstöä varten suunniteltu geometria on todennäköisesti turhan massiivinen ja lämpökertymän kannalta ongelmallinen. Kustannuksissa voidaan säästää ja valmistusvirheitä välttää mikäli geometria suunnitellaan uudelleentulovalmistusmenetelmälle sopivaksi.



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 36(47)
--	---	--	------------------------

Onnistuneen kerrostuksen kannalta osan alkuperäisen materiaalin tunnistus on tarpeellista ja usein haastavaa. Hankkeen haastattelussa korjausyritys totesi, että on tyypillistä ettei vanhan osan perusmateriaalia aina tunneta. XRF/PMI-analyysi antaa kemiallisen koostumuksen, mutta ei kerro alkuperäistä lämpökäsittelytilaa tai mekaanisia ominaisuuksia. Uudelleenvalmistuksessa materiaalivalinta joudutaan usein tekemään koostumusanalyysin ja käyttökohteen vaatimusten perusteella. Tässä on avuksi mikäli käyttökohteessa odotetut kuormat voidaan selvittää, jolloin esimerkiksi FEM-lujuuslaskennan avulla voidaan arvioida uudelleenvalmistetun osan kestävyys, etenkin mikäli sen geometriaa on merkittävästi uudelleensuunniteltu yllä kuvatuista syistä.

Kuvatun osaamisen ja insinööriyön määrästä johtuen merkittävä osa kustannuksista tässä mallissa syntyy suunnittelusta, ohjelmoinnista ja prosessin kehityksestä. Kerrostusprosessin aika/massakohtaisten kulujen osuus noudattaa aiemmin kuvattua rakennetta, riippuen vahvasti materiaalista, tekniikasta, ja kerrostetusta massasta. Toisaalta geometrian monimutkaisuus ja vaatimukset lämmöntuonnin hallinnalle lisäävät etenkin DED-Arc prosessin kestoa.

Tässä mallissa voidaan odottaa että varaosia valmistetaan useampia, jolloin voidaan hyödyntää skaalaetuja. Ensimmäinen kappale on aina kallis, mutta jos samaa osaa valmistetaan myöhemmin uudelleen, suunnittelu- ja ohjelmointikustannus jakautuu useammalle kappaleelle ja yksikkökustannus laskee merkittävästi.

Mallin osaamisvaatimukset ja insinööriyö yhdessä asiakkaan todennäköisen maksuvalmiuden kanssa mahdollistaa korkeamman katteen. DED-pohjaisen varaosatuotannon kysyntää Suomessa tai Pohjoismaissa ei ole kirjoitushetkellä kattavasti selvitetty, mutta on mahdollista että onnistuneesta uudelleenvalmistuksesta voi kehittyä varaosasarjan tilaus, tai mahdollisuus tuottaa osia muillekin samaa laitetta käyttäville asiakkaille.

Riskit ja haasteet

Kun alkuperäispiirustuksia ja -spesifikaatioita ei ole, täytyy etukäteen miettiä kuka määrittelee hyväksymiskriteerit ja kuka vastaa uudelleenvalmistetun osan suorituskyvystä.

Kustannusten arviointiin liittyy myös riskiä sillä tarjousta tehdessä osasta ei välttämättä ole riittävästi tietoa (skannaus, materiaalianalyysi). Jos osa osoittautuu geometrialtaan tai materiaalivaatimuksiltaan odotettua monimutkaisemmaksi, suunnittelukustannukset voivat ylittää arvion merkittävästi.

Etenemispolku



**Euroopan unionin
osarahioittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 37(47)
--	---	--	------------------------

Malli on luonteeltaan tilannesidonnainen ja voi olla osana malli A:n tai B:n palveluvalikoimaa korjauksen vaihtoehtona. Kriittisin etenemisaskel on 3D-skannaus- ja käänteissuunnittelukyvykkyyden varmistaminen, joko omana osaamisena tai alihankintana. Omana osaamisena tämä voi edellyttää investointeja ja juoksevia kuluja (ohjelmistolisenssit) jolloin uudelleenvalmistustoimeksiantoja tulisi olla myös odotettavissa investoinnin oikeuttaakseen. Luonteva etenemispolku voisikin olla aloittaa toiminta ostamalla skannaus-, suunnittelu-, ja mallinnustyöt alihankintana, kerryttää osaamista sekä markkinatuntemusta, ja hankkia kyvyt in-house jos kysyntä koetaan riittäväksi.

5.7 Malli F: Elinkaaridataa tarjoava korjauspalvelu

Korjauspalveluun integroidaan dokumentoitu ympäristövaikutusten elinkaarilaskenta (LCA-laskenta), jolloin asiakas saa korjatun osan mukana raportin, joka kvantifioi korjauksella saavutetut ympäristöhyödyt verrattuna uuteen osaan. Malli ei ole itsenäinen palvelukonsepti vaan lisäarvokerros, joka rakennetaan minkä tahansa edellä kuvatun mallin (A–E) päälle.

Mallin perusteena on suuryritysten kasvava tarve dokumentoida toimitusketjunsä ympäristövaikutuksia (CSRD) ja esittää todisteita markkinoinnissa käytetyille ympäristöväitteille (Green claims directive). Tällöin suuryritysasiakkaalla on suora intressi ostaa palvelu toimijalta joka kykenee kvantifioimaan palvelunsa ympäristövaikutuksia ja materiaalivirtoja. Kevyempi ympäristövaikutusten laskenta voi myös palvella markkinointityökaluna.

Arvon luonti

Kestävyyssraportointivelvollinen suuryritys tarvitsee toimitusketjunsä ympäristövaikutustietoa. Tällaiselle asiakkaalle raportointikelpoinen data CO₂-ekvivalenteista päästöistä, tai luonnonvarojen ja energian kulutuksesta voi olla etu palveluntarjoajaa valitessa. Kasuvat vastuullisuusvaatimukset voivat myös pakottaa yrityksiä etsimään korjauspalvelua uuden osan sijaan, jolloin kyky todentaa ja kvantifioida korjauksen ympäristövaikutukset verrattuna uuteen osaan voi olla suora valintaperuste asiakkaalle.



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 38(47)
--	---	--	------------------------

Edellytykset ja taloudellinen arvio

Merkittävin edellytys on tietenkin LCA-laskentakyky. Hankkeessa kehitetty laskentatyökalu on toimiva verrannollisen ympäristöhyödyn osoittamiseen esimerkiksi päätöksenteon tueksi, mutta vaatii yrityskohtaista mukauttamista tuottaakseen raportointikelpoista dataa.

Vaatimukset laskennalle riippuvat siitä mihin Kappaleessa 3.3 selostettuun raportointivelvollisuuteen laskennalla halutaan vastata. Varsinaista ISO 14044 -standardin tai PEF:n mukaista LCA-laskentaa ei vielä edellytetä kovin monessa kohteessa, ja tällainen kyvykkyys onkin kallis. Pelkät ohjelmistot ja tietokannat voivat maksaa noin 10 000 € vuodessa puhumattakaan erillisen osaajan palkkaamisesta. Hankkeessa kehitetty työkalu toimii rajatussa kapasiteetissa, ja itse laajennettuna kattamaan ilmastovaikutukset päästökertoimien avulla, voi olla avuksi esimerkiksi CSRD:n mukaisessa raportoinnissa. Täysi arvo asiakkaalle etenkin Green Claims Directiven myötä saadaan ISO-standardin tai PEF:n mukaisella laskennalla, joka käytännössä vaatii soveltuvan ohjelmiston ja täten merkittävän lisäkulun.

Hankkeen yrityskysely osoittaa, että näkemykset ympäristölaskennan liiketoimintahyödyistä jakautuvat tasan: puolet vastaajista näkee hyödyn, puolet ei. Tämä viittaa siihen, ettei kyseessä ole vielä yleisesti tunnustettu tarve, vaan kehittyvä markkina. Mallin tuottopotentiaali on siis nykytilanteessa epävarma ja edellyttäisi huolellisen markkinaselvityksen. Kannattavuus toisaalta voi kasvaa runsaastikin sitä mukaa kun CSRD-raportointivelvoitteet laajenevat ja vihreiden hankintakriteerien käyttö yleistyy.

Riskit ja haasteet

Jos vastuullisuusvaatimukset eivät materialisoidu lähivuosina, investointi prosessin rakentamiseen voi olla ennen aikainen. LCA-laskennan käyttöönotto ei myöskään ole kyllä/ei valinta vaan spektri erilaisia laajuuksia, jotka vastaavat eri asiakaskuntien tarpeisiin. Kysyntä tulisi siis tunnistaa paitsi korjausteknisesti myös asiakkaan kokoluokan, toimialueen ja raportointivelvollisuuksien kannalta.

Etenemispolku

Laskennan käyttöönottoon on monta eri polkua. Malli voidaan rakentaa kaikkien aiempien mallien päälle lisäarvokerroksena. Edellytyksenä on arvio siitä, minkä laajuiselle LCA-laskennalle kysyntä ja tuottopotentiaali on paras suhteessa investointiin. Tiekartan laatiminen LCA:n käyttöönottoon vaatii myös ajantasaisen tiedon regulaation kehityssuunnasta.



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 39(47)
--	---	--	------------------------

Eteneminen tämän jälkeen riippuu valitusta laskennan tasosta. Yksinkertainen energia- materiaali- ja hiilidioksidipäästölaskenta on yksinkertaista ottaa käyttöön hankkeessa kehitetyn laskurin pohjalta, ja toimii markkinointityökaluna. Syvällisempi laskenta taas edellyttää uusien asiakkuuksien muodostamista kyvykkyyden pohjalta maksaakseen investoinnin takaisin.



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 40(47)
--	---	--	------------------------

6. Kustannusrakenne

DED-laitteiston hankintaa harkitseva tulee kohtaamaan hyvin laajan kattauksen kustannusarvioita. Tässä osiossa pyritään antamaan erilaisiin skenaarioihin sopivia kustannusarvioita itse laitteistolle. Muu infrastruktuuri on jätetty arvioista pois tapauskohtaisuuden vuoksi.

6.1 Tee-se-itse

Kuten aiemmin todettua, DED-järjestelmät jakavat paljon DNA:ta hitsausrobottien ja CNC-koneiden kanssa. Etenkin DED-Arc on yksinkertaisimmillaan käytännössä MIG/MAG-hitsausrobotti jonka suurin ero on monimutkaisemmassa ohjauksessa. DED-Arc menetelmän kiinnostus perustuu pitkälti hyvin tunnettuun ja monilta yrityksiltä valmiiksi löytyvään hitsausrobottiin. Robotin muunnos voi olla hyvinkin yksinkertaista, riippuen siitä kuinka korkeat suorituskykyvaatimukset ovat. Tässä osiossa käydään läpi DED-Arc ja DED-LB tekniikoilla toteutettujen tee-se-itse DED-järjestelmien komponentit ja niiden kustannusarviot.

DED-Arc

Lähtökohtaisesti mikä vain robotti ja virtalähde toimii, mutta jos mahdollista tulisi suosia edistyneempiä virtalähteitä jotka mahdollistavat paremman prosessin hallinnan ja matalamman lämmöntuonnin. DED-Arc järjestelmien parissa suosittu virtalähde on Fronius CMT (cold metal transfer) jonka lämmöntuonti on huomattavasti perinteistä pienempi. Lämmöntuonnin madaltaminen on etenkin massiivisia osia rakentaessa tärkeää, sillä se vähentää vääntymien riskiä ja jäähtymistaukoihin kuluva aikaa, parantaen laitteen tuottavuutta. Mikäli virtalähde pitää vaihtaa esim. CMT:hen, voi tähän varata lähes 10 000€.

Käytännössä pakollinen hankinta on myös CAM-ohjelma 3-ulotteisten työkaluratojen luomiseen, eli niinsanottu slicer. DED-käyttöön suunniteltuja ohjelmistoja, jotka toimivat useimpien robottien ohjainten kanssa, on markkinoilla saatavilla muutamia erilaisia, esimerkiksi hankkeen työpajassakin demonstroitu ADAXIS, tai AIBUILD, jotka tuottavat suoraan robotin ymmärtämää koodia, rajattuna yleisimpiin robottivalmistajiin. Jotkin DED-laitevalmistajat ovat myös valmiita myymään kehittämänsä CAM-ohjelman erikseen. Tähän lisenssihankintaan voi nyrkkisääntönä varata jopa 10 000€ vuodessa.



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 41(47)
--	---	--	------------------------

Vaihtoehto kaupalliselle ohjelmalle, jota eräs hankkeen työpajaan osallistunut yritys kertoi onnistuneesti kokeilleensa, on avoimen lähdekoodin tai muuten ilmaiseksi ladattavissa olevat muovin 3D-tulostukseen kehitetyt slicerit (Cura, PrusaSlicer jne.). Nämä ohjelmat tuottavat GCODE-tiedoston työkaluradoista, jonka voi muokata toimimaan hitsausrobotin kanssa. Teoriassa estettä tälle ei ole, mutta menetelmän vaatima manuaalinen säätö ja CAM-vaiheessa erot muovin ja metallin tulostuksessa huomioitaville seikoille tekevät siitä työlää ja runsasta kokeilua vaativan, eikä menetelmä sovellu välttämättä asiakastöihin.

DED-LB/Wire

Myös DED-LB -tekniikoita voidaan harkita tee-se-itse ratkaisuna. Yksinkertaisempi vaihtoehto on DED-LB/wire, tosin DED-LB/powder prosessi on myös toteutettavissa. Alla esitetään muutama eri lähestymistapa ja tarjouspyyntöihin perustuvia hinta-arvioita.

DED-LB/wire työstöpään voi ostaa kokonaisena, tai erillisinä komponentteina. Mikäli yritys omistaa laserhitsausrobotin, houkutteleva vaihtoehto voi olla ostaa pelkkä DED-LB/wire -käyttöön soveltuva optiikkapää, mieluiten koaksiaalinen eikä sivusyöttöinen (viitteeksi esim. Precitec CoAx Printer). Tämän kustannukseksi tulee noin 50 000-100 000 €, riippuen toivotusta varustelusta ja anturoinnista. Mikäli laserlähde ei ole omasta takaa, tulee tähän varata valmistusmaasta ja tehotasosta riippuen 10 000-100 000 €. Sopiva teho on noin 3-6 kW. Langansyötöltä vaaditaan korkeaa tarkkuutta ja suoruutta. Soveltuva laitteisto maksaa noin 10 000-20 000 €, sis. syöttö, oikaisu, ja vetopyörät. Slicer tarvitaan myös, ja samat ohjelmat tukevat usein useita DED-prosesseja, joten yllämainitut noin 10 000€/v ohjelmat toimivat myös tässä.

Vaihtoehtona on ostaa kokonainen DED-LB/wire työstöpää sisältäen laserin, jäähdyttimen, ja langansyötön (viitteeksi esim. Meltio Engine). Tällainen pää on mahdollista asentaa robottiin tai pystykaraiseen koneistuskeskukseen. Kustannus tälle ratkaisulle on 150 000-200 000 € tai enemmän. Hintaan saattaa kuulua valmistajasta riippuen myös slicer-ohjelma.

Viimeinen kustannuserä jota ei aina ehkä ajatella, on prosessiparametrien optimointi. 3-ulotteinen kerrostus sisältää paljon enemmän huomioitavia parametreja kuin 1- tai 2-ulotteinen hitsaus, ja vaatimukset prosessin hallinnalle ovat tarkemmat jotta saadaan haluttu geometria sekä mekaaniset ominaisuudet. Parametrit tulee käytännössä hakea jokaiselle itse rakennetulle kokoonpanolle erikseen, ja samat parametrit eivät välttämättä toimi joka geometrialle. Tämä voi edustaa suurinta kuluerää, mutta toisaalta se jakautuu pidemmälle aikavälille ja tuo organisaatiolle kokemusta.

Parametrit, integrointi, ja teknisen tuen puute ongelmatilanteissa ovat tämän lähestymisen taloudelliset kompastuskivet joissa nimellinen investointi saattaa helposti ylittyä. Tästä syystä kannattaa myös harkita valmista DED-laitepakettia.



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

6.2 Valmis paketti

Valmista avaimet-käteen DED-laitetta hankkiessa eteen tulee merkittävä määrä harkittavia ominaisuuksia. Kenties merkittävin on laitteen koko. Tähän vaikuttaa eniten tulostuspään/työstöpöydän kokoonpano (robotti vai pystykara-CNC, akselien määrä ja käsivarren liikeala), sekä toki solun tilavuus. Periaatteessa kappalekoko voi olla lähes rajoittamaton mikäli robottikäsivartta voidaan liikuttaa kiskolla. Kappalekoko korreloi melko hyvin laitteen koon ja hinnan kanssa. Nyökkisääntönä itse laitteen hankintahinta on tekniikasta riippumatta noin puolen miljoonan euron luokkaa, joka mainittiin niin palveluntarjoajan kuin laitejälleenmyyjän haastattelussa, ja myös kuten Taulukosta 6 käy ilmi.

Taulukko 6. Tarjouspyyntöihin perustuvia hinta-arvioita DED-Arc ja DED-LB/wire -laitteille, lähteestä (Pitkänen, 2021)

	Työstettävän kappaleen maksimikoko, mm	Laitteen hinta-arvio
Laite 1	Ø 900 x 700	983 000 €
Laite 2	10000 x 3900 x 1900	570 000 €
Laite 3	150 x 170 x 425	120 000 €
Laite 4	2500 x 1600 x 1800	440 000 €
Laite 5	1000 x 1000 x 1000 tai 2000 x 1000 x 1000	600 000 €
Laite 6	1500 x 1500 x 1800	306 000 €
Laite 7	Ei rajattu	150 000 €
Laite 8	Ø 400 x 600 tai Ø 720 x 450	636 000 €
Laite 9	4000 x 1600 x 1800	570 000 €
Laite 10	1630 x 760 x 813	308 000 €
Laite 11	Ø 730 x 450	450 000 €
Laite 12	1100 x 1400 x 1550	818 000 €
Laite 13	800 x 1200 x 1500	526 000 €

Taulukon 6 tiedot sisältävät tarjouspyyntöihin perustuvia hintoja DED-LB/wire ja DED-Arc laitteille (Pitkänen, 2021). DED-LB/powder -tekniikka vaatii keskimäärin joitain kymmeniä tuhansia euroja muita tekniikoita enemmän investointia, sillä jauheen syöttö ja käsittely vaatii omaa infrastruktuuriaan, sisältäen seulonta, varastointi, käsittelytila/kaappi, moottorimaski ja muut henkilösuojaimet.

Hankkeen haastattelujen perusteella merkittävin osakohtaista kustannusta ajava laitekohtainen tekijä on laitteen tuottavuus. DED-Arc menetelmällä kyetään teoreettisesti jopa 10 kg/h tuottavuuteen, mutta käytännössä tähän ei yllätä. DED-palveluntarjoajan haastattelun perusteella varsinkin suurissa osissa jäähtymistauot kerrosten välillä voivat viedä jopa puolet kerrostusajasta. Tuottavuus valokaariajalle, eli ajalle jolloin valokaari on



 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 43(47)
--	---	--	------------------------

päällä ja lankaa syötetään, on yleensä 3-7 kg/h, kun taas kokonaistuottavuus huomioiden jäähtymistauot on noin 1-5 kg/h, yleisemmin asettuen noin 2 kg/h tienoille.

Laserpohjaisilla menetelmillä käytännön tuottavuus jää alle kahteen kiloon tunnissa. Monilla kaupallisilla järjestelmilläkin tuottavuus on usein alle 1 kg/h. Toisaalta yksinkertaisilla esim. pyörähdysymmetrisillä geometrioilla voidaan hyödyntää nopeampaa EHLA-versiota DED-LB/powder -tekniikasta, jonka tuottavuus on jopa 1-2 kg/h (Wu ym., 2025). Laserpohjaisilla menetelmillä, etenkin EHLA:lla, lämmöntuonti on vähäistä eikä pitkiä jäähdytystaukoja yleensä tarvita.

Kolmas harkittava ominaisuus on anturointi ja laitteen älykkyys. Halvimmissa laitteissa slicer ohjaa laitetta "offline" tai "tyhmästi", eli antaa parametrit joita laite sokeasti seuraa. Ihanteellisesti laite osaisi lukea prosessia anturoinnin avulla, ja säätää parametreja itsenäisesti pysyäkseen hyvään lopputulokseen johtavien viitearvojen sisällä. Tätä kutsutaan prosessinseurannaksi (process monitoring). Monet kaupalliset DED-laitteet sisältävät jonkinasteista prosessinseurainta, esimerkiksi lämpötilan seuranta pyrometrilla tai sula-altaan videoseuranta. Seurannan avulla voidaan ehkäistä ja korjata virheitä prosessin aikana, ja valvoa geometrisen mittatarkkuuden toteutumista sekä lämmön kertymistä. (Shaaban ym., 2026)

Tee-se-itse ja valmiin paketin lähestymistapojen erot on tiivistetty Taulukossa 7.

Taulukko 7. Investoinnin, käyttökulujen, ja riskien sekä etujen vertailu hitsausrobotista muunnetun ja valmiina pakettina hankitun DED-laitteen välillä.

	Tee-se-itse (robotti valmiina)	Valmis paketti
Investointi	Matala (10 000- 50 000€ DED-Arc, >100 000€ DED-LB/wire)	Korkea (300 000 – 800 000€)
Pitkän aikavälin kulut	Keskitaso-korkea (CAM-ohjelmisto, kalibrointi ja parametrien säätö yrityksen ja erehdyksen kautta)	Matala-keskitaso (laitevalmistajan ohjelmistolisenssit tai huoltosopimus)
Riskit	Laitetta ei saada toimimaan käyttökohteen vaatimalla tasolla. Suuri riippuvuus operaattorin/järjestelmän rakentajan hiljaisesta tiedosta ja osaamisesta. Integraatio voi osoittautua haastavaksi ja kalliiksi. Tuki/takuu/huolto on jakautunut useille toimittajille.	Laitevalmistajan konkurssi, rahoituskustannukset. Jos suljettu ekosysteemi, materiaalivalikoima/prosessin säätömahdollisuudet rajattu.
Edut	Potentiaali kerryttää huomattava prosessiosaaminen. Matala investointi mahdollistaa epävarmemman liiketoimintamallin. Robotti voidaan palauttaa aiempaan tuotantokäyttöön. Helposti kustomoitavissa.	Tekninen tuki, dokumentaatio. Optimoidut parametrit. Nopea käyttöönotto. Kerrostuksen korkea laatu ja sen toistettavuus. Laitteen jälleenmyynnin mahdollisuus.



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 44(47)
--	---	--	------------------------

7. Jatkoselvitysehdotuksia

Tässä raportissa esitetyt liiketoimintamallit perustuvat hankkeen aikana toteutettuihin yrityshaastatteluihin ja -kyselyihin, työpajaan, LCA/LCC-laskentaan, sekä kirjallisuuteen. Aineisto antaa perustan liiketoimintamallien tunnistamiseen ja arviointiin, mutta joitain investointien ja strategian laatimisen kannalta oleellisia kysymyksiä jäi auki tai nousi esiin malleja suunniteltaessa. Monet selvitysaieheet voidaan rajata vastaamaan diplomi- tai opinnäytetyötä tai yrityksen itse teettämää selvitystä, tai niitä voidaan yhdistellä esimerkiksi teollisuuden ja tutkimuslaitoksen/yliopiston/ammattikorkeakoulun yhteishankkeeksi.

Markkinan ja kysynnän kartoitus

Hankkeen aineisto osoittaa, että DED-korjaukselle on kysyntää, mutta ei erittele mitkä arvonmuodostuksen kerrokset kiinnostavat mitään asiakasta eniten. Korjauksen kustannussäästöt, suorituskyvyn parantaminen, toimitusaika, ja dokumentoitu ympäristövaikutus painottuvat eri tavoin eri toimialoilla ja yrityksillä. Jatkoselvityksessä tulisi kartoittaa toimialoittain ensisijaiset DED-korjauksen arvon luonnin mekanismit, todennäköiset korjauskohteiden tyypit ja vuosittaiset volyymit, ja mikä on kilpailukykyisen hinnan ja läpimenoajan taso.

Tämä tieto on arvokasta mahdolliselle DED-palveluntarjoajalle, joka rakentaa liiketoimintamalliaan ja tekee investointipäätöksiä. Kysyntäkartoitus auttaa päättämään, kannattaako palveluntarjoajan kohdistaa palvelunsa tietyn teollisuudenalan tarpeisiin vai pyrkiä mahdollisimman laajaan asiakaskuntaan.

DED-tekniikoiden soveltuvuus eri toimialoille ja korjauskohteisiin

Eri DED-tekniikat eroavat toisistaan tarkkuudeltaan, kerrostusnopeudeltaan ja materiaalivalikoimaltaan. Lisäksi hankkeen LCA/LCC laskenta osoitti merkittäviä eroja tekniikoiden kustannusrakenteissa. Jos toimialakohtaiset vaatimukset ja tyyppikorjaukset selvitetään yllä mainitussa selvityksessä, luontainen jatko voisi olla selvittää mitkä DED-tekniikat soveltuvat parhaiten mille toimialoille ja korjaustyypeille.

Tämä kartoitus palvelisi suoraan laitteistoinvestointipäätöstä, jotta vastataan tunnistetun kohdeasiakassegmentin tarpeisiin, tai voidaan tehdä paras kompromissi monipuolisuuden ja kustannustehokkuuden välillä. Tekniikkavalinta määrittää pitkälti, millaisia korjauskohteita voidaan palvella ja millaisella kustannusrakenteella.



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 45(47)
--	---	--	------------------------

Kenttäkorjauksen potentiaali

Hankkeen yrityskysely tunnisti paikan päällä tehtävän korjauksen yhtenä haluttuna palvelumallina. Tämän raportin tarkastelu on keskittynyt konepajaolosuhteissa tapahtuvaan korjaukseen, jossa DED-laitteiston tarkkuusvaatimukset ja ympäristöolosuhteet ovat hallittavissa. Kenttäolosuhteissa toteutettava DED-korjaus laajentaisi palvelun soveltuvuutta erityisesti suuriin, vaikeasti liikuteltaviin laitteisiin ja osiin.

Jatkoselvityksessä tulisi kartoittaa, millaisia korjauskohteita ja -volyymeja olisi saatavilla, jos korjaus toteutettaisiin asiakkaan tiloissa. Samalla tulee selvittää, millaisia vaatimuksia näillä osilla on kerrostuksen laadulle ja jälkikäsitteilylle. Asiakkaan tiloissa korjaaminen todennäköisesti tarkoittaisi kompromisseja kerrostuksen laadussa ja/tai tarkkuudessa, sillä prosessi siirretään pois kalibroidusta ja hallitusta ympäristöstä.

Varaosien kysynnän kartoitus teollisuudessa

Malli E (vanhentuneiden osien uudelleenvalmistus) perustuu oletukseen, että teollisuudessa on merkittävää kysyntää varaosille, joita alkuperäinen valmistaja ei enää toimita. Hankkeen haastatteluissa tämä tilanne tunnistettiin anekdotaalisesti, mutta systemaattinen käsitys kysynnän laajuudesta puuttuu.

Jatkoselvityksessä tulisi kartoittaa varaosaongelman laajuus suomalaisessa teollisuudessa. Kuinka yleisiä ovat tilanteet, joissa kriittisen laitteen varaosaa ei ole saatavilla, millaisia kustannuksia tästä aiheutuu (mikä on korjauksen kannattava hintataso), ja onko tunnistettavissa jotain tyyppiosaa tai -toimialaa. Löydösten pohjalta olisi hyvä kartoittaa osia koskevaa mahdollista sertifiointia, ja miten DED:llä uudelleenvalmistettu osa voitaisiin sertifioida, etenkin jos geometria on muuttunut.

Tämä tieto on välttämätön arvioitaessa, onko varaosien uudelleenvalmistukselle riittävä markkinapohja itsenäisen liiketoimintamallin rakentamiseksi vai onko kyseessä satunnainen lisäpalvelu muun korjaustoiminnan rinnalla.



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 46(47)
--	---	--	------------------------

Lähteet

Barras, J., & Hauser, C. (2025). Accelerating Industrial Readiness in Directed Energy Deposition (DED). ASTM.

DIMECC oy. (2023). The 3D-Printed Pressure Vessel Withstood 111 Bars in the Tests – Exceeding Expectations Many Times Over. FAME - Finnish Additive Manufacturing Ecosystem. <https://fame3d.fi/article/the-3d-printed-pressure-vessel-withstood-111-bars-in-the-tests-exceeding-expectations-many-times-over/>

Directorate-general for Environment. (2023, maaliskuuta 22). Proposal for a Directive on green claims—Environment. European Union. https://environment.ec.europa.eu/publications/proposal-directive-green-claims_en

Directorate-general for Environment. (2026). Ecodesign for Sustainable Products Regulation—European Commission. European Union. https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy/ecodesign-sustainable-products-regulation_en

Euroopan kemikaalivirasto. (2014). Chromium VI compounds 100.239.176 | Obligations—ECHA CHEM. <https://chem.echa.europa.eu/100.239.176/obligations>

Euroopan komissio. (2023). Directive on repair of goods—European Commission. https://commission.europa.eu/law/law-topic/consumer-protection-law/directive-repair-goods_en

Euroopan Unionin Green Forum. (2026). Green Public Procurement. European Union. https://green-forum.ec.europa.eu/green-business/green-public-procurement_en

European Commission. (2024). PEF Methd. https://green-forum.ec.europa.eu/green-business/environmental-footprint-methods/pef-method_en

European financial reporting advisory group. (2023). Sector agnostic standards (set 1 ESRS). <https://www.efrag.org/en/sustainability-reporting/esrs-workstreams/sector-agnostic-standards-set-1-esrs>

Fortum. (2024). Ydinvoimalaitoksen käyttöiän pidentäminen tarkoittaa mittavaa investointiohjelmää. Fortum. <https://www.fortum.com/fi/tietoa-meista/forthedoers-blogi/ydinvoimalaitoksen-kayttoian-pidentaminen-tarkoittaa-mittavaa-investointiohjelmää>

Foster, J., Cullen, C., Fitzpatrick, S., Payne, G., Hall, L., & Marashi, J. (2019). Remanufacture of hot forging tools and dies using laser metal deposition with powder and a hard-facing alloy Stellite 21®. Journal of Remanufacturing, 9(3), 189–203. <https://doi.org/10.1007/s13243-018-0063-9>



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 47(47)
--	---	--	------------------------

Gouveia, J. R., Pinto, S. M., Campos, S., Matos, J. R., Sobral, J., Esteves, S., & Oliveira, L. (2022). Life Cycle Assessment and Cost Analysis of Additive Manufacturing Repair Processes in the Mold Industry. *Sustainability*, 14(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/su14042105>

Hamilton, J. D., Sorondo, S., Li, B., Qin, H., & Rivero, I. V. (2023). Mechanical behavior of bimetallic stainless steel and gray cast iron repairs via directed energy deposition additive manufacturing. *Journal of Manufacturing Processes*, 85, 1197–1207. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2022.12.029>

Keshavarz, M. K., Gontcharov, A., Lowden, P., Chan, A., Kulkarni, D., & Brochu, M. (2021). Turbine Blade Tip Repair by Laser Directed Energy Deposition Additive Manufacturing Using a Rene 142–MERL 72 Powder Blend. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 5(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/jmmp5010021>

Porevopoulos, N., Tzimanis, K., Souflas, T., Bikas, H., Panagiotopoulou, V. C., & Stavropoulos, P. (2024). Decision support for repair with DED AM processes based on sustainability and techno-economical evaluation. *Procedia CIRP*, 57th CIRP Conference on Manufacturing Systems 2024 (CMS 2024), 130, 9–14. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.10.048>

Rabiey, M., Schiesser, P., & Maerchy, P. (2020). Direct Metal Deposition (DMD) for Tooling Repair of DIN 1.2343 Steel. *Procedia CIRP*, 20th CIRP CONFERENCE ON ELECTRO PHYSICAL AND CHEMICAL MACHINING, 95, 23–28. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.151>

Saboori, A., Aversa, A., Marchese, G., Biamino, S., Lombardi, M., & Fino, P. (2019). Application of Directed Energy Deposition-Based Additive Manufacturing in Repair. *Applied Sciences*, 9, 3316. <https://doi.org/10.3390/app9163316>

Shaaban, M., Al-Hamidi, Y., El-Borgi, S., & Krishnamoorthy, A. (2026). Machine learning-driven in situ defect monitoring and real-time process control in directed energy deposition: Techniques, challenges, and future prospects. *Materials Today Communications*, 51, 114767. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2026.114767>

Vehicle Emissions and Battery Durability (Euro 7): Technical Requirements and Certification Rules (2024). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/LSU/?uri=CELEX:32024R1257>

Vincic, J. (2024). Laser Directed Energy Deposition for Processing and Repairing Steels. <https://tesidottorato.depositolegale.it/handle/20.500.14242/71701>

Wu, Y., Tang, Y. T., Barras, J., & Shinjo, J. (2025). Understanding extreme high-speed laser material deposition: Characterisation, modelling and bonding mechanisms. *Surface and Coatings Technology*, 511, 132218. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2025.132218>



**Euroopan unionin
osarahoitama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**