

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 1(57)
--	---	--	-----------------------

Kunnostusliiketoiminta - Mahdollisuuksien ja haasteiden kartoittaminen liittyen suorakerrostusteknologiaan

Kalevi Vesterinen, Joonas Pekkarinen, Miikka Karhu, Teemu Haapala ja
Antti Nousiainen

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(57)
--	---	--	-----------------------



**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 3(57)
--	---	--	-----------------------

SISÄLLYSLUETTELO

1. Esipuhe.....	5
2. Johdanto	6
3. Uudelleenkäyttötavat.....	7
3.1. Uudelleenkäyttö (reuse).....	7
3.2. Kierrätys (recycling).....	8
3.3. Korjaus (repair).....	8
3.4. Ehostaminen (refurbishing).....	9
3.5. Tehdaskunnostus (remanufacturing)	9
4. Uudelleenkäyttö ja tuotteen elinkaari.....	10
5. Uudelleenkäyttöprosessi	11
5.1. Kannustimet uudelleen käyttöön.....	15
5.2. Miksi kunnostaa.....	16
5.3. Esteet.....	16
5.4. Riskit	17
5.5. Kunnostajien jaottelu	17
5.6. Runkojen hankinta.....	18
6. Mahdolliset lisäävän valmistuksen menetelmät metalliosien korjauksessa.....	19
6.1. Kunnostuksessa käytettyjä lisäävän valmistuksen menetelmiä.....	23
7. Lisäävän valmistuksen käyttö osien kunnostuksessa	33
8. Kunnostus eri teollisuusaloilla	34
8.1. Lentokoneala.....	36
8.2. Meriala	40
8.3. Autoala	40
8.4. Työkoneala.....	40
9. Esimerkkejä kunnostustoimintaa harrastavista suomalaisista yrityksistä	42
9.1. Koneosapalvelu	42
9.2. Kokkola LCC Oy	42
10. Lähteet.....	43
11. Suorakerrostuksella korjaaminen: materiaalitekniisiä ja materiaalteknikkaan liittyvä näkökohtia	47
11.1. Materiaalin tunnistaminen.....	47



**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(57)
--	---	--	-----------------------

11.2. Vauriomekanismit ja materiaalin valinta	48
11.3. Korroosio	48
11.4. Kuluminen	51
11.5. Murtuma	52
11.6. Vaihtoehtoiset materiaalit korjaamiseen	53
12. Lähteet.....	56



**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(57)
--	---	--	-----------------------

1. Esipuhe

Lukijalle

Tämä tekninen raportti on osa julkisten tietopakettien sarjaa, joka on tuotettu Metallituotteiden uusi elämä -hankkeessa (hankekoodi A80607) hankeen 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 Varsinais-Suomen 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 uudelleentalmistamiseen 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 6(57)
--	---	--	-----------------------

2. Johdanto

Luonnonvarojen käyttö on kasvanut niin suureksi, että sitä on rajoitettava. Luonnonvarojen käyttöä voidaan pienentää käyttämällä uudestaan tuotteiden osia ja materiaaleja. Toisaalta käytöstä poistuvien tuotteiden aiheuttama jätemäärän kasvu tuottaa ongelmia jätteen sijoituksessa sekä rasittaa osaltaan ympäristöä. Tämän vuoksi tuotteiden uudelleenkäytöstä on tultava normaalitoimintaa kaikilla aloilla, joilla tuotetaan fyysisiä tuotteita. Erityisesti tuotteiden, joiden osat ovat kalliita ja vaikeasti valmistettavia tai käytöstä poistuessaan ympäristöä kuormittavia, uusiokäyttö on tärkeää.

Uudelleenkäyttö on osa kiertotaloutta, jossa materiaalit kiertävät uudestaan käyttöön. Koska tuotteiden uudelleenkäyttö yleensä koskee kalliita monimutkaisia tuotteita, on uudelleenkäyttö kiertotalouden kannalta hyvin edullista. Uudelleenkäyttö myös mahdollistaa kriittisten materiaalien, joiden saatavuus on vaikeata, säästämisen ja niiden pitämiseen kierrossa.

Valmistajia tuotteiden uudelleenkäyttöön kannustaa myös markkinat ja lainsäädäntö. Useimmissa maissa on säädetty määräyksiä, jotka pakottavat maassa toimivien yritysten huomioimaan tuottamiensa tuotteiden uudelleenkäyttö koko tuotteen elinkaaren ajan. (Thieery ym. 1995)

Tuotteiden metalliosien uudelleenkäytössä on usein ratkaistava, miten korvataan osasta käytössä kulunut materiaali. Eräänä vaihtoehtona on muuttaa osan ja siihen liittyvän osan mitoitus siten, että kulunut osa voidaan käyttää uudestaan uusilla mitoilla (Koponen, O. 2017). Toinen mahdollisuus on korjata kulunut osa siten, että kuluneeseen osaan lisätään materiaalia siten, että korjattu osa on mitoitukseltaan vastaava uuden osan kanssa, jolloin korjattu osa on täysin vastaava tuotteen valmistuksessa käytettyjen uusien osien kanssa.

Aikaisemmin materiaalia on lisätty tavanomaisilla valmistusmenetelmillä kuten hitsaamalla. Uudet ainetta lisäävät valmistusmenetelmät tuovat uusia mahdollisuuksia kuluneiden osien korjaukseen. (Kanishka, K. ym. 2023,221)

Näin korjatut metalliosat täyttävät ja jopa joissain tapauksissa ylittävät uudet neitseellisistä materiaaleista tehtyjen uusien osien vaatimukset.

Tässä raportissa perehdytään erityisesti metalliosien uudelleenkäyttöön ja erityisesti metalliosien korjaamiseen uusilla valmistusmenetelmillä. Ensiksi tarkastellaan, millaisia uudelleenkäyttötapoja on olemassa ja mihin kohtaan osan elinkaarta ne liittyvät. Seuraavaksi esitellään uudelleenkäyttöprosessi ja millaisia päätöksiä prosessissa joudutaan tekemään. Uudet valmistusmenetelmät, joilla voidaan korjata metalliosia, esitellään lyhyesti. Kirjallisuustutkimusten perusteella kerrotaan menetelmien hyviä ja huonoja puolia ja minkälaisia osia menetelmillä on tähän mennessä korjattu. Lisäksi



**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 7(57)
--	---	--	-----------------------

käsitellään suorakerrostuksella korjaamiseen liittyviä materiaaalitekniisiä ja materiaaalitekniikkaan liittyvä näkökohtia.

3. Uudelleenkäyttötavat

Tuotteiden uudelleenkäyttömarkkinoilla käytetään vakiintuneita nimityksiä erilaisille tavoille käyttää tuote uudestaan (APRA Europe, 2012). Tavat eroavat siinä, missä laajuudessa tuotetta korjataan ja millainen takuu tuotteelle tämän jälkeen annetaan. Myös standardista ISO 8887-2:2023 Technical product documentation — Design for manufacturing, assembling, disassembling and end-of-life processing — Part 2: Vocabulary löytyy sanastoa ja käsitteitä tuotteen uudelleenkäytön tiimoilta.

Tuotteen uudelleenkäyttö voi tapahtua useammalla eri tavalla riippuen vanhan osan kunnosta ja mille markkinoille uudelleenkäytettävää osaa suunnitellaan tarjottavan. Yleisesti kierrätystavat jaetaan kirjoittajien mukaan 3–5 erilliseen tapaan. (Corum, A. 2022.; Thieery, M. ym. 1995.)

3.1. Uudelleenkäyttö (reuse)

Kun osa käytetään uudelleen, tuotteiden osia tai komponentteja käytetään uudestaan, joko alkuperäisessä käyttökohteessa tai jossain toisessa kohteessa, ilman että niitä mitenkään tarkemmin tarkistetaan tai korjataan. Osa mahdollisesti vain puhdistetaan ja tarkistetaan visuaalisesti ennen uusiokäyttöä.

Autoromuttamot, jotka tarjoavat autosta purettuja osia varaosiksi, ovat esimerkki tällaisesta toiminnasta. Romuttamo-osia ja -komponentteja käytetään yleensä varaosina vanhemmissa ajoneuvoissa, jolloin niiden jäljellä oleva käyttöikä yleensä riittää korjattavalle ajoneuvolle. Koska osan toiminta tarkastetaan yleensä vain visuaalisesti, on niiden käytössä yleensä jonkinlainen riski.

Joissain lähteissä samantapaista toimintaa nimitetään kannibalisoinniksi (Cannibalization). Tällöin tuotteesta puretaan uudelleenkäyttöön vain tietyt yleiskäyttöiset osat, jotka tarkastuksen jälkeen käytetään uudestaan. Jäljelle jääneet tuotteen osat päätyvät kierrätykseen. Koska purettu osat ovat yleiskäyttöisiä, voi tuote jonka valmistukseen purettuja osia käytetään, olla myös jokin muu kuin alkuperäinen tuote.



**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(57)
--	---	--	-----------------------

3.2. Kierrätys (recycling)

Kierrätyksessä käytöstä poistetun tuotteen materiaalit erotellaan toisistaan ja kerätään talteen ennalta sovitulla tavoilla ja käytetään materiaalina uusien tuotteiden osien valmistuksessa. Kierrätys on ainoa mahdollisuus, jos tuote on käytössä niin kulunut tai vaurioitunut, että sitä ei enää taloudellisesti pystytä korjaamaan.

Joissain tapauksissa tuotteen valmistaja saattaa kierrättää vanhat osat, vaikka ne olisivatkin korjaukelpoisia, jotta markkinoille ei päätyisi korjausyritysten tekemiä uusio-osia. Tavoitteena on tällöin turvata oma uusvaraosamyynä (Koponen, O. 2017). Yritykset, jotka voisivat korjata osan, eivät pysty tekemään uusiovaraosia, koska he eivät pysty hankkimaan runkoja (core), jotka ovat käytöstä poistetun tuotteen osia, joista korjaamalla uusiovaraosat tehdään. Valmistaja voi jopa hyvittää asiakasta, jos hän palauttaa vanhan osan, vaikka palautettu vanha osa romutetaan ja sen materiaalit kierrätetään.

Kierrätys ei ole niin ympäristöystävällistä, kuin muut uudelleenkäyttömenetelmät, koska kierrätyksessä menetetään tuotteen materiaalien ja osien valmistuksessa ja kuljetuksissa käytetty energia.

3.3. Korjaus (repair)

Korjauksessa tuotteen vialliset osat vaihdetaan tai korjataan toimiviksi. Korjauksessa vain tuotteen vika, mikä on havaittu, korjataan. Vika saattaa olla tuotteen toimintaan liittyvä tai se vain muuten haittaa tuotteen käyttöä. Tuotteen toimintaa ei testata laajasti, jolloin siihen saattaa jäädä vikoja, jotka myöhemmin aiheuttavat tuotteen toimimattomuuden.

Korjaukseen päädytään silloin, kun uutta varaosaa ei ole saatavissa halutussa aikataulussa tai sen hinta on niin korkea, että sitä ei kannata hankkia. Tuotteen erikoisosat, joita vain tuotteen valmistaja tekee, saattavat olla tällaisia. Erityisesti, jos tuote on jo vanhaa mallia, saattaa valmistajan mahdollisuudet ja halu tarjota sopivaa varaosaa olla hyvin pieni.

Tuotteen korjauksessa saatetaan käyttää tehdaskunnostettuja osia. Tuotteen korjauksessa käytetään vain minimimäärä resursseja tavoitteena vain se, että tuote saadaan toimintaan.

Ainetta lisäävän valmistuksen käyttö tällaisissa tilanteissa on listattu yhdeksi lisäävän valmistuksen mahdollisista käyttökohteista (Salmi, M. ym. 2018). Tällöin valmistaja tarjoaisi osan 3D-mallin osavalmistajan käyttöön osan valmistamiseksi varaosaksi. Korjauksessa yleensä on kiire saada tuote uudestaan käyttökuntoon, koska tuotetta ei voida käyttää rikkoutuneen osan takia. Jos tuotteen seisonta-aika aiheuttaa suuret kustannukset, ei varaosan hinnalla ole tällöin suurta merkitystä osan hankintaan.



**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(57)
--	---	--	-----------------------

3.4. Ehostaminen (refurbishing)

Kun tuote ehostetaan, korjataan tuote täyttämään vain haluttu laatutaso, joka yleensä on alempi kuin uuden tuotteen. Tuotteen toiminnot testataan ja vialliset osat ja komponentit joko korjataan tai vaihdetaan uusiin.

Esimerkiksi takuuna palautetut tai tuotannossa vahingoittuneet tuotteet saatetaan tällä tavoin saattaa alennettuun hintaan markkinoille tai johonkin muuhun käyttöön. Tällaisissa tuotteissa saatetaan sallia virheitä, jotka eivät haittaa tuotteen toimintaa mutta estävät sen myymisen uutena.

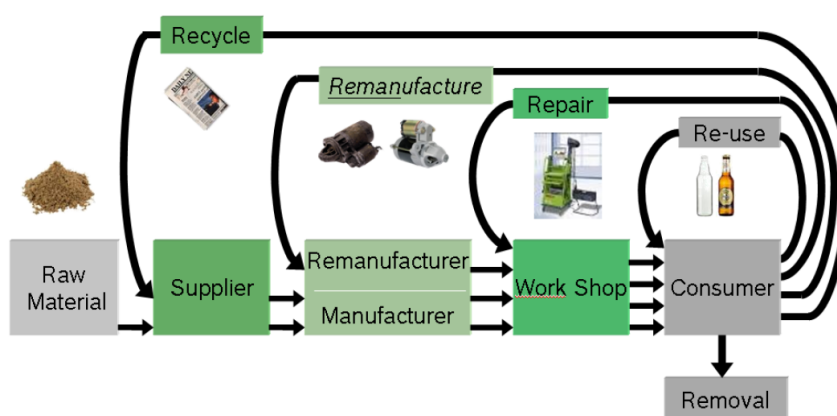
Joissain tapauksissa voidaan tuote päivittää uusilla osilla ja komponenteilla uusia tuotteita vastaaviksi. Ehostamista tehdään tuotteen alkuperäisen valmistajan tai kunnostamiseen erikoistuneen yrityksen toimesta.

Monasti ehostaminen on vain tuotteen ulkonäön virheiden korjaamista.

3.5. Tehdaskunnostus (remanufacturing)

Tehdaskunnostuksessa tuote puretaan osiinsa ja ne kaikki tarkastetaan. Vialliset osat joko vaihdetaan uusiin tai ne korjataan uutta osaa vastaavaksi. Tällöin tuote ja sen osat täyttävät samat laatuvaatimukset kuin uusista osista valmistettu tuote.

Tällaisia tehdaskunnostettuja osia voi joko käyttää suoraan uusien tuotteiden valmistuksessa tai varaosina. Tehdaskunnostuksessa voidaan myös tuote samalla päivittää vastaamaan uusia, sillä hetkellä valmistettavia tuotteita.



Kuva 1. Uudelleenkäyttötapoja (APRA Europe 2012)



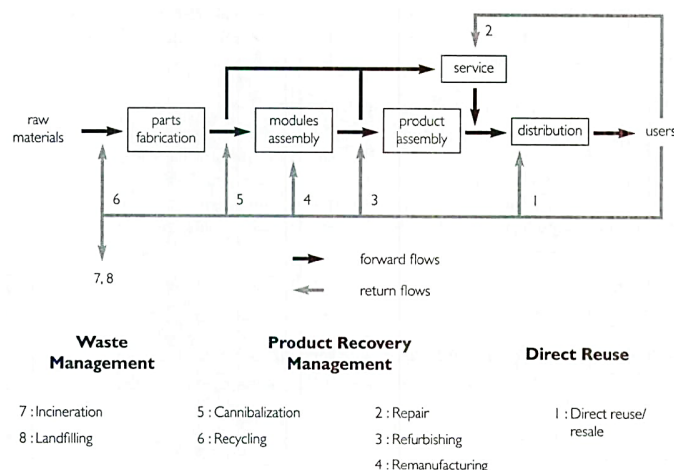
**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

4. Uudelleenkäyttö ja tuotteen elinkaari

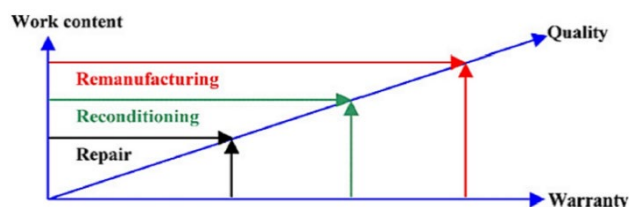
Uudelleenkäyttötavat liittyvät tuotteen elinkaaren vaiheisiin. Uudelleenkäytön tavaravirta kulkee eri suuntaan kuin valmistuksen tavaravirta. Kuvassa 2 esitetään, mihin kohtaa tuotteen valmistus- ja elinkaarta eri tavoin uudelleen käytettävät osat ja komponentit vaikuttavat. Mitä enemmän uudelleenkäytettävä osia korjataan, sitä pidemmälle tuotantoprosessin alkuun uudelleenkäytettävät osat kulkeutuvat.



Kuva 2. Uudelleenkäytön tavaravirrat (Thieery, M. ym. 1995)

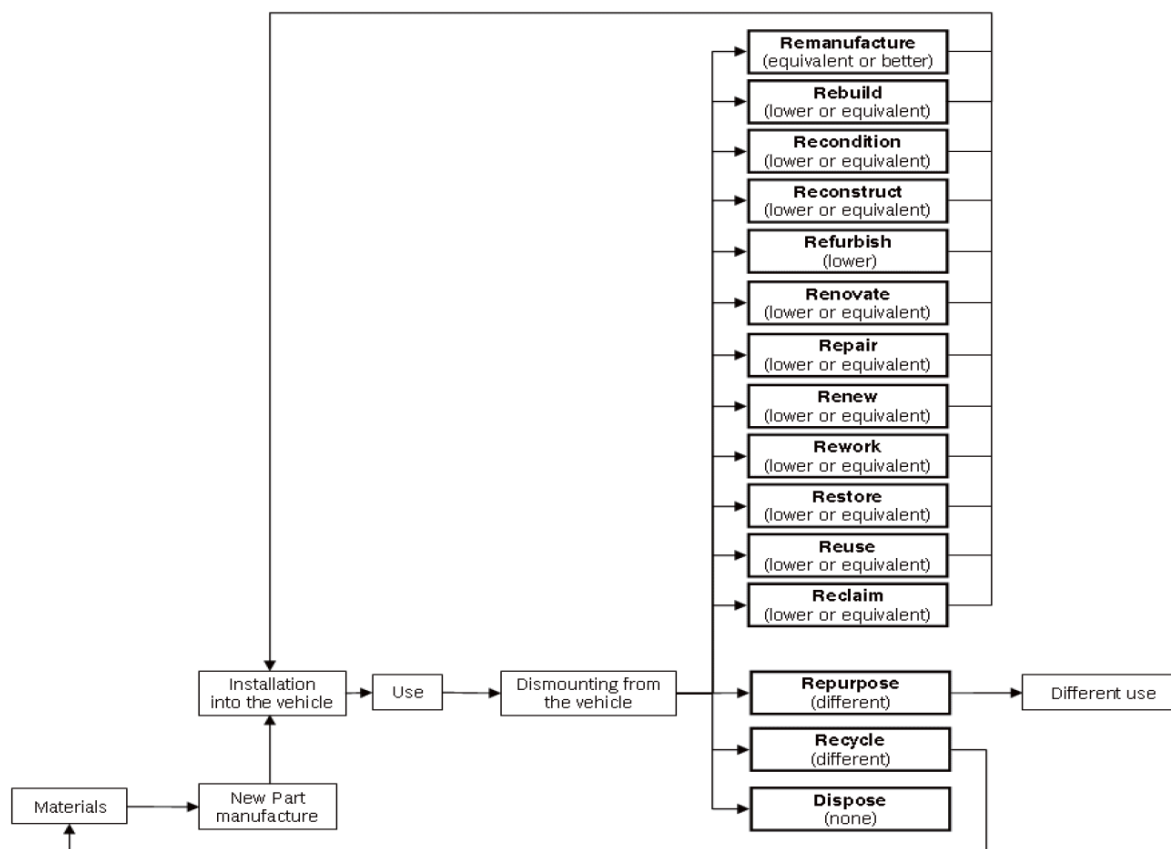
Jotta uudelleenkäyttö olisi tehokasta ja tuottavaa, on tuotteen valmistus ja jakelu suunniteltava uudestaan uudelleenkäytön vaatimuksia vastaavaksi. Suunniteltaessa on mietittävä, miten uudelleen käytettävät osat kerätään, missä niitä mahdollisesti korjataan ja kuka korjauksen tekee. Lisäksi on osoitettava selkeästi, kuka tekee päätöksen, voidaanko osa käyttää uudestaan. Toimintojen suunnittelua vaikeuttaa uudelleenkäytettävien osien tarjonnan ja kysynnän vaikea ennustettavuus.

Tapa, jolla tuotteita käytetään uudelleen, vaikuttaa myös siihen, millaisia vastuita tuotteen toiminnalle annetaan. Korjatulle tuotteelle annetaan yleensä takuu vain sille osalle, mikä on



Kuva 3. Uudelleenkäyttötapojen laatueroja (Ijomah, W.L.)

korjattu tai vaihdettu. Tehdaskunnostetun tuotteen takuu on sen sijaan sama kuin uudelle tuotteelle annettu. Tämä tarkoittaa sitä, että valmistajan käyttäessään tehdaskunnostettuja osia on niille tehtävä tarkkoja testejä, joilla voi varmistua, että osat täyttävät samat vaatimukset, joita uusille tuotteille annetaan. Se millaista laatutasoa kukin uudelleenkäyttötapa vastaa, riippuu teollisuudesta. Autoteollisuudessa eri tapojen laatukuvale on annettu määrittämiä esimerkiksi lähteessä ARPA Europe 2012 kuva 4.



Kuva 4. Kunnostetun osan laatutaso verrattuna uuteen (APRA Europe 2012)

5. Uudelleenkäyttöprosessi

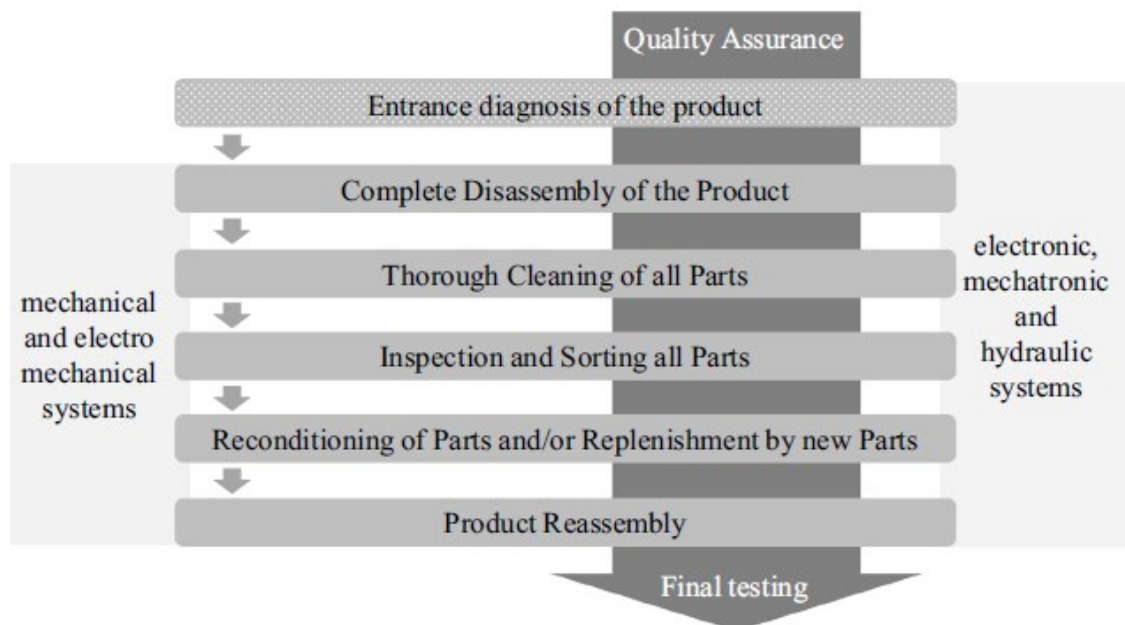
Uudelleenkäyttöprosessissa käytöstä poistetut tuotteen osat ja osien materiaali käytetään soveltuvin osin uudestaan. Prosessi voidaan jakaa vaiheisiin. Riippuen, miten tuote käytetään uudelleen, toteutuvat joko kaikki tai vain osa prosessin vaiheista. Prosessi voidaan jakaa kuudesta seitsemään eri vaiheeseen (kuva 5): tunnistaminen, purkaminen,



tarkistus, puhdistus, korjaus, kokoonpano ja testaus. Vaiheet eivät välttämättä aina toteudu tässä järjestyksessä. Vaiheet voivat esiintyä prosessissa myös useampaan kertaan. Esimerkiksi jonkin asteista puhdistusta tehdään jo ennen osien tarkastusta (Kuva 6). (Nwankpa, C. 2021, Butzer, S. & Schötz S. 2016)



Kuva 6, Uudelleenkäyttöprosessi (Nwankpa, C. 2021)



Kuva 7. Tuotteen uudelleen käytön vaiheet (Butzer, S. ym. 2016)

Palautettu tuote täytyy ensin tarkastaa ja tunnistaa, mikä tuotteessa on vikaantunut ja onko sen osat korjattavissa. Uudelleenkäytettäväksi hyväksytty tuote puretaan osiinsa. Jos tuotetta ei ole suunniteltu purettavaksi, saattaa tuotteen osille tällöin aiheutua vaurioita.

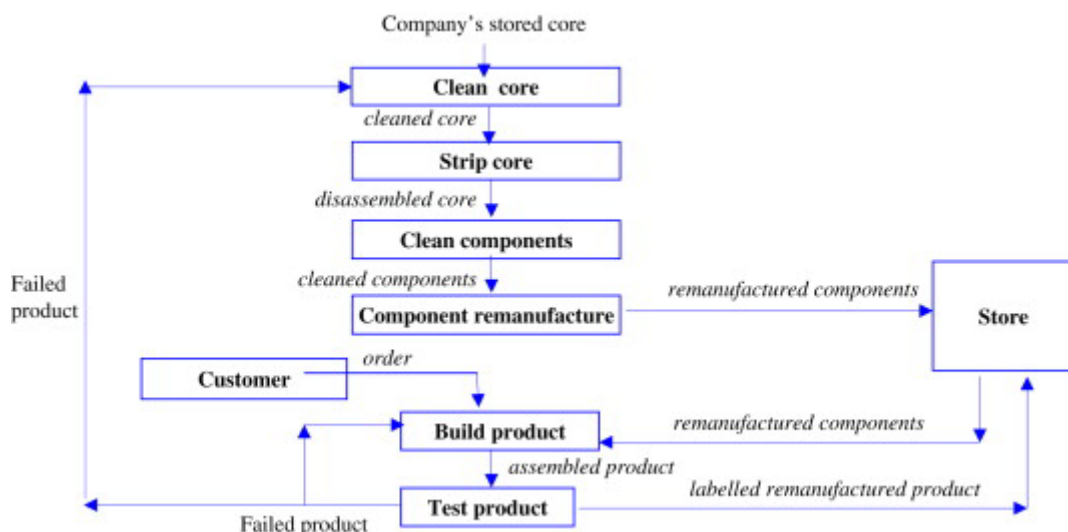
 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 13(57)
--	---	--	------------------------

Tässä vaiheessa edulliset osat kuten tiivisteet, ruuvit, mutterit, niitit ja muut pahasti vaurioituneet osat hylätään ja toimitetaan kierrätykseen.

Uudelleenkäytettävät osat puhdistetaan perusteellisesti, jonka jälkeen seuraa osien tarkastus. Osat tarkastetaan useammalla eri tavalla. Tarkastusta tehdään visuaalisesti, mittaamalla ja testaamalla osan toimintaa. Tarkastuksessa osat lajitellaan kolmeen eri ryhmään: hylättyihin osiin, joita ei voi käyttää uudelleen, osiin, joita voidaan käyttää korjaamatta ja osiin, jotka voidaan korjata.

Korjattaville osille sovelletaan sellaista korjausmenetelmää, mikä soveltuu tapaukseen parhaiten. Joissain tapauksissa se vain tarkoittaa osan kiillotusta, hiontaa tai lämpökäsittelyä. Kuluneemmissa osissa joudutaan jollain tavoin lisäämään niihin materiaalia, jotta osan geometriset mitat saadaan halutuiksi. Osien vaatimusten mukaan materiaalin lisäämisen jälkeen osien mitat ja muoto saatetaan halutuksi materiaalia poistavilla menetelmillä. Lopuksi tuote kootaan ja sen toiminnot testataan. Koska uudestaan valmistetut osat ja tuotteet testataan kaikki, saattaa uudestaan valmistettu tuote olla jopa laadukkaampi kuin uusi tuote. (Schlesinger, L. ym. 2022.)

Myös tuoteryhmä vaikuttaa uudelleenkäyttöprosessiin. Erilaisia uudelleenkäyttöprosesseja (Kuva 7.) erilaisille tuoteryhmille kuvataan lähteessä Butzer, S. & Schötz S. 2016.



Kuva 8. Uudelleenkäyttöprosessi (Ijomah, W.L.)

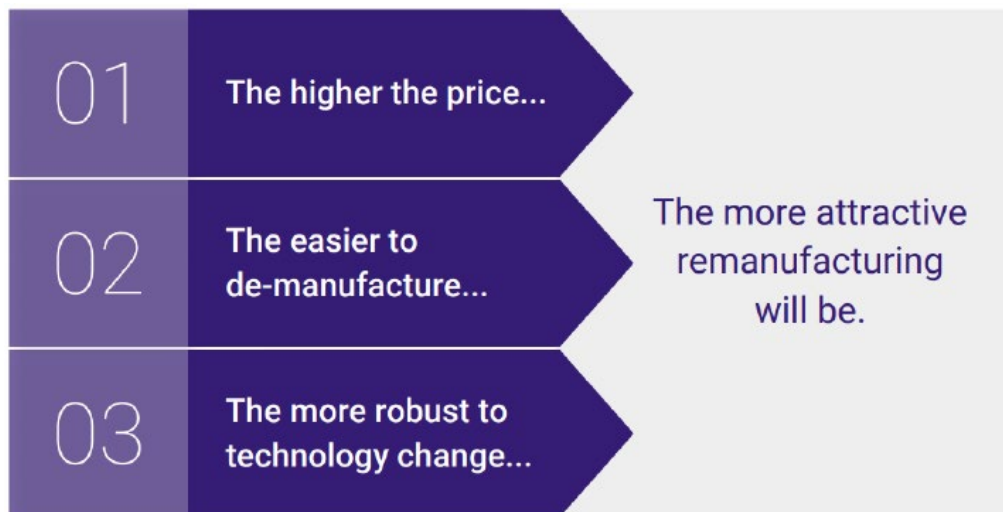
Tuotteiden tehdaskunnostus on yleistä monella alalla mutta erityisesti aloilla, joilla tuotteet ovat arvokkaita, kestäviä ja pitkäikäisiä (Kuva 8) on se yleistä liiketoimintaa (Waugh. R. 2019; Nabil, N. 2019). Lisäksi teknologian, jota tuotteissa käytetään, on oltava sellaista, että



 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 14(57)
--	---	--	----------------

tuotetta ja sen teknologiaa on kannattavaa jatkossa käyttää. Eli teknologia, jolla tuote toimii ei ole vanhentunut. (Nabil, N. 2019.)

Siihen, että onko tehdaskunnostus kannattavaa, vaikuttaa kuitenkin myös muut asiat kuten, miten tuotteet ovat levittäytyneet maantieteellisesti, kuinka helppoa on niiden saaminen kunnostukseen, kunnostuksen vaikeustaso, käytettävän teknologian taso ja miten se muuttuu, yrityksen kunnostamisen tietotaito ja lainsäädäntö. Tehdaskunnostustoiminta on myös yleisempää sellaisilla teollisuuden aloilla, joissa huoltosopimukset ovat tavallisia (Parker, D, 2015; Nabil, N. 2019).



Kuva 9. Milloin on kannattavaa kunnostaa tuote (Waugh. R. 2019)

Eniten kunnostusta tehdään sähkö-, tietotekniikka-, auto-, työkone- ja lentokonekonealalla toimivissa yrityksissä (Parker, D, 2015; Nabil, N. 2019).



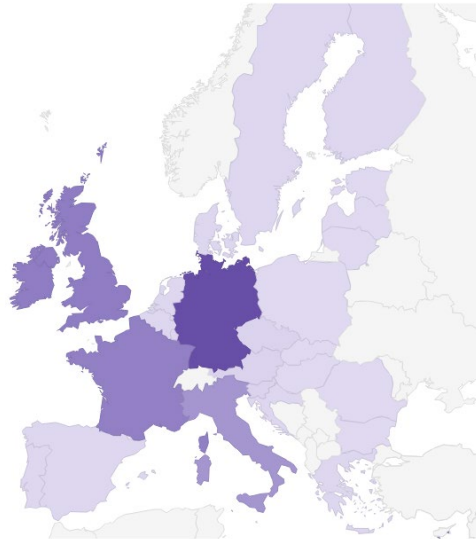
**Euroopan unionin
osarahoittama**



**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 15(57)
--	---	--	------------------------

Euroopassa kunnostus on keskittynyt muutamaan maahan erityisesti Saksa, Iso Britannia, Ranska ja Italia (Kuva 9) ovat maita, jossa toimii useita kunnostusalan yrityksiä (Waugh. R. 2019).



Kuva 10. Kunnostustoiminta Euroopassa (Waugh. R. 2019)

5.1. Kannustimet uudelleen käyttöön

Yhä enemmän maailman väestöstä elää kaupungeissa. Tämä lisää resurssien tarvetta ja nostaa niiden hintoja. Kierrätyksellä ja tuotteiden uudelleenkäytöllä voidaan tarvetta uusiin materiaaleihin pienentää ja riippuvuutta niiden toimittajista vähentää. Ilmastonmuutoksen aiheuttamat erikoiset sääilmiöt häiritsevät kansainvälisiä toimitusketjuja. Toimitusketjujen häiriöt aiheuttavat epävarmuutta kaupunkien kriittisiin toimintoihin ja siten heikentävät kaupunkiyhteiskuntien toimintaa. (Parker, D, 2015.)

Lisääntyvät kansainväliset sopimukset ja niihin perustuvat säännökset kuten esimerkiksi jätteidenkäsittelyyn liittyvät ovat ajureita, jotka kannustavat tuotteiden uudelleenkäyttöön. Tällaiset uudet kansainväliset sopimuksiin liittyvät säädökset nostavat jätteidenkäsittelyn kustannuksia. Tällöin eräs tapa vähentää kustannuksia on jätemäärän vähentäminen. Tuotteiden uudelleenkäyttö vähentää jättemateriaalin määrää. Tuotteiden uudelleenkäyttö onkin nähtävä myös tehokkaana tapana vähentää jätemäärää ja näin ympäristön kuormitusta. (Parker, D, 2015.)

Kuluttajat alkavat myös tiedostaa ympäristön ja sen suojelun. He haluavat myös, että se on otettu huomioon käyttämissään tuotteissa. Tuotteiden lyhytikäisyys mietityttää kuluttajia yhä



**Euroopan unionin
osarahoittama**

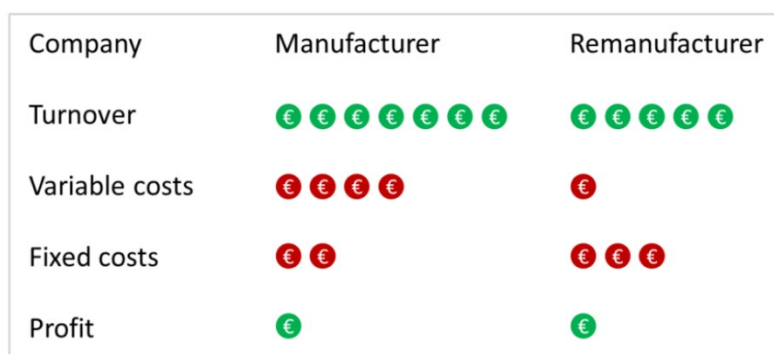


**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

enemmän. Esimerkiksi vaatimus tuotteiden helposta korjaamisesta on yhä yleisempi. On kuitenkin epävarmaa, suostuuko kuluttaja yleisesti maksamaan tuotteesta enemmän, jos sen uudelleenkäyttö on huomioitu sen valmistuksessa. (Parker, D, 2015.)

5.2. Miksi kunnostaa

Kunnostamisliiketoiminta on yleensä palvelutyypistä liiketoimintaa, jossa toiminnan kate on yleensä suurempi kuin valmistusliiketoiminnassa. Kunnostetut tuotteet ovat edullisempia. Lähteessä Parker, D. 2016 esitellyn yrityksille tehdyn kyselytutkimuksen mukaan tehdaskunnostetun tuotteen myyntihinta oli noin 41–80 % uuden tuotteen hinnasta. Tehdaskunnostetuilla tuotteilla on myös etuna nopeampi valmistusprosessi. Esimerkiksi materiaalien hankinta-ajat ovat lyhyempiä tehdaskunnostetussa tuotteessa. Kunnostusliiketoiminta tarjoa myös mahdollisuuksia siirtymiseen uudenlaiseen liiketoimintamalliin, jossa tuotteen valmistaja ei tarjoakaan tuotetta, vaan esimerkiksi vuokraa tuotteen tai tarjoaa tuotteen toimintoja palveluna.



Kuva 11. Liiketoiminnan eroja (Parker, D. 2016.)

5.3. Esteet

Vuonna 2015 eurooppalaisille kunnostajille tehdystä kyselystä kunnostajat mainitsivat erääksi kunnostamisen esteeksi tehdaskunnostamiseen tarvittavien tuotetietojen saatavuus alkuperäiseltä valmistajalta. Tuotetta koskevat lait ja määräykset eivät myöskään joissain tapauksissa vielä selvästi määritä, milloin tehdaskunnostettua osaa tai komponenttia voidaan käyttää. Myös tulli- ja muut tuotteiden kauppaan liittyvät säännökset saattavat estää



 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 17(57)
--	---	--	------------------------

kunnostettujen tuotteiden kannattavan kaupan. Kunnostuskohteen määrittäminen jätteenä myös hankaloittaa joissain tilanteissa kunnostusliiketoimintaa. (Parker, D, 2015.)

Edullisesti valmistetut vastaavat tuotteet "halpatuotteet" haittaavat myös kunnostusta. Tehdaskunnostaminen vaatii osaavaa työvoimaa, jolloin tällaisen työvoiman saatavuus rajoittaa myös kunnostustoimintaa. (Parker, D, 2015.)

Toimintaa hankaloittaa myös huonosti suunnitellut tuotteet, joissa esimerkiksi tuotteen purkamista osiinsa ei ole huomioitu.

Tekniikan nopea kehittyminen myös hankaloittaa kunnostajan toimintaa, koska kunnostajan täytyy osata uusi tekniikka, jotta kunnostus onnistuu (Parker, D, 2015). Uudet tuotteet myös sisältävät yhä enemmän sähkö- ja tietotekniikkaa, joka vaatii uutta osaamista myös kunnostajilta.

Kunnostaminen vaatii vastakkaissuuntaista logistiikkaa kuin vain valmistukseen perustuva liiketoiminta. Tällaisen logistiikan toteuttaminen vaatii työtä ja se lisää kunnostamisen kustannuksia. Runkojen tarjonta ja kunnostettujen tuotteiden kysyntä ei ole välttämättä samassa vaiheessa, joten runkoja eli tuotteita, jotka ovat menossa kunnostukseen on varastoitava ja joka lisää kustannuksia.

5.4. Riskit

Epävarmuus palautuvien runkojen määrästä ja laadusta on riski kunnostamistoiminnalle kannattavuudelle. Hankaluuksia toiminnalle aiheuttaa myös kunnostettujen osien kysynnän ja palautettavien runkojen tarjonnan tasapainotus. Myös epävarmuus siitä, minkä laatuista palautettavat rungot ovat, hankaloittaa kunnostustoimintaa.

5.5. Kunnostajien jaottelu

Toimijat, jotka toimivat uudelleenkäyttöalalla, voidaan jakaa kolmeen ryhmään. Tuotteen valmistajat (OEM, Original Equipment Manufacturer) tehdaskunnostavat omia tuotteitaan. Kunnostusprosessi voi olla osa normaalia valmistusta tai se voi olla oma prosessinsa. Kunnostettuja osia voidaan käyttää uusien tuotteiden valmistuksessa, vain kunnostettavissa tuotteissa tai niitä tarjotaan vain varaosamarkkinoille. Valmistajan tehdessä kunnostusta on kaikki osaan liittyvä tekninen tieto käytettävissä, joten tuotteen laatuaste korjauksen jälkeen vastaa valmistajan tuotteelle asettamia vaatimuksia. (Sundin ym. 2016.)

Sopimuskunnostajat (CR, Contracted Remanufactures) ovat yhtiöitä, jotka kunnostavat tuotteita tuotteen valmistajan kanssa tehdyn sopimuksen perusteella. Valmistaja ostaa kunnostuksen palveluna sopimuskunnostajalta ja voi näin tarjota asiakkailleen kunnostettuja



**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 18(57)
--	---	--	------------------------

tuotteita. Koska kunnostajalla on sopimus kunnostuksesta valmistajan kanssa, on kunnostukseen ja testaukseen tarvittavaa tietoa mahdollista saada tuotteen valmistajalta. (Sundin ym. 2016.)

Riippumattomat kunnostajat (IR, Independent Remanufacturers) kunnostavat tuotteita vailla yhteyttä valmistajaan. Riippumattomat kunnostajat hankkivat rungot markkinoilta ja saattavat jopa joskus kilpailla niistä tuotteen valmistajan kanssa. He joutuvat myös hankkimaan tarvittavat varaosat tuotteen valmistajalta. Kunnostuksen maksaja on yleensä tällöin tuotteen viimeinen käyttäjä. Riippumattomalla kunnostajalla ei välttämättä ole sellaisia yhteyksiä tuotteen valmistajaan, että kunnostajalla olisi täydelliset tiedot tuotteen osien kunnostamisesta ja testauksesta. (Sundin ym. 2016.)

5.6. Runkojen hankinta

Kunnostettavia tuotteita, jotka ovat kunnostusprosessin materiaalia kutsutaan rungoiksi (core). Kunnostettavat tuotteet on jollain tavoin kerättävä ja saatettava kunnostajien käyttöön. Lähteessä Sundin, E. ym. 2016 mainitaan seitsemän erilaista tapaa hankkia runkoja kunnostukseen (Kuva 11).

1. Omistamiseen perustuvassa tavassa tuotteen omistaa sen valmistaja, joka on antanut tuotteen käyttäjälle käyttöön vuokrauksen, osamaksun tai muun sopimuksen avulla.
2. Huoltosopimukseen perustuvassa tavassa tuotteen käyttäjä omistaa tuotteen mutta on tehnyt huoltosopimuksen, johon sisältyy tuotteen tehdaskunnostus.
3. Tilaukseen perustuvassa tavassa käyttäjä toimittaa rungon kunnostajalle, joka kunnostaa tuotteen ja palauttaa tuotteen asiakkaalle. Kunnostus tehdään, jos se on mahdollista.
4. Talletukseen perustuvassa tavassa ostajan ostaessa tehdaskunnostetun tuotteen hän samalla sitoutuu palauttamaan samanlaisen tuotteen kunnostettavaksi.
5. Palkkioperustainen asiakas saa palkkion palauttaessaan kunnostettavaksi tuotteen. Palkkion asiakas voi käyttää hyödykseen hankkiessaan kunnostetun tuotteen.
6. Takaisinostotavassa kunnostaja ostaa rungon viimeiseltä käyttäjältä tai siltä, jolle käytöstä poistettu tuote on joutunut.

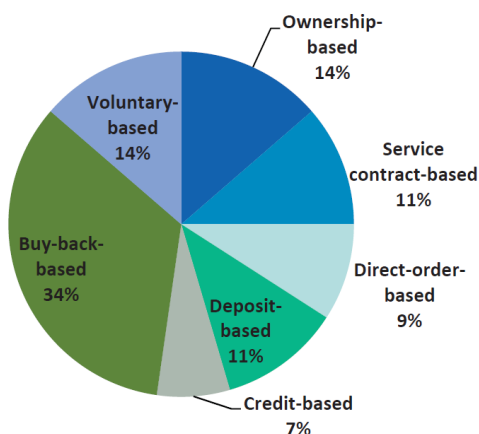


**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

7. Vapaehtoisessa luovutuksessa kunnostaja saa rungot käyttöönsä niiden haltijalta. Haltija voi olla kunnostajan asiakas mutta tarvitse olla.



Kuva 12. Miten hankitaan rungot, (Sundin, E. ym. 2016.)

Lähteessä Sundin, E. ym. 2016 on haastateltu 30 kunnostusta tekevää eurooppalaista yritystä. Yrityksiä oli etupäässä hankkeessa mukana olevien osakkaiden kotimaista. Tutkimuksessa yrityksiä oli Isosta-Britanniasta, Alankomaista, Tanskasta, Saksasta ja Ruotsista. Tämän tutkimuksen mukaan kunnostajat yhdistelevät eri tapoja runkojen hankinnassa. Yleisin tapa hankkia runkoja on ostaa niitä loppukäyttäjiltä, välittäjiltä tai romuttamoilta. Toiseksi yleisin tapa hankkia runkoja oli vuokra- tai huoltosopimukseen perustuen. Näiden jälkeen yleisin tapa oli vapaaehtoinen luovutus.

6. Mahdolliset lisäävän valmistuksen menetelmät metalliosien korjauksessa

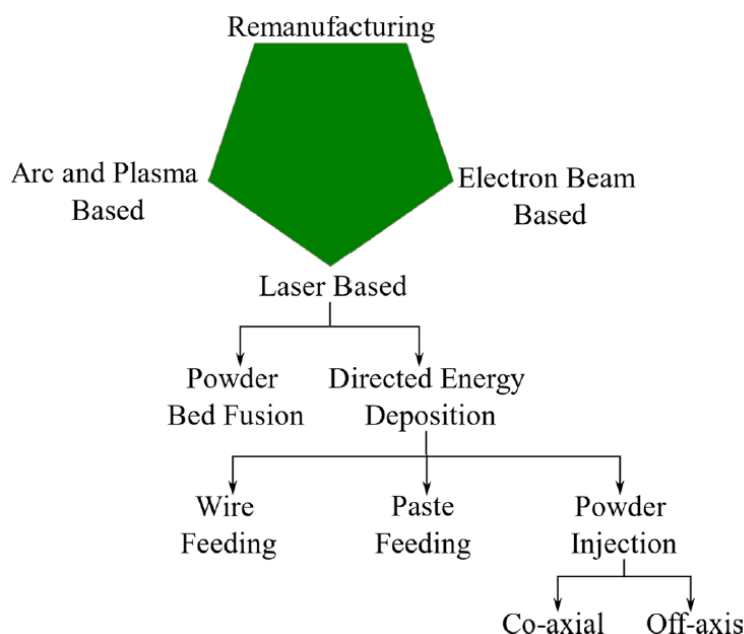
Aikaisemmin metalliosia korjattiin käsin hitsaamalla, metalliruiskutuksella ja koneistamalla. Pääasiallinen menetelmä korjata kulunutta osaa on ollut käsin hitsaus ja hitsauksen jälkeinen koneistus (Kanishka, K. ym. 2023, Eiamsa-ard, K ym. 2005). Tällainen korjaus vaatii osaavia tekijöitä. Lisäksi hitsauksen aiheuttamat materiaali- ja mittamuutokset saattavat vaikuttaa osan käytettävyyteen korjauksen jälkeen.



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**



Kuva 13. Osien kunnostuksessa käytettäviä laseriin pohjautuvia lisäävän valmistuksen menetelmiä. (Shrivastava, A. 2021.)



Kuva 14. Lisäävän valmistuksen käytön kehitys (Rahito ym. 2019.)

Yhä enemmän on lisäävän valmistuksen menetelmiä (Kuva 12) otettu käyttöön osien korjauksessa. Lisäävän valmistuksen käytön osuus tuotteen elinkaaresta yhä suurempi. Ennen vain tuotteen suunnittelussa käytettyä menetelmää käytetään yhä enemmän tuotteen valmistuksessa sekä sen kunnostuksessa (Kuva 13). (Rahito ym. 2019.)

On huomattu, että lisäävän valmistuksen käyttö osien korjauksessa on tehokasta silloin, jos jo osan suunnittelussa on otettu huomioon osan uudelleenkäyttö ja sen korjaus. (Schlesinger, L. ym. 2022). Tämän vuoksi on laadittu suunnittelusääntöjä "Design for Additive Remanufacturing" (DfAdRem), joiden avulla osan mahdollinen uudelleenkäyttö lisäävän valmistuksen avulla otetaan huomioon jo osan suunnitteluvaiheessa (Schlesinger, L. ym. 2022). Tällaiset suunnittelusäännöt koostuvat lisäävän valmistuksen ja kunnostuksen suunnittelusääntöjen yhdistelmästä.

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 21(57)
--	---	--	------------------------

On myös valmisteilla kansainvälinen standardi ISO 8887-3 Technical product documentation — Design for manufacturing, assembling, disassembling and end-of-life processing Part 3: Selection of an appropriate end-of-life design strategy, jossa annetaan neuvoja tuotteen ja sen osien suunnittelemiseksi uudelleenkäyttöä suosivaksi. Rajoituksia lisäävän valmistuksen käyttöön osien kunnostuksessa asettavat menetelmän mittatarkkuus, saavutettava pinnanlaatu ja pitkä tuotantoaika (Kanishka, K. ym. 2023).

Kunnostuksessa käytettävän lisäävän valmistuksen menetelmän valintaan vaikuttaa esimerkiksi kappaleen materiaali, monimutkaisuus ja koko sekä tarvittava pinnanlaatu ja jälkikäsittelyn tarve (Kuva 15). Myös menetelmän saatavuus rajoittaa valintaa.

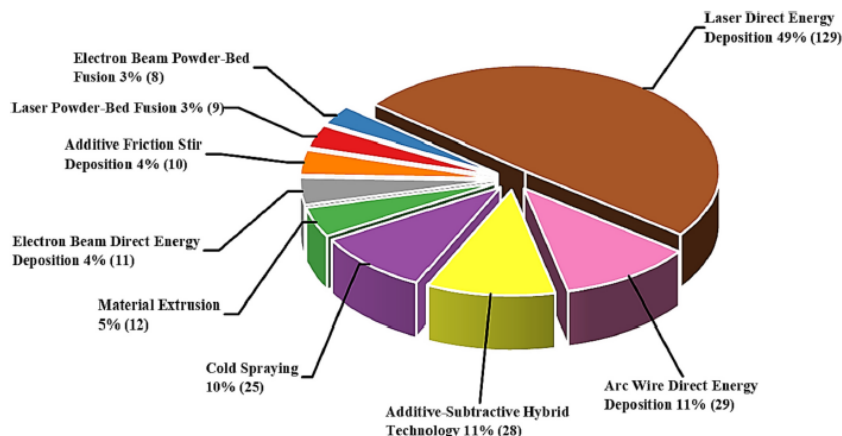
Tutkituin menetelmä oli laser direct energy deposition (LDED), jota käytetään mukaan 49 prosentissa lähteessä Kanishka, K. 2023 tutkituista julkaisuista. Seuraavaksi eniten artikkeleita oli julkaistu WAAM ja hybridi menetelmistä (Kuva 14). (Kanishka, K. ym. 2023.)



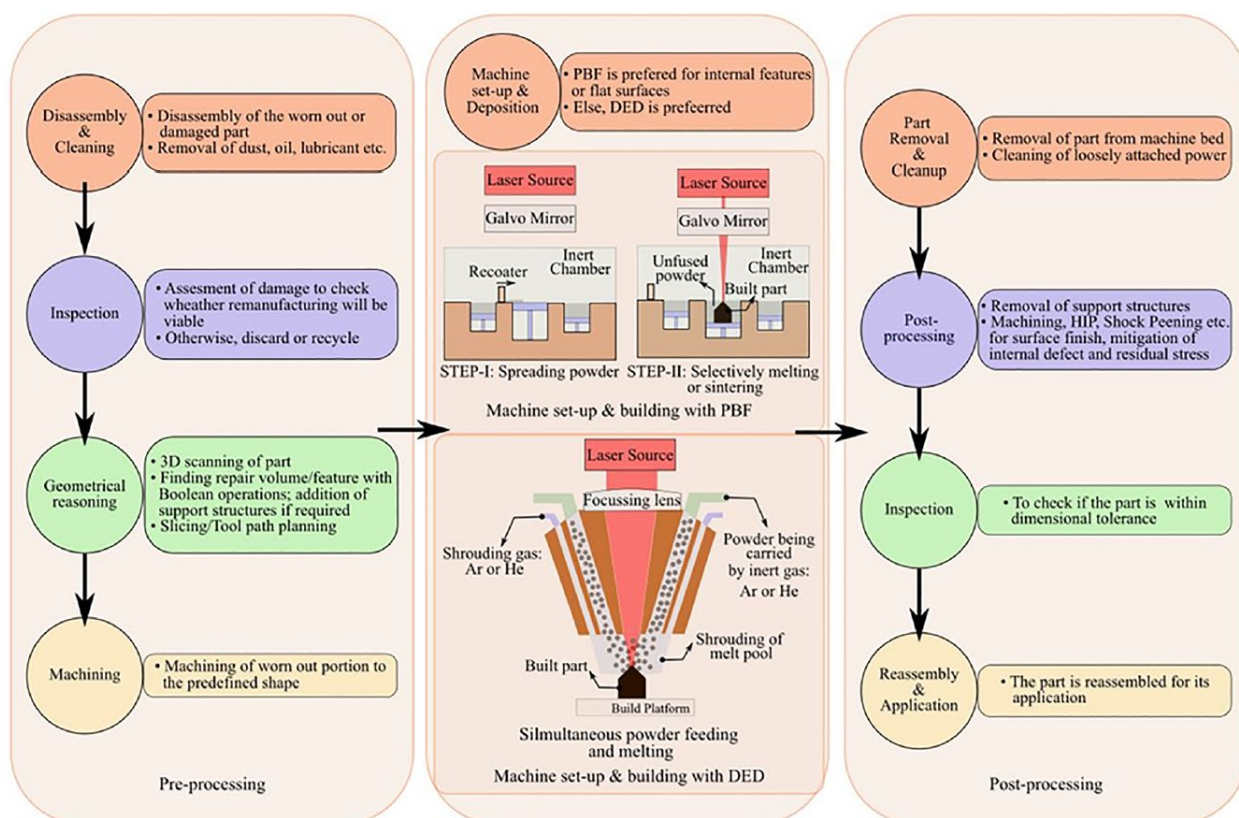
**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**



Kuva 15. Eri lisäävän valmistuksen menetelmien liittyvät tutkimusartikkeleiden suhteellinen osuus lähteen mukaan. (Kanishka, K. 2023.)

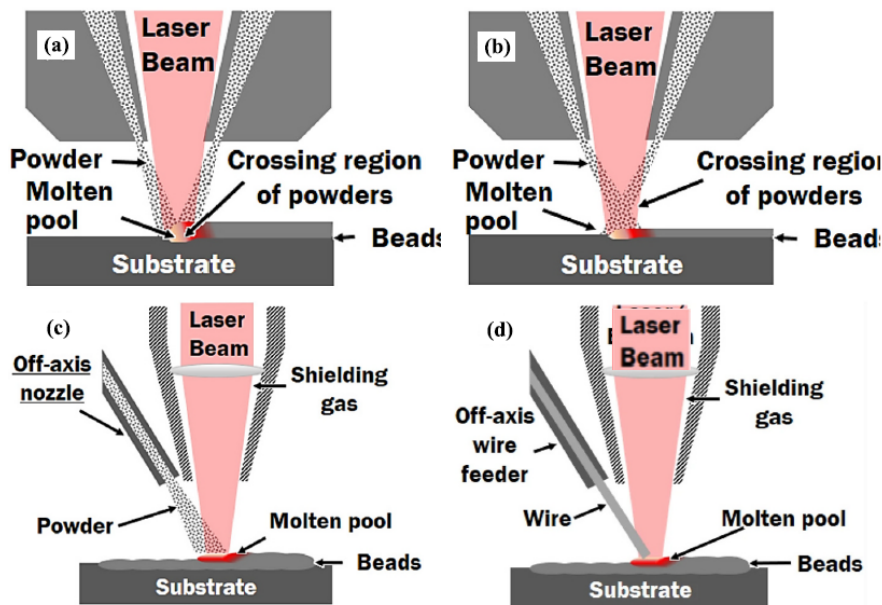


Kuva 16. Korjausprosessi lisäävän valmistuksen avulla (Shrivastava, A. ym. 2021.)

6.1. Kunnostuksessa käytettyjä lisäävän valmistuksen menetelmiä

Suorakerrostus (Directed Energy Deposition, DED), on lisäävän valmistuksen menetelmä, jossa lisäainetta joko jauheena tai lankana syötetään kohtaan, johon samalla kohdistetaan lämpöenergiaa. Lisäaineen tällöin sulaessa tai sintraantuessa kiinnittyy kappaleen pinnalle materiaalikerros (Kanishka, K. ym. 2023). Jos energianlähteenä käytetään laseria, käytetään menetelmälle lyhennettä LDED (Laser direct energy deposition).

Riippuen siitä, missä muodossa ja miten lisäaine tuodaan laseripisteeseen, on menetelmillä eri nimityksiä. LENS (Laser Engineered Net Shaping), on lisäävän valmistuksen menetelmä, jossa lisäaine tuodaan laserin muodostamaan sulaan, pulverina (kuva 16, kohta a). WLAM-menetelmässä (Wire Laser Additive Manufacturing) lisäaineena käytetään lankaa (kuva 16, kohta d). Kummassakin menetelmässä muodostetaan materiaalikerroksia vierekkäin tuotetuista viivamaisista materiaaliharjanteista. Kerroksia tehdään tarvittava määrä kappaleen muodostamiseksi. (Kanishka, K. ym. 2023.)



Kuva 17. Materiaalin syöttötapoja laseriin pohjautuvissa lisäävän valmistuksen menetelmissä (Kanishka, K. ym. 2023.)

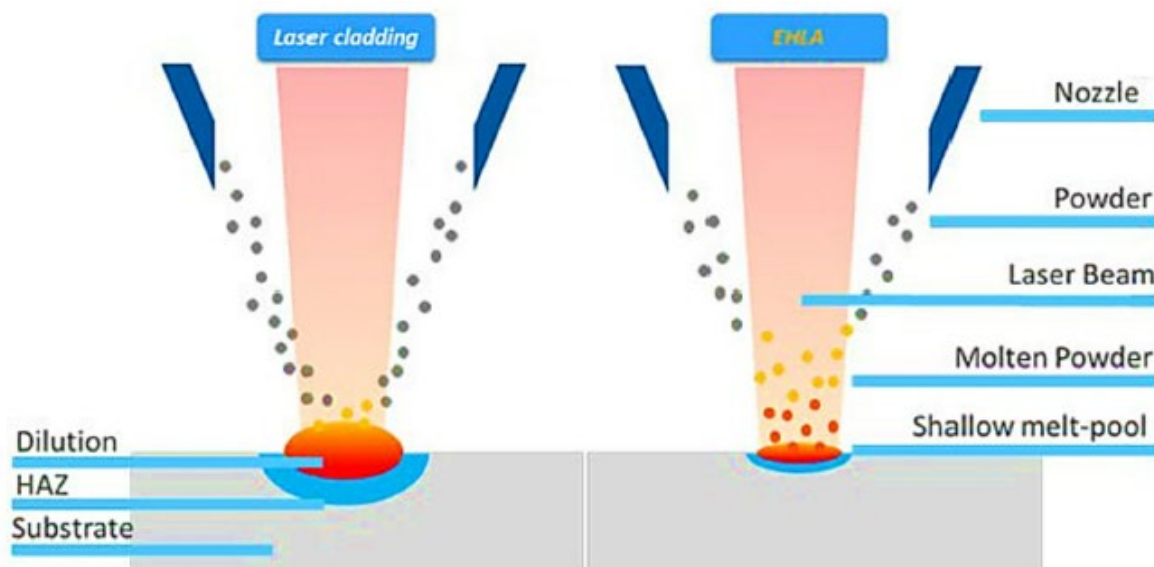
Eräs LDED menetelmä on laserpinnoitus (Cladding). Se on pinnoitusprosessi (Kuva 17), jossa kappaleen pintaan tuotetaan lisäainekerros sulattamalla kappaleen pintaan suihkutettu lisäaine ja osa kappaleen pinnasta laserin avulla. Menetelmän etuna on pinnoitteen ja pinnan välinen luja sidos. Lämmöntuonti on myös alhainen, jolloin kappaleen

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 24(57)
--	---	--	------------------------

muodon- sekä materiaalimuutokset ovat pieniä. Tehty pinnoitus on myös tiivis, jolloin pinnoite kestää hyvin korroosiota. Menetelmä myös mahdollistaa pinnoitteen räätälöinnin olosuhteisiin sopivaksi. Esimerkiksi kappale voidaan pinnoittaa toisella materiaalilla, mitä se itse on. (Korpisalo, V. 2008.)

EHLA-menetelmä (Extrem Hochgeschwindigkeits Laserauftragschweissen) tai (Extreme high speed laser application joskus myös UHSLC) on laserpinnoitusmenetelmä (Kuva 17), jossa lisäaine suihkutetaan myös pulverina, mutta lisäainepulverisuihku kohdistetaan lasersäteeseen siten, että se sulaa ennen kuin se siirtyy kappaleen pinnalle. Näin lasersäteen energiasta yli 80 % käytetään jauheen sulattamiseen. EHLA-menetelmä nopeuttaa prosessia ja se on siten tehokkaampi. (Kanishka, K. ym. 2023.)

Laserpinnoitus on paljon käytetty menetelmä osien pintavaurioiden kunnostamisessa. Sitä käytetään hitsauksen sijasta, koska kappaleen muodonmuutokset ovat pienempiä vähäisen lämmöntonin takia. Lisäksi mahdollisuudella käyttää muita metalleja kappaleen pinnoittamiseen voidaan parantaa esimerkiksi kappaleen korroosio-ominaisuuksia ja pinnan kulutuskestävyyttä. (Kanishka, K. ym. 2023.)



Kuva 18. Laserpinnoitus ja EHLA menetelmien ero (Kanishka, K. ym. 2023)

Laserpinnoitusmenetelmällä on korjattu erityisesti pyörähdysymmetrisiä osia kuten moottorin kampiakseleita (kuva 19), potkuriakseleita, höyryturbiinin akseleita sekä junan pyöriä. Erilaisia muottien pintoja on myös korjattu. Kuluneita ketjupyöränpyörän hampaan (Kuva 18) ja kaasuturbiinin siiven kärkiä (kuva 20 ja 21) on myös korjattu käyttäen tätä menetelmää. Monissa tutkimusteksteissä kerrotaan tällä tavoin korjattujen osien olevan kestävämpiä kuin uusi osa. (Kanishka, K. ym. 2023.)



**Euroopan unionin
osarahoittama**

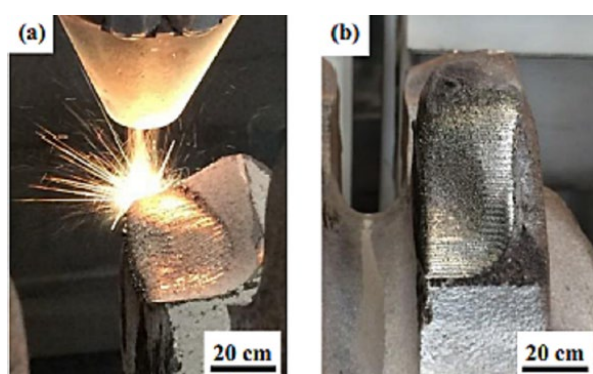


**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

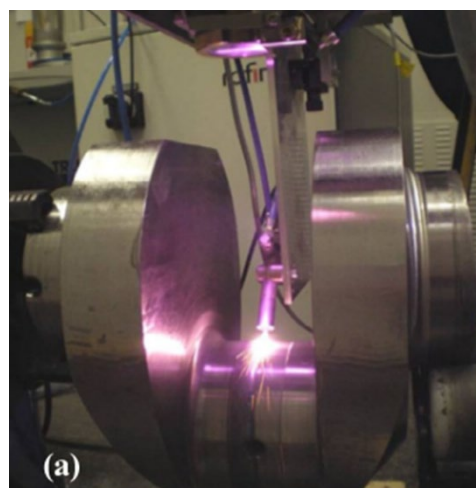
 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 25(57)
--	---	--	------------------------

Menetelmää on myös kehitetty sellaiseksi, että sitä voidaan käyttää myös vedenalaisiin korjauksiin. Erityisesti ydinvoimala- ja laivaosien kunnostuksessa tätä on tutkittu (Kanishka, K. ym. 2023).

Laserpinnoitus on menetelmä, jossa tuotetaan vain yksittäinen ohut materiaalikerros kappaleen pintaan ja sitä käytetään korjattaessa osia, joidenka vaurio sijaitsee kappaleen pinnassa. Korjattavan osan geometria on siis olemassa eikä sitä korjauksessa muuteta. Muilla lisäävän valmistuksen menetelmillä sen sijaan voidaan tuottaa useampia kerroksia materiaalia ja siten monimutkaisempia muotoja ja muuttaa osan geometriaa. (Sato, N. ym. 2022).



Kuva 19. Kaivosteollisuuden kuljettimen ketjupyöränpyörän kunnostus (Kanishka, K. ym. 2023)



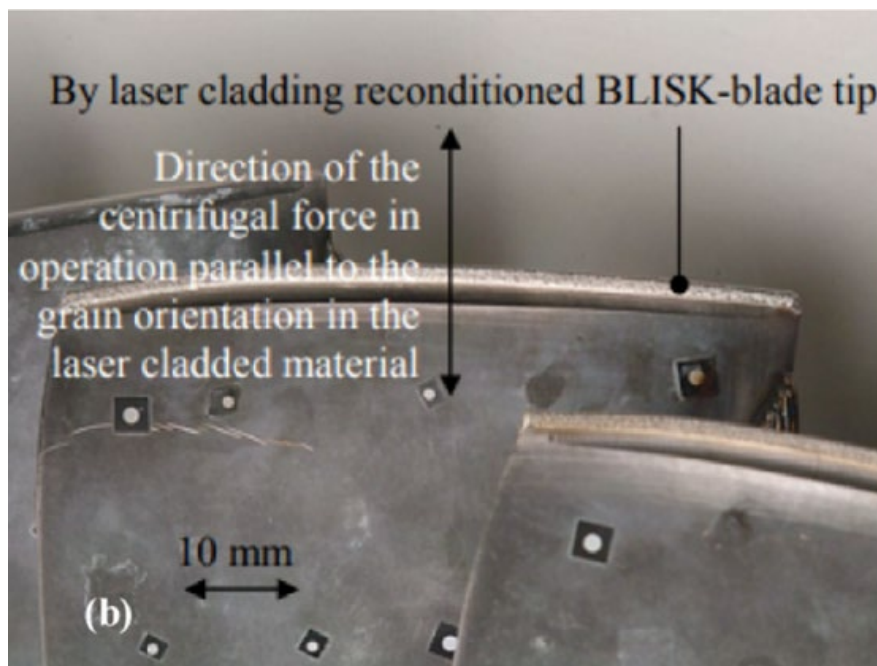
Kuva 20. Kampiakselin laakeripinnan pinnoitusta (Kanishka, K. ym. 2023)



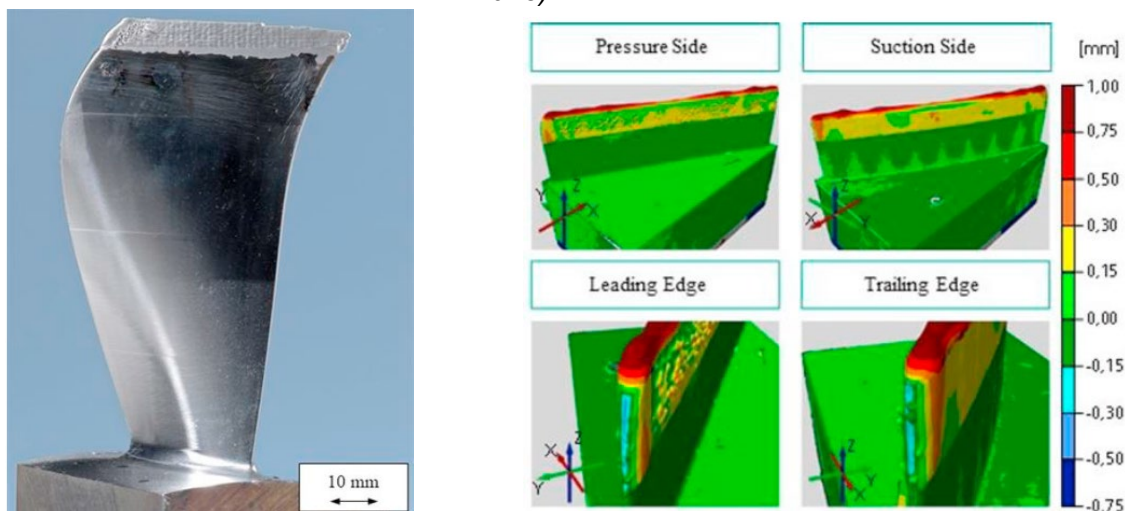
Euroopan unionin
osarahoittama



Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund



Kuva 20. Laserpinnoituksella korjattu lentokoneenmoottorin turbiinin siivenkärki (Kanishka, K. ym. 2023)



Kuva 21. Suorakerrostusmenetelmällä korjattu turbiinin siipi ja sen muodon poikkeama oikeasta (Ünal-Saewea, T. ym. 2020)

Yllä mainituilla menetelmillä on useita kirjainlyhenteitä kuten LENS, LMD (Laser Metal Deposition), WLAM, LDD (Laser Direct Deposition) ja DMD (Direct Metal Deposition). Osa niistä on vain jonkin yhtiön tuotemerkkejä ja merkitsevät käytännössä samaa kuin joku muu kirjainyhdistelmä. Näille menetelmille on yhteistä se, että 3D-mallin mukaisia kappaleita

tuotetaan tekemällä useita ohuita materiaalikerroksia päällekkäin. Menetelmissä materiaalia syötetään joko pulverina tai lankana.

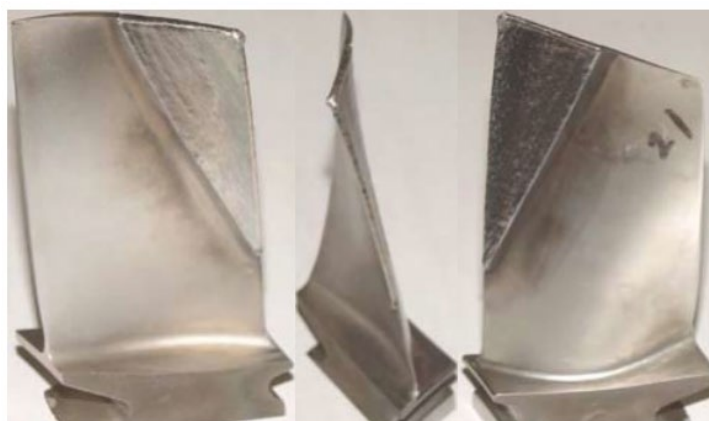
Näillä menetelmillä on kunnostettu muun muassa ketjupyöriä, potkurinakseleita, taemuotteja sekä työstökoneen ja kaasuturbiinin osia (Kanishka, K. ym. 2023).

Menetelmässä on ensiksi havaittava osasta puuttuvan materiaalin muoto ja määrä vertaamalla vaurioitunutta osaa alkuperäisen osan 3D-malliin. Tämän puuttuvan materiaalin geometrian mukaan on sitten tehtävä tarvittavat ohjelmat laserpään liikkeille. Joissain osissa kuten turbiinin siivissä ei välttämättä voi käyttää alkuperäisiä osan 3D-mallia, koska osa on saattanut muuttua muotoaan käytön aikana. Tällöin on ensin skannattava osa ja kehittää malli lisättävälle materiaalille tämän skannatun mallin perusteella. (Ünal-Saewea, T. ym. 2020).

Lähteessä Mohd Yusuf, S ym. 2019 on listattu suorakerrostusmenetelmän etu ja haittoja lentokoneosien kunnostuksessa (kuva 22). Kuvassa 23 esitetty esimerkkinä suorakerrostusmenetelmällä korjattu ahtimen siipi.

Advantages	Disadvantages
1. High accuracy of deposition. 2. High material deposition rate. 3. Multiple material inputs possible. 4. Not restricted to powder bed, easing repairs. 5. Possible to apply protective coatings over build area. 6. Minimal heat-affected zone (HAZ) due to low heat input. 7. Minimal dilution between deposited layer and build area.	1. Support structures necessary for overhangs. 2. Limitations in producing complex shapes. 3. Lower accuracy than PBF AM processes.

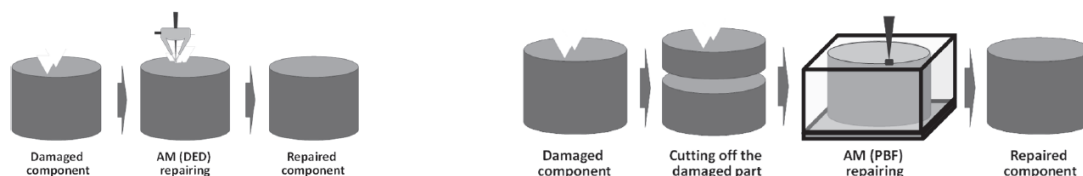
Kuva 21. DED menetelmän edut ja haitat lentokoneosien kunnostuksessa (Mohd Yusuf, S ym. 2019.)



Kuva 22. Suorakerrostusmenetelmällä korjattu ahtimen siipi (Häkkinen, O. 2021.)

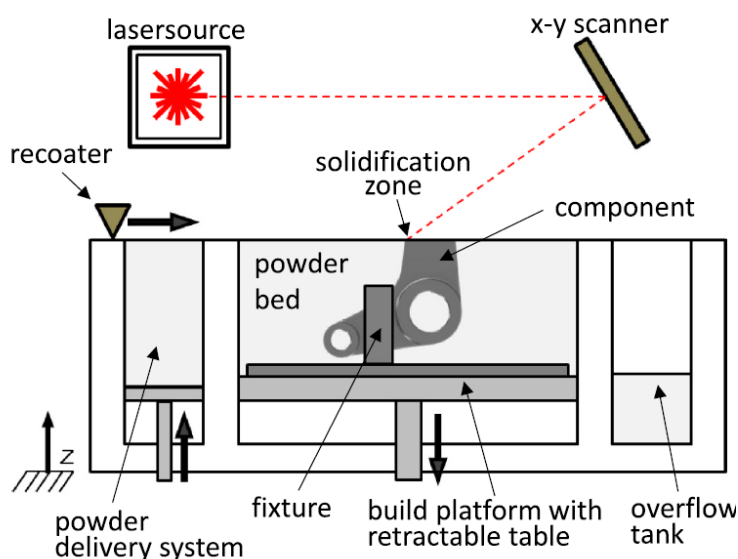
 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 28(57)
--	---	--	------------------------

Jauhepetisulatus (Powder Bed Fusion, PBF) on menetelmä (Kuva 24), jossa materiaalia lisätään kappaleeseen sulattamalla ohut kerros metallipulveria jauhepedin yläpinnalta valmistettavan kappaleen kohdalta. Sulaessaan materiaali samalla hitsautuu yhteen aikaisemmin sulatetun ja jäähmettyneen materiaalin kanssa. Menetelmää on yleensä käytetty vain, kun tehdään kokonaan uusi osa vanhan vaurioituneen tilalle. On kuitenkin tutkimuksia, jossa menetelmää on käytetty osien korjauksessa. (Kanishka, K. ym. 2023).



Kuva 23. DED ja PBF menetelmät korjauksessa (Sato, N. ym. 2022).

Menetelmää voidaan käyttää vain tasopinnalla, joten kappaleita tällä tavoin korjattaessa (Kuva 25), on korjattava kohta oltava taso (Sato, N ym. 2022). Jos korjattavassa kappaleessa ei vauriokohdassa ole tasopintaa, on se kappaleeseen jollain tavoin tehtävä.



Kuva 24. Periaatekuva kappaleen korjauksesta PBF-menetelmällä (Wurst, J. ym. 2023)

Yleensä kappaletta koneistetaan kuluneesta kohtaa siten, että siihen muodostuu taso (Kuva



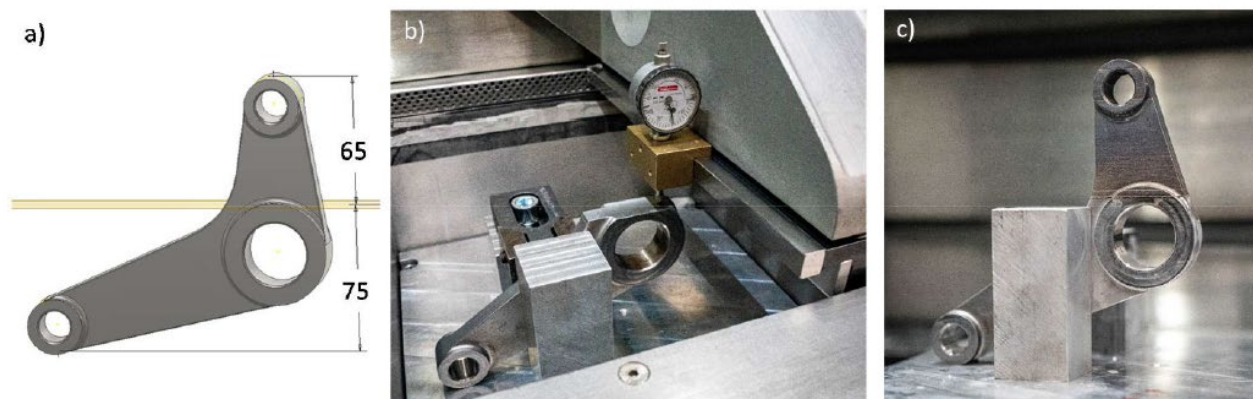
Euroopan unionin
osarahoittama



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(57)
--	---	--	------------------------

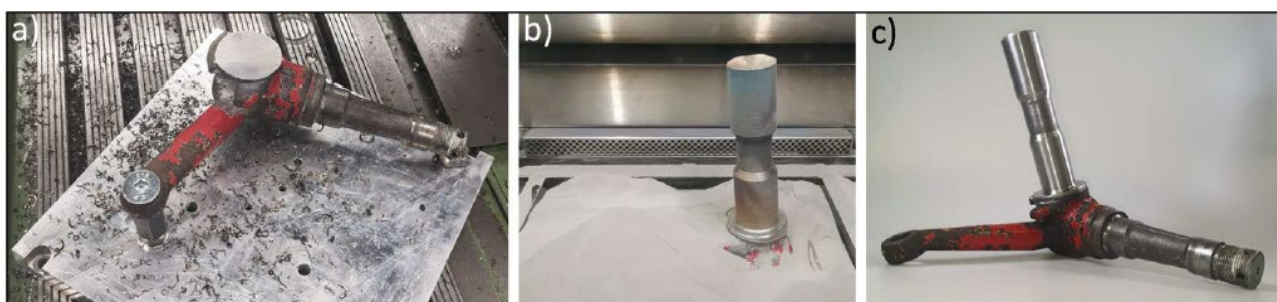
26, 27 ja 28). Valittava tulostussuunta vaikuttaa, mihin suuntaan taso kappaleeseen pitää koneistaa.



Kuva 25. a) lähtöpinnan määrittäminen b) osan aseointi tulostimeen c) valmis korjattu osa (Wurst, J. ym. 2023)



Kuva 27. a) leikkauspinta b) osa tulostimessa c) osa tulostuksen jälkeen (Wurst, J. ym. 2023)



Kuva 26. a) olkavarsi tulostuslevyllä b) tulostuksen jälkeen c) valmis korjattu osa (Wurst, J. ym. 2023)



Euroopan unionin
osarahoittama



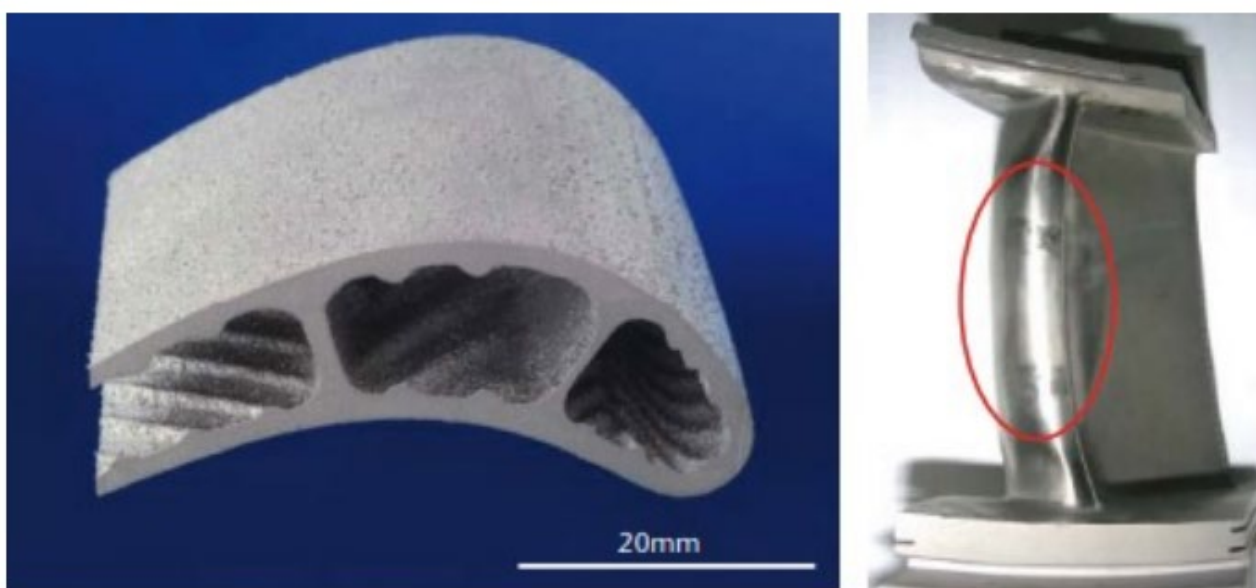
Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 30(57)
--	---	--	------------------------

PBF-menetelmällä tehtyjen korjausten heikkoutena on rajapinta korjattavan kappaleen ja korjausmateriaalin välillä. Rajapinnalle muodostuvat huokoiset ja syntyvät jäännösjännitykset aiheuttavat säröjä, jotka kasvaessaan aiheuttavat kappaleen murtuman (Sato, N ym. 2022).

Korjattavan kappaleen asemointi 3D-tulostimeen on vaikeata ja virheet asemoinnissa aiheuttavat epätarkkuutta kappaleeseen ja jopa tulostimen vaurioitumisen. Korjauksessa, jossa käytetään PBF-menetelmää ei voida käyttää tukia, joten korjaus on suunniteltava sellaiseksi, että se onnistuu ilman tukia. Tämä aiheuttaa ongelmia varsinkin silloin, jos korjattavaa kappaletta ei ole alun perin suunniteltu valmistettavaksi lisäävän valmistuksen avulla (Sato, N ym. 2022).

Eräs tapa käyttää jauhepetimenetelmää vaurioituneen osan kunnostuksessa on hitsata osan vaurioituneeseen kohtaan paikka, joka on tehty jauhepeti menetelmällä (Kuva 29). Vaurioituneesta osasta tällöin poistettu materiaalia ja poistetun materiaalin muodosta ja korjauksesta on tehty malli tulostusta varten. Menetelmän ongelmana on ollut hitsin laatu paikan ja kappaleen välillä. (Häkkinen, O. 2021).



Kuva 28. Jauhepetimenetelmällä tulostettu turbiinisiiven paikka (Häkkinen, O. 2021)

WAAM-menetelmässä lämmönlähteenä on valokaari ja materiaali syötetään valokaareen lankana. Menetelmä on patentoitu jo vuonna 1925. Menetelmässä hitsataan materiaalikerroksia päällekkäin, kunnes haluttu kappaleen muoto saavutetaan. WAAM-menetelmä on hyvä menetelmä kappaleiden korjaukseen. Menetelmän etuina on vähäinen



**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 31(57)
--	---	--	----------------

materiaalin käyttö, edullisuus ja suuri materiaalin tuottokyky. Suuren tuottokyvyn takia menetelmä soveltuu erityisesti suurten kappaleiden korjaukseen. (Kanishka, K. ym. 2023).

Menetelmällä on korjattu esimerkiksi taontamuotteja, ketjupyöriä (Kuva 31), rakenneteräskomponentteja ja työstökoneen osia (Kanishka, K. ym. 2023).



Kuva 29. WAAM periaate (Kanishka, K. ym. 2023).



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

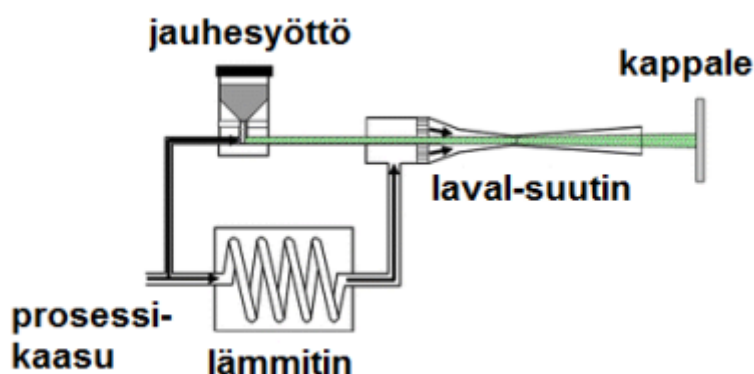
 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 32(57)
--	---	--	------------------------



Kuva 30. WAAM menetelmällä korjattu ketjupyörä a) ennen korjausta b) kymmenen kerroksen jälkeen c) ennen vinoa pintaa d) ja e) korjattu valmis kappale (Kanishka, K. ym. 2023).

Metallien kylmäruiskutuksessa metallipisaroita ruiskutetaan suurella nopeudella kappaleen korjattavaan kohtaan (Kuva 32). Materiaalit tällöin plastisoituvat kosketuskohdastaan ja kiinnittyvät toisiinsa. Menetelmän etuna on se, että lämpötilat korjauksessa jäävät alhaisiksi, jolloin muoto- ja materiaali muutokset jäävät pieniksi. Eräs menetelmän käyttöä hankaloittava asia on se, että menetelmä vaatii suoran linjan suihkutussuuttimesta korjauskohtaan. (Mohd Yusuf, S ym. 2019.)

Menetelmää käytetään erityisesti sellaisissa korjauksissa, joissa lämmöntuonti ja siten kappaleiden muodonmuutokset tahdotaan pitää pieninä.



Kuva 31. Metallin kylmäruiskutuksen periaate (Häkkinen, O. 2021)



Euroopan unionin
osarahoittama



Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund

7. Lisäävän valmistuksen käyttö osien kunnostuksessa

Tällä hetkellä lisäävään valmistuksen käyttö on yleisintä ilmailuteollisuudessa (Kuva 33). Sitä käytetään myös ajoneuvo- ja meriteollisuudessa (Kuva 34). Artikkelin Kanishka, K. ym. 2023 mukaan eniten asiaan liittyviä tutkimusartikkeleita on julkaistu Kiinassa, Yhdysvalloissa, Saksasta, Isossa Britanniassa ja Intiassa.

Eniten on artikkeleissa korjattu turbiinin siipiä. Seuraavaksi yleisemmät osat olivat erilaiset muotit ja mekaaniset komponentit (Kuva 35). (Kanishka, K. ym. 2023.)

Advantages	Disadvantages
1. No HAZ applied to the build area.	1. Loss of ductility due to plastic deformation.
2. Able to increase fatigue life of components	2. Pure ceramics and certain alloys cannot be processed.
3. Impact of high-velocity particles imparts surface compressive stress.	3. Requires line of sight to deposit material, making complex geometries and internal cavities difficult to be processed.
4. No limitation in thickness that can be applied.	
5. No phase change occurs on the deposited particles or the build area.	

Kuva 32. SED menetelmän edut ja haitat lentokoneosien kunnostuksessa (Mohd Yusuf, S ym. 2019.)

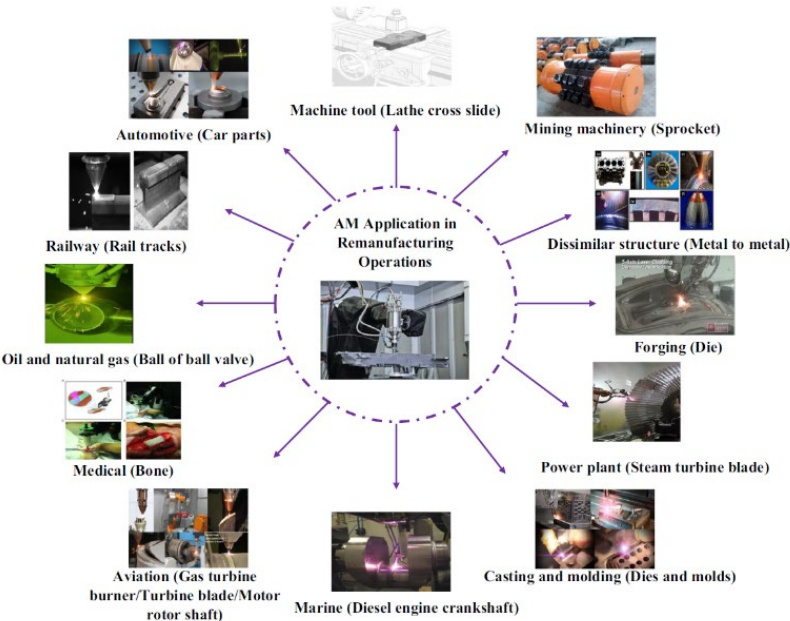
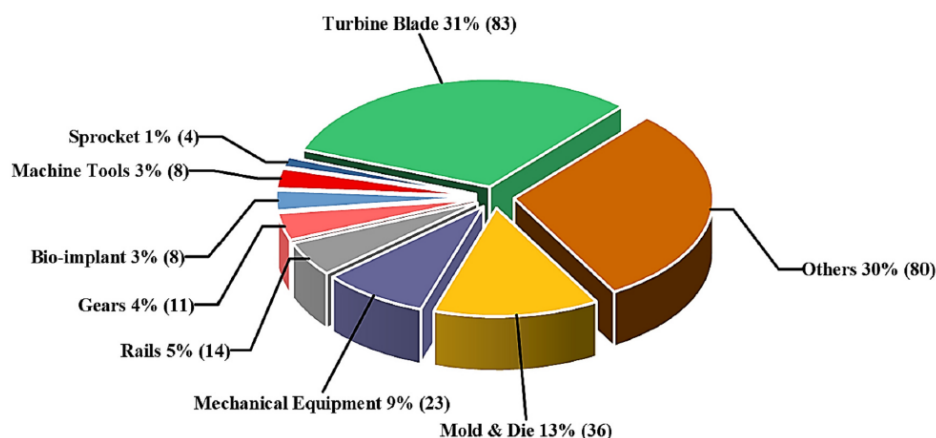


Fig. 2. AM Application in remanufacturing processes in various industries.

Kuva 33. Lisäävän valmistuksen käyttö osien kunnostuksessa (Yuan, K. ym. 2024)



Kanishka, K. ym. 2023 artikkelin tutkimuksessa käytetyin lisäävän valmistuksen menetelmä oli LDED, jota oli käytetty noin puolessa korjaustapauksissa. Seuraavaksi yleisin lisäävän valmistuksen korjausmenetelmä oli WAAM ja lisäävä poistava hybridimenetelmä.



Kuva 34. Lisäävän valmistuksen avulla korjattuja osia osat lähteen mukaan. (Kanishka, K. ym. 2023.)

8. Kunnostus eri teollisuusaloilla

Kunnostustoiminta on jo vakiintunutta toimintaa lentokone-, auto- ja työkonealoilla. Nämä alat vastaavat yli 60 % kunnostusalan tuotannon arvosta (Nabil, N. 2019). Esimerkiksi yhdistys edistämään auto-osien kunnostamistoimintaa APRA - Automotive Parts Remanufacturers Association on perustettu jo 1941 (ARPA Europe 2025).

Tehdaskunnostettuja osia ei käytetä vielä uusien tuotteiden valmistuksessa. Jotta valmistajat täyttäisivät EU:n teollisuudelle kierrätyksessä asetetut tavoitteet, on tehdaskunnostettuja osia tulevaisuudessa käytettävä myös uusien tuotteiden valmistuksessa. Esimerkiksi Scania ja Kungliga Tekniska högskolan (KTH) ovat yhdessä toteuttaneet tutkimusprojektin, jossa tehdaskunnostettiin kuorma-auton vaihdelaatikko siten, että se voidaan käyttää kokoonpanolinjalla uusien vaihdelaatikoiden rinnalla (Farazee, A. & Gustafsson, J. 2024).



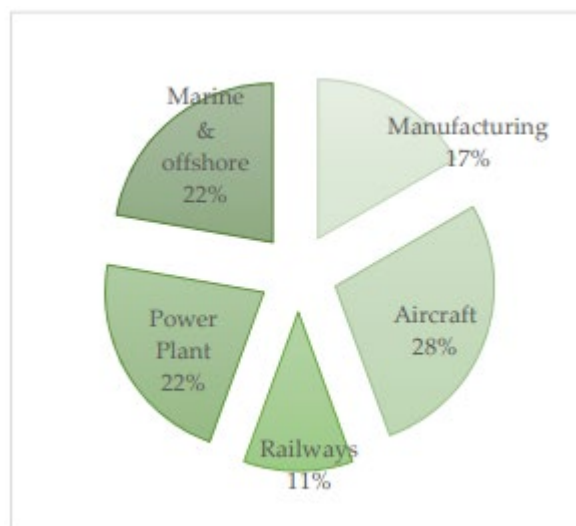
**Euroopan unionin
osarahoittama**



**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 35(57)
---	--	--	-----------------

Lisäävää valmistusta käytetään kunnostamiseen vaihtelevasti. Eniten sitä käytetään lentokoneteollisuudessa ja sen jälkeen meri- ja energiasektoreilla (Kuva 36 ja 37). Näillä teollisuuden alueilla osat ovat isoja ja kalliita sekä hankalasti luokse päästävissä. (Rahito ym. 2019.)



Kuva 35. Lisäävän valmistuksen käyttö osien korjauksissa eri teollisuuden alueilla (Rahito ym. 2019.)

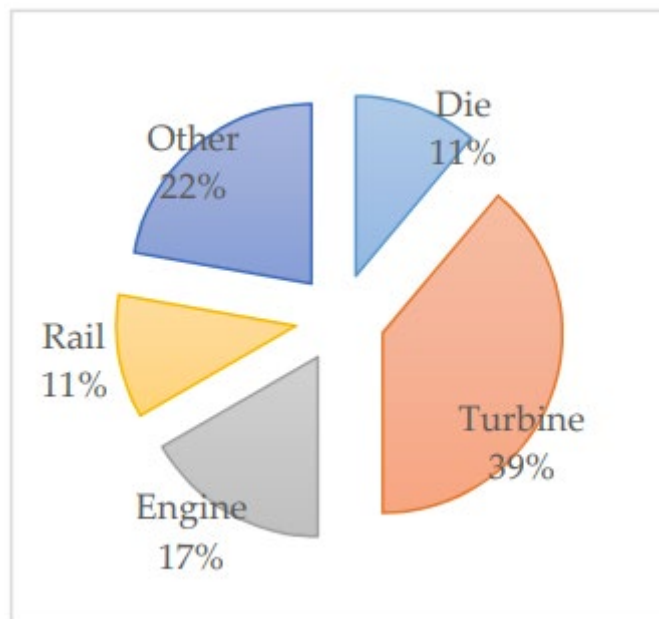


Euroopan unionin
osarahoittama



Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund

8.1. Lentokoneala



Kuva 36. Millaisia osia pääasiassa on korjattu lisäävän valmistuksen avulla (Rahito ym. 2019.)

Lentokonealalla kunnostustoimintaa edistää vaatimus systemaattisesti toimivasta huolto- ja korjaustoiminnasta, jotka lisäksi ovat tarkkaan säädeltäviä kansainvälisten säädösten ja määräysten avulla. Esimerkiksi lentokoneiden eri järjestelmät ja osat on kunnostettava määräajoin. Viranomaissäädökset ja valmistajien ohjeet määrittelevät kunnostusajankohdan ja osien laatutason kunnostuksen jälkeen. Lentokoneiden järjestelmiä myös päivitetään kunnostusten yhteydessä vastamaan uusia järjestelmiä. (Nabil, N. 2019.)

Jotta uusi kunnostustapa voidaan ottaa tuotantokäyttöön, on sen läpäistävä tarkat ilmailuviranomaisten testit (Häkkinen, O. 2020). Lentokoneenosien kunnostus jaetaan kahteen osaan: geometriseen korjaukseen ja rakennekorjaukseen. Geometrisessä korjauksessa korjataan vain osan pieniä ulkopinnan koloja ja naarmuja, jotka eivät vaikuta osan kuormankantokykyyn. Rakennekorjauksessa korjaus vaikuttaa osan kuormankantokykyyn ja väsytykestävyyteen. (Alami, A. ym. 2023, Häkkinen, O. 2021.)

Lisäävän valmistuksen avulla tehtyjen rakennekorjausten hyväksyntää haittaa niiden avulla korjattujen osien väsytykestävyyden todentamisen epävarmuus. Yleisesti lisäävällä valmistuksella tehtyjen osien väsytykestävyydestä on vähän kokemuksia. (Mohd Yusuf, S ym. 2019.)



 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 37(57)
--	---	--	----------------

Geometrisissä korjauksissa käytetyimmät menetelmät ovat erilaiset metalliruiskutusmenetelmät kuten CS (cold spray) ja SPD (supersonic particle deposition). Molemmissa menetelmissä suihkutettava metalli säilyy kiinteänä ja suihkutettava metalli kiinnittyminen perustuu metallihiukkasten suuren törmäysnopeuden aiheuttamaan plastiseen muodonmuutokseen. Koska lämpötilat ovat menetelmässä alhaisia, ovat kunnostettavan osan materiaaliominaisuuksien muutokset pieniä. (Häkkinen, O. 2021.)

Tavallisesti lentokoneiden valmistaja eivät tee kunnostustoimintaa, vaan osia ja järjestelmiä kunnostavat huolto- ja kunnostustoimintaan erikoistuneet yritykset. Valmistajat ovat kuitenkin tulossa osalliseksi tähän markkinaan tarjoamalla huoltosopimuksia asiakkailleen. (Nabil, N. 2019.)

Erityisesti magnesiumista tehtyjen vaihteistokoteloiden korroosiosta aiheutuvien vaurioiden korjaamiseen on olemassa hyväksyttyjä kylmäruiskutusta käyttäviä menetelmiä. Muita osia, joita on korjattu ovat esimerkiksi moottorin siivet, laskutelineen osat, suihkumoottorin laakeripesä, ahtimen sokkelotiivistet ja sivuperäsimen ohjaukseen kuuluva haarukka (Kuvat 38-41). (Häkkinen, O. 2021.)



Kuva 37. UH-60-helikopterin päävaihteiston korvakkeen korjaus kylmäruiskuttamalla (Häkkinen, O. 2021.)



**Euroopan unionin
osarahoittama**

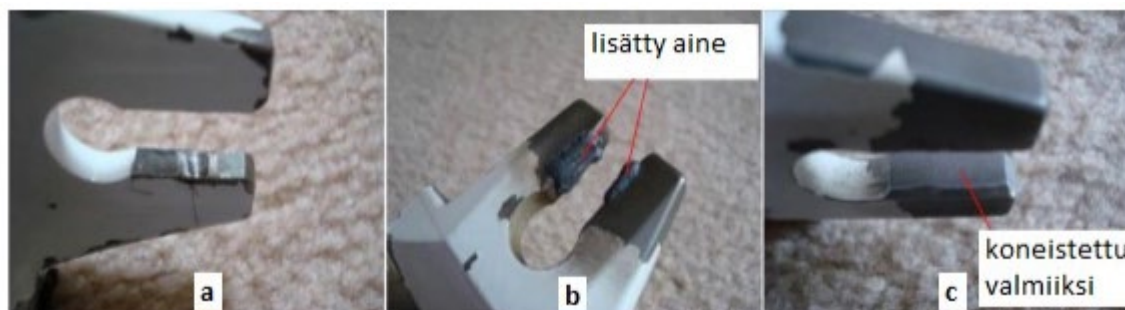


**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 38(57)
--	---	--	----------------



Kuva 38. AH-64-helikopterin maston tuen korjaus (Häkkinen, O. 2021.)



Kuva 39. Sivuperäsimen ohjauksen haarukan korjaus (Häkkinen, O. 2021.)

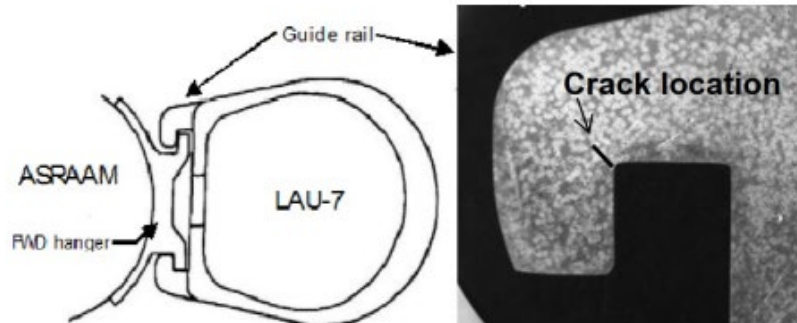


Euroopan unionin
osarahoittama

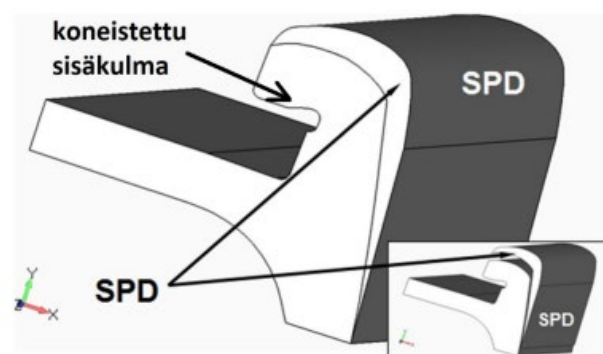


Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 39(57)
--	---	--	------------------------



Kuva 40. Ohjuksen ripustuskorvakkeen vaurio (Häkkinen, O. 2021.)



Kuva 41. Kylmäruiskutettu vahvistus (Häkkinen, O. 2021.)

Materiaalin kylmäruiskutuksella voidaan myös tehdä rakennekorjauksia. Kylmäruiskutetulla metallilla voidaan joissain tapauksissa vahvistaa korjattava rakenne vahvemmakei kuin se oli uutena. Esimerkiksi ohjuksen ripustinkorvan särökohdan jännitystaso on laskelmien mukaan 29 % pienempi verrattuna korvaan, johon on koneistettu pyöristys, jos se vahvistetaan koneistuksen lisäksi kylmäruiskutuksella. (Häkkinen, O. 2021.)



**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(57)
--	---	--	------------------------

8.2. Meriala

Suuri osa laivojen käyttökustannuksista koostuu niiden kunnossapidosta. Osien pintojen korrosio, kuluminen ja säröytyminen usein edeltävät osien rikkoutumista. Tällaisten osien vaihtaminen merellä on kallista ja usein myös hyvin hankalaa. Lisäävän valmistuksen menetelmien käyttö osien korjauksessa on eräs mahdollisuus kehittää korjaustyöstä tehokkaampi. (Keshavarzan, M. ym. 2024.)

On tutkittu korrosioituneiden alumiinilevyjen korjausta WAAM-menetelmällä (Zulqernine, M ym. 2024). WAAM-menetelmällä tehtyjen teräsrakenteiden korrosiokestävyyttä on myös tutkittu ja havaittu, niiden kestävä korrosiota samalla tavoin kuin perusaine. Laivamoottoreiden kampiakselin laakereiden korjaukseen laivassa on myös kehitetty laserpinnoitusmenetelmää käyttävä laite.

Lisäävän valmistuksen mahdollisuuksia tuottaa varaosia laivalla on myös tutkittu. Tällöin laivan ei enää tarvitsisi odottaa varaosan valmistumista ja toimitusta kriittisen osan vaurioituttua. (Zulqernine, M ym. 2024.)

8.3. Autoala

Auto-osien kunnostus on suurin kunnostusala. Auto-osista kunnostetaan varsinkin voimansiirron ja ohjauksen osia. Euroopassa EU:n säätämä romuautodirektiivi (End-of-Life Vehicle, ELV) on kannustanut auto-osien kunnostusta. Direktiivi määrittää, kuinka paljon auton osista on kierrätettävä, joko kunnostamalla tai kierrättämällä. Autoalalta ei löydy helposti tietoa osien kunnostustavoista.

8.4. Työkoneala

Kaikilla raskaita työkoneita valmistavilla yrityksillä on kunnostustoimintaa (Reman). Kunnostustoimintaa tehdään eri puolilla maailmaa valmistajien maaorganisaatioiden toimesta.

Valmistajat harvoin paljastavat, miten kunnostusta erillisille osille tehdään. Pitämällä kunnostustoiminnan omissa käsissään voivat valmistajat taata kunnostettujen osien laadun ja välttää tuoteteknisen tiedon joutumisen vääriin käsiin. Asiakkaat myös tavallisesti pitävät kunnostettuja osia huonompilaatuisina kuin alkuperäisiä uusia osia, jolloin huonolaatuisen osan toimittaminen asiakkaalle on iso riski tuotemerkin maineelle. (REMATEC 2023.)



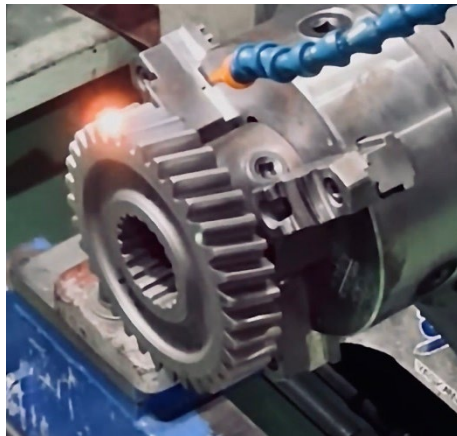
**Euroopan unionin
osarahoittama**



**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(57)
--	---	--	------------------------

Joitain mainintoja käytetyistä menetelmistä löytyy. Hitachi julkaisi web-sivuillaan kuvan hammaspyörän uudelleen karkaisusta laserin avulla (Kuva 43). Menetelmä on otettu käyttöön vuonna 2023 ja se perustuu yhdessä tehtyyn kehitystyöhön National Institute for Materials Science (NIMS) kanssa. Yhteistyössä kehitettiin röntgeniin perustuva menetelmä hammaspyörien korjattavuuden selvittämiseen (Kuva 44). Aikaisemmin hammaspyörien korjattavuutta arvioitiin pelkästään silmämääräisesti. (Kanazawa, T. 2023; National Institute for Materials Science. 2021.)



Kuva 42. Hammaspyörän pintakarkaisu laserilla (Hitachi. 2023)



Kuva 43. Hammaspyörän röntgentarkastus (National Institute for Materials Science. 2021)

Mercedes Benz Trucks julkaisee web-sivuillaan valokuvan metalliruiskeutusprosessista ja kertoo käyttävänsä wire arc spraying prosessia joidenkin osien kunnostuksessa (Mercedes Benz Trucks. 2025).



**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 42(57)
--	---	--	------------------------

9. Esimerkkejä kunnostustoimintaa harrastavista suomalaisista yrityksistä

9.1. Koneosapalvelu

Koneosapalvelu on suomalainen yritys, joka kunnostaa käytettyjä metsäkoneenosia osia varaosiksi. Yritys tarjoaa kahdenlaisia käytettyjä osia.

Purkuosat ovat purettu toimivina vanhoista metsäkoneista. Yritys ostaa vanhoja metsäkoneita, joista osat puretaan tai osat ostetaan erillisinä. Tavallisesti tällaiset osat ovat yksinkertaisia osia, joiden kunto on helposti todettavissa silmämääräisesti. Näillä osilla, ei ole takuuta.

Vaihto-osa on koneosapalvelun kunnostama osa, jolle myönnetään kuuden kuukauden takuu. Kunnostusta tehdään kahden eri periaatteen mukaisesti. Yritys voi kunnostaa asiakkaan komponentin, jolloin asiakas toimittaa korjattavan komponentin kunnostettavaksi ja asiakas saa kunnostuksen jälkeen saman komponentin takaisin. Tällöin asiakas siis ostaa kunnostuksen normaalina kunnostustyönä.

Asiakkaalle voidaan myös toimittaa kunnostettu komponentti koneosapalvelun varastosta ja ottaa asiakkaan rikkoutunut komponentti kunnostettavaksi varastoon. Tällöin vaihto-osasta peritään runkopantti, joka palautetaan asiakkaan palauttaessaan vastaavan viallisen osan. Vaihto-osina yritys kunnostaa metsäkoneiden hydraulikan, nosturien ja voimansiirron osia ja komponentteja.

Osat kunnostetaan käyttäen alkuperäisiä varaosia. Yritys on Bosch Rexroth Certified Excellence Service Partner, Parker Authorized Repair Center ja omaa Parker Distributor Mobile Technology Center statuksen. Eli yritys on myös valmistajien valtuuttama huolto ja korjauspiste, jolloin heillä on mahdollista saada joitain tuotetietoja valmistajilta.

9.2. Kokkola LCC Oy

Kokkola LLC on Kokkolassa sijaitseva laserpinnoitukseen keskittynyt yritys. Yritys pinnoittaa asiakkaiden osia ja komponentteja. Ne voivat olla uusia tai käytettyjä osia. Osia kunnostetaan monille teollisuuden aloille kuten prosessi-, teräs-, kaivos-, paperi-, meri- ja energiateollisuuden alalta. Korjattavat osat ovat yleensä olleet kuluttavissa ja korrosioivissa oloissa (Kokkola LLC. 2025).



**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 43(57)
--	---	--	------------------------

10. Lähteet

Alami, A.; Olabi, A.; Alashkar, A.; Alasad, S.; Aljaghoub, H.; Rezk, H. & Abdelkareem, M. 2023. Additive manufacturing in the aerospace and automotive industries: Recent trends and role in achieving sustainable development goals. Ain Shams Engineering Journal, Volume 14, Issue 11, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102516>

ARPA Europe 2025. Viitattu 28.2.2025. <https://www.apraeurope.org/>

APRA Europe 2012. Remanufacturing Terminology Remanufacturing Term Guideline 2012. Automotive Parts Remanufacturers Association 2012.

Butzer, S. & Schötz S. 2016. D3.3 – D3.4 Map of Remanufacturing Processes Landscape. A report by the partners of: European Remanufacturing Network.

Butzer, S.; Schötz, S. & Steinhilper, R. 2016. Remanufacturing Process Assessment – A Holistic Approach. Procedia CIRP, Volume 52, 2016, 234-238.
<https://doi.org/10.1007/s13243-022-00122-9>

Corum, A. 2022. Remanufacturing: A Case study in Mercedes-Benz Bus Factory. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Istanbul, Turkey, March 7-10, 2022.

Farazee, A. & Gustafsson, J. 2024. Final Report: Feasibility Study of Integrating Remanufactured Gearboxes in Production Line of New Trucks (iReGear). A research project funded by Vinnova, Circularity - FFI - spring 2023. Department of Production Engineering, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm.

Häkkinen, O. 2021. Ainetta lisäävät menetelmät lentokoneiden korjauksissa. Kandidaatintyö Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta Tampereen yliopisto 2021.

Hitachi Construction Machinery GLOBAL 2025. Viitattu 28.2.2025.
<https://www.hitachicm.com/global/en/products/remanufactured/>

Ijomah, W.L.; McMahon, C.A.; Hammond, G.P. & Newman, S. T. 2007, Development of design for remanufacturing guidelines to support sustainable manufacturing. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 23 (2007) 712–719.
<https://doi.org/10.1016/j.rcim.2007.02.017>.



**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(57)
--	---	--	------------------------

Kanishka, K. & Acherjee, B. 2023. A systematic review of additive manufacturing-based remanufacturing techniques for component repair and restoration. Journal of Manufacturing Processes 89, 2023, 220–283.

<https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2023.01.034>.

Kanazawa, T.; Hayakawa, M.; Vinas, D.; Tahara, Y.; Hata, N. & Yoshimoto, M. 2023. Sustainable technology for remanufacturing of carburized steels by laser hardening. Journal of Materials Research and Technology 2023; 24:39–48

<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.02.226>

Keshavarzan, M. & Mohammadi, M. 2024. A comprehensive metal additive manufacturing platform to transform the marine industry. MATEC Web of Conferences 401, 02013 (2024).

<https://doi.org/10.1051/mateconf/202440102013>

Koponen, O. 2017. Ruiskutuslaitteiden kunnostaminen. Opinnäytetyö. Tuotantotalous. Turku: Turun ammattikorkeakoulu, 2017.

Kokkola LLC. 2025. viitattu 28.1.2025. <https://lcc.fi/>

Korpisalo, V. 2008 Laserpinnoitteella lisää kilpailukykyä. Kunnossapito 8 2008 10-12.

Mercedes Benz Trucks 2025. The remanufacturing process. Viitattu 30.1.2025.

<https://reman.mercedes-benz-trucks.com/en-global/our-remanufacturing-process/?lJFck=&cHash=64e232cbe25ec15514b0e214d9b51b43>.

Mohd Yusuf, S.; Cutler, S. & Gao, N. 2019. Review: The Impact of Metal Additive Manufacturing on the Aerospace Industry. Metals 2019, 9, 1286.

<https://doi.org/10.3390/met9121286>

Nabil, N. 2019. Remanufacturing in the Circular Economy: Operations, Engineering and Logistics. John Wiley & Sons, Incorporated, 2019. ProQuest Ebook Central.

<https://ebookcentral.proquest.com/lib/turkuamk-ebooks/detail.action?docID=5946040>.

National Institute for Materials Science (NIMS). 2021. Joint Development of a Toothed Gear Reusability Evaluation Method. Viitattu 28.1.2025.

<https://www.nims.go.jp/eng/press/2021/05/202105200.html>



**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(57)
--	---	--	------------------------

Nwankpa, C.; Ijomah, W. & Gachagan, A. 2021. Design for automated inspection in remanufacturing: A discrete event simulation for process improvement. Cleaner Engineering and Technology 4 (2021) 100199. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100199>.

Parker, D; Riley, K; Robinson, S; Symington, H; Tewson, J; Jansonn, K; Ramkumar, S & Peck, D. 2015. Remanufacturing Market Study, 2015. European Remanufacturing Network 2015.

Rahito; Wahab, D.A.; Azman, A.H. 2019. Additive Manufacturing for Repair and Restoration in Remanufacturing: An Overview from Object Design and Systems Perspectives. Processes 2019, 7, 802. <https://doi.org/10.3390/pr7110802>

REMATEC 2023. Why are OEMs so careful about sharing their reman technology? Viitattu 28.1.2025. <https://www.rematec.com/news/equipment-and-parts/why-are-oems-so-careful-about-sharing-their-reman-technology>.

Salmi, M.; Partanen, J.; Tuomi, J.; Chekurov, S.; Björkstrand, R.; Huotilainen, E.; Kukko, K.; Kretzschmar, N.; Akmal, J.; Jalava, K.; Koivisto, S.; Vartiainen, M.; Metsä-Kortelainen, S.; Puukko, P.; Jussila, A.; Riipinen, T.; Reijonen, J.; Tanner, H. & Mikkola, M. 2018. Digitaaliset varaosat. Aalto-yliopiston ja Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n yhteisjulkaisu, 2018, <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-60-3745-5>

Sato, N.; Matsumoto, M.; Ogiso, H. & Sato, H. 2022. Challenges of Remanufacturing Using Powder Bed Fusion Based Additive Manufacturing. International Journal of Automation Technology Vol.16 No.6, 2022 <https://doi.org/10.20965/ijat.2022.p0773>.

Schlesinger, L.; Koller, J.; Pagels, M. & Döpper, F. 2022. Alignment of design rules for additive manufacturing and remanufacturing. Journal of Remanufacturing (2023) 13:99–119. <https://doi.org/10.1007/s13243-022-00122-9>

Shrivastava, A.; Mukherjee, S. & Chakraborty, S. 2021. Addressing the challenges in remanufacturing by laser-based material deposition techniques. Optics & Laser Technology, Volume 144, December 2021, 107404. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2021.107404>.



**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(57)
--	---	--	------------------------

Sundin, E.; Sakao, T.; Lindahl, M.; Kao, C.; Joungerious, B. & Ijomah, W. 2016. Map of Remanufacturing Business Modell Landscape 2016. European Remanufacturing Network 2016.

Thieery, M.; Salomon, M.; Nunen, V.J. & Wassenhove, V.L. 1995. Strategic issues in product recovery management. California Management Review, vol. 37, no. 2, pp. 114–135, 1995.

Ünal-Saewea, T.; Gahna, L; Gassera, A.; Kittel, J. & Schleifenbaum, J. 2020. Process Development for Tip Repair of Complex Shaped Turbine Blades with IN718. 23rd International Conference on Material Forming (ESAFORM 2020). Procedia Manufacturing 47 (2020) 1050–1057, 2020.

Waugh. R. 2019. Remanufacturing: a primer (What you really need to know in under 1,500 words). Conseil Européen de Remanufacture (CER) 2019.

Wurst, J.; Ganter, N.; Ehlers, T.; Schneider, A. & Lachmayer, R. 2023. Assessment of the ecological impact of metal additive repair and refurbishment using powder bed fusion by laser beam based on a multiple case study. Journal of Cleaner Production 423 (2023) 138630. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138630>. (Saksalaisten)

Yuan, K.; Xu, Y.; Wang, X.; Ma, X.; Wang, Q. & Zhang, H. 2024. Key technologies and research progress in robotic arc additive remanufacturing. Sensors & Actuators: A. Physical 376 (2024) 115547. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2024.115547>

Zhu, S.; Du, W.; Wang, X.; Han, G.; Ren, Z. & Zhou, K. 2023. Advanced Additive Remanufacturing Technology. Chinese Journal of Mechanical Engineering: Additive Manufacturing Frontiers 2 (2023) 100066. <https://doi.org/10.1016/j.cjmeam.2023.100066>.

Zulqernine, M.; Alam, M.; Uddin, M.; Dola, I. & Shanto, T. 2024. An Investigation on the Applications of Additive Manufacturing in the marine Industry. Proceedings of MARTEC 2024 The International Conference on Marine Technology 24-26 September 2024, Johor Bahru, Johor, Malaysia. 2024.



**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(57)
--	---	--	------------------------

11. Suorakerrostuksella korjaaminen: materiaalitekniisiä ja materiaalitekniikkaan liittyvä näkökohtia

11.1. Materiaalin tunnistaminen

Kun kappaleita korjataan, ollaan usein tilanteessa, jossa ei ole täyttä varmuutta korjattavan kappaleen materiaalista, niin tällöin ensimmäisenä vaiheena on perusaineen tunnistaminen. Materiaalin tunnistamiseen on useampia eri tapoja ja käytettävä tekniikka tulee valita käyttökohteen ja tilanteen mukaan. Seuraavassa osuudessa on esitelty joitakin yleisesti käytettyjä menetelmiä materiaalin tunnistamiseen.

Yksinkertainen testi, on niin sanottu magneettitesti, jossa kokeillaan vain magneetilla, onko materiaali magneettinen. Tämä testi on korkeintaan suuntaa antava, eli voidaan sanoa mihin ryhmään materiaali kuuluu. Ei-magneettisia koneenrakennusmateriaaleja on esim. austeniittinen ruostumaton teräs ja alumiini. Vastaavasti magneettisia koneenrakennusmateriaaleja ovat mm. rakenne-, suurlujuus- ja kulutusteräks, ferriittinen ja martensiittinen ruostumatonta teräs. Jokaisen materiaaliryhmän alle kuuluu lukuisia eri materiaaleja ja seoksia, joten pelkällä magneetilla ei voida suoraan todentaa kuin suuntaa antavasti mihin ryhmään materiaali kuuluu. Materiaalin varmempaan tunnistukseen tulee käyttää kehittyneempiä menetelmiä.

Varmemman tunnistustuloksen on mahdollista saavuttaa XRF-analyysillä, jossa materiaali tunnistetaan röntgensäteiden avulla. Röntgensäde virittää tutkittavien atomien elektroneja, joiden takaisin säteilystä voidaan materiaalin alkuainekoostumus tunnistaa. XRF-menetelmä on hyvin käyttökelpoinen materiaaliryhmän tunnistamisessa, eli sillä voidaan tunnistaa materiaalin pääseosaineet ja siten tehdä sopivan lisäaineen valinta kohtalaisella varmuudella oikein. Lisäksi XRF-laitteita löytyy käsikäyttöisenä, joka helpottaa materiaalin tunnistamista työkohteessa nopeasti. [1] Kuitenkaan tämä menetelmä ei anna täysin aukotonta tulosta, koska XRF-analyysi ei pysty tunnistamaan varmasti pieniä seosainekomponentteja, kuten hiili (C), typpi (N) tai boori (B). Nämä kaikki seosaineet vaikuttavat mm. teräksen lujuuteen, kovuuteen ja mikrorakenteeseen, ja ovat siten tärkeitä seosaineita tunnistaa lisäaineen valintaa varten. Lisäksi epäpuhtauksien tunnistaminen eli rikin (S) tai fosforin (P) tunnistaminen on haastavaa XRF-menetelmällä, joten esim. kuumahalkeiluriskin etukäteisarvioinnissa voi tulla virheitä. Alumiineilla puolestaan pii- (Si) ja magnesium- (Mg) seostuksen tarkka toteaminen on myös haastavaa, joten alumiinilaadun/ryhmän tunnistamisessa voi tulla helposti virheitä. [2]

Rikkomattoman aineentestauksen (NDT) yhteydessä voidaan käyttää soveltuen myös rikkovaa aineenkuetusta (DT) materiaalin tunnistamisen tukena. Tällöin käyttökelpoisia tekniikoita ovat mikrorakenneanalyysi ja kovuuskokeet. Mikrorakenneanalyysissä kappaleesta tehdään hie ja se syövytetään, jolloin voimme nähdä materiaalin



**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 48(57)
--	---	--	------------------------

mikrorakenteen ja sitä kautta arvioida materiaali koostumusta / materiaalityypistä. Tämän lisäksi kovuuskokeiden kautta voidaan arvioida materiaalin karkenevuutta ja siten välillisesti materiaalin seostusta, jolloin esim. XRF-analyysin kanssa saadaan suhteellisen tarkka kuva materiaalista / materiaalityypistä. Nämä kokeet ovat kuitenkin hitaita suorittaa ja vaatii metallurgian osaajan, joka tekee kokeiden tekemisen kalliimmaksi. Lisäksi testien suorittaminen vaatii koekappaleen irrottamista korjattavasta kappaleesta.

Varmin keino materiaalin tunnistamiseen on massaspektrometria, jossa materiaalinäyte ionisoidaan ja ionit kiihdytetään sähkökentässä, jolloin ionin massan ja varauksen suhteen ne voidaan tunnistaa. Tällä tavalla saadaan näytteestä tarkka jakauma seosainesuhteista ja materiaalin tunnistaminen voidaan tehdä suurella varmuudella. Massaspektrometrian suurin haaste on, että se joudutaan tekemään asiaan kuluva laboratorioissa, joka tekee tunnistamisesta hitaampaa ja kalliimpaa. [3]

11.2. Vauriomekanismit ja materiaalin valinta

Rikkoontuneen kappaleen korjaamiseen soveltuvan materiaalin valintaa voidaan lähteä tekemään vaurioanalyysin kautta. Tämä tulee eteen, erityisesti niissä tilanteissa, kun korjaamiselta tavoitellaan parempaa suorituskykyä kuin mitä alkuperäinen osa tarjosi. Korjaaminen usein toteutetaan paikallisesti, niin näissä tilanteissa on mahdollista käyttää paremman suorituskyvyn tarjoavaa materiaalia korjaamisessa hyväksi, jotta korjattavan kappale toiminta varmistetaan jatkossa. Tätä varten tulee ymmärtää eri vauriomekanismien erot ja miten ne vaikuttavat materiaalin valintaan.

Toinen vaihtoehto on korjata kappale perusainetta vastaavalla materiaalilla, jolloin materiaalin tunnistaminen tulee ensiarvoisen tärkeäksi.

Karkeasti tyypillisimmät vauriomekanismit voidaan jakaa kolmeen ryhmään; korroosio, kuluminen ja murtuminen. Seuraavassa osiossa on esitelty tyypillisiä vauriomekanismeja ja yleisiä tapoja, joilla voidaan tehdä etukäteisarviointia materiaalien herkkyydestä tietyille vauriomekanismeille sekä annetaan yleisiä suosituksia materiaalivalinnassa.

11.3. Korroosio

Yksi yleisimmistä korroosion muodoista ruostumattomilla teräksillä on paikallisesti tapahtuvat pistekorroosio ja rakokorroosio. Näissä molemmissa korroosion muodoissa metallin pinnan korroosiolta suojaava Cr_2O_3 -passiivikalvo rikkoontuu, joka paljastaa paljaan metallin korroosiolle. Rikkoontuminen voi tapahtua esim. mekaanisesti, kloridi ionien tai hapen altistuksesta sekä hapen puutteen vaikutuksesta. Vaurioitunut kohta toimii anodina ja tästä kohdasta rauta, kromi ja muut teräksen seosaineet alkavat liueta ioneina, kun



**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 49(57)
--	---	--	------------------------

ympäristö toimii katodina. Tämä johtaa paikalliseen sähkökemialliseen syöpymiseen, joka voimistuu korroosion edetessä, kun metallisuoloja syntyy korroosiotuotteena, jotka alentavat pH:ta. Tämän takia kappaleeseen alkaa muodostua pistemäinen syöpymä, joka voi ulottua koko ainepaksuuden läpi. [4] Materiaalin pistekorroosion kestoon vaikuttaa suuresti materiaalin seostus ja erityisesti molybdeenipitoisuus. Materiaalin pistekorroosion kestoa voidaan arvioida niin sanotun pistekorroosioindeksin avulla (käytetään termiä PRE tai PREN). Materiaalin tai seosaineen PREN-arvo voidaan laskea seuraavalla kaavalla: [5]

$$\text{PREN} = \% \text{Cr} + 3.3 \times (\% \text{Mo} + 0.5 \% \text{W}) + 16 \times (\% \text{N})$$

Hyvän korroosionkeston rajana monesti pidetään PREN-arvoa 25. Vertailuna ”haponkestävän ” AISI316 teräksen PREN-luku on tyypillisesti 24. Yli 32 PREN-luvun materiaaleja voidaan käyttää merivesiympäristöissä ja yli 40 PREN-luvun materiaalit soveltuvat vaativiin vety- ja rikkiympäristöihin. Kuvassa 1. on esitelty Outokummun eri teräslaatujen PREN-arvoja suhteessa teräksen lujuuteen. [6,7]

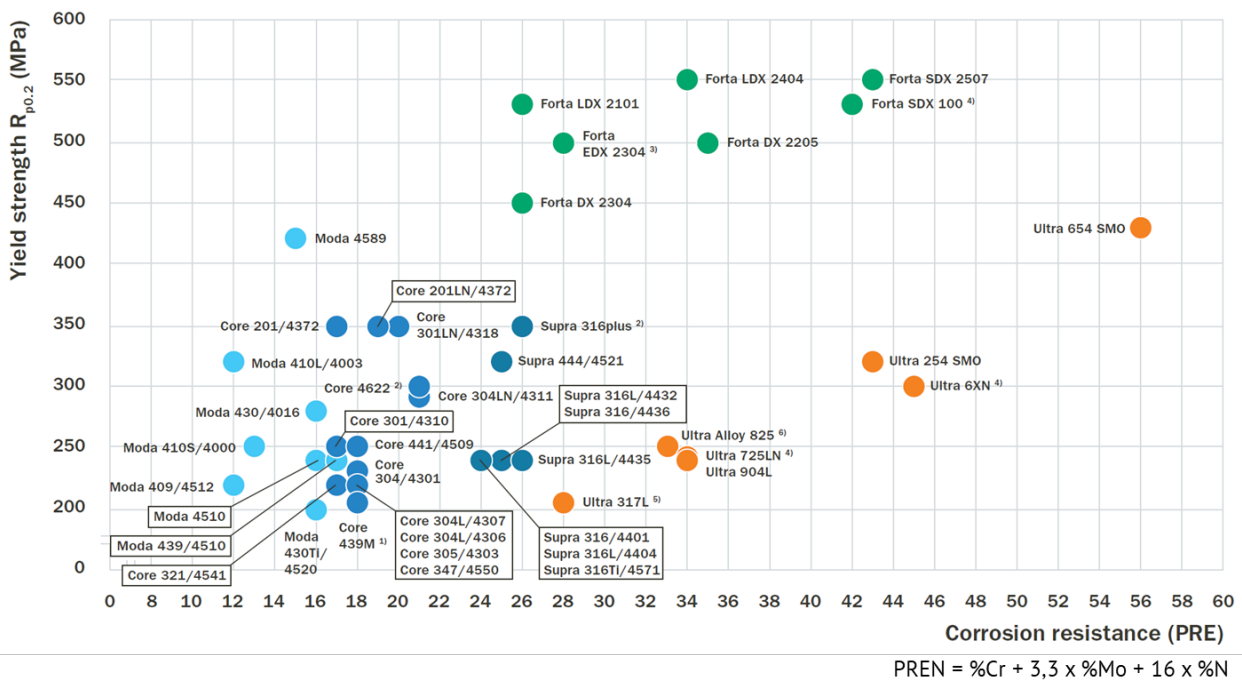
Rakokorroosion syöpymismekanismi on sama kuin pistekorroosiolla, mutta altistavana tekijänä näissä on liitoksen välissä oleva rako. Rakokorroosio voi muodostua esimerkiksi ruuviliitoksen tai laippojen väliin jäävään rakoön tai hitsausvirheen kuten roiskeen alle tai hitsin halkeamaan. Raossa korroosiota aiheuttava väliaine johtaa pistekorroosion tapaiseen syöpymiseen. Ero pistekorroosioon syntyy, että rakokorroosio voi syövyttää laajemman vian rakenteeseen, kuin pistekorroosio, kun koko rako toimii korroosiopintana. Rakokorroosiota ehkäistään erityisesti molybdeeniseostuksella, yli 6% molybdeeniseostus ehkäisee voimakkaasti rakokorroosiota.



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**



Kuva 1. Outokummun toimittamien terästen pistekorroosion kesto suhteessa lujuuteen [5].

Raerajakorroosiota syntyy erityisesti ruostumattomilla teräksillä hitseihin ja hitsin muutosvyöhykkeisiin tai korkean käyttölämpötilan (yli 425–815 °C) tilanteissa. Raerajakorroosion taustalla on herkistymisilmiö, jossa hiili sitoutuu kromiin ja laskee paikallisesti kromipitoisuutta, tämä tapahtuu tyypillisesti raerajoilla. Kromiköyhässä ympäristössä korroosio pääsee etenemään raerajoja pitkin, kun vapaata kromia ei ole herkistyneillä alueilla riittävästi muodostamaan korroosion etenemistä estävää oksidikerrosta. Tällöin kappaleesta voi lähteä materiaalia kiteinä irti, joka johtaa nopeaan korroosion etenemiseen. Raerajakorroosion estämisessä materiaalin / hitsin matala hiilipitoisuus on tärkeä, joka estää herkistymistä. [4,8] Raerajakorroosion vaurioittamaa kohdetta korjattaessa on tärkeä käyttää matalan hiilipitoisuuden lisäaineita. Kun materiaalilla on matala hiilipitoisuus, ei herkistymistä pääse tapahtumaan. Toinen vaihtoehto

 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 51(57)
--	---	--	------------------------

on käyttää korjaamisessa, titaani- (Ti) tai niobi- (Nb) stabiloitua (seostettua) lisäainetta, jotka sitovat itseensä hiiltä kromia voimakkaammin ja siten estävät herkistymisen.

Jännityskorroosio on korroosion muoto missä paikallinen vetojännitys voimistaa korroosion etenemistä. Jännityskorroosio on yhdistelmä pistekorroosion ja vetyhaurauden ja jännityksen aiheuttamaa vauriota. Tyypillisesti vaurio alkaa piste- tai rakokorroosiosta, jossa on korroosion aiheuttamana syöpyä, jossa vetojännitys aiheuttaa jännityksen ydintymisen syöpymän pohjalle. Tämä toimii murtuman alkupisteenä. Korroosion vaikutuksesta muodostuu vetyä, joka haurastuttaa materiaalia paikallisesti. Vedyn haurastuttama materiaali aikaan saa yhdessä syöpymän pohjalle muodostuneeseen jännityskeskittymään olosuhteet, jossa murtuma pääsee kasvamaan hauraasti ja rakenteen rikkoutuminen voi tapahtua yhtäkkiä. Jännityskorroosiolle altistaa erityisesti kloridiympäristö (esim. merivesi) ja korkea rakenteen käyttölämpötila, yhdessä vetojännityksen kanssa. Itsessään hitsauksen jäännösjännitykset voivat jo aiheuttaa jännityskorroosion muodostumisen. Jännityskorroosiolle alttiita materiaaleja ovat austeniittiset ruostumattomat teräkset ja nikkeliseokset. Ferriittiset ruostumattomat teräkset kestävät yleisesti paremmin jännityskorroosiota. [4,8] Jännityskorroosiovauriota korjattaessa tärkeää on materiaalin valinta sekä varmistaa, että materiaaliin ei jää liiallisia jäännösjännityksiä. Hitsauksen jäännösjännityksiä voidaan ehkäistä jännityksenpoistohehkutuksella.

11.4. Kuluminen

Adhesiivisessa kulumisessa kaksi toistensa suhteen liikkuvaa kappaletta tarttuvat toisiinsa paikallisesti paineen aiheuttaman ”kylmähitsautumisen” kautta. Kun kappaleet lähtevät liikkeelle, niin pinnat repeävät irti toisistaan, materiaalin pinnasta irtoa partikkeleita. Irronneet partikkelit jäävät kappaleiden väliin kulutusta lisäävinä partikkeleina, nopeuttaen kulutusta. Adhesiivista kulutusta voidaan ehkäistä käyttämällä niukkaseosteista martensiittista terästä materiaalina/pinnoitteena. Muina vaihtoehtoina on austeniittisen ruostumattoman teräksen tai koboltiseoksen käyttäminen joko materiaalina tai pinnoitteena. Koboltiseokset soveltuvat erityisesti korkeisiin lämpötiloihin ja toimivat hapettavissa olosuhteissa. Materiaalin valinnassa korjaamisen suhteen tärkeintä on, että toisiaan vastaan liikkuvat kappaleet eivät ole samaa kovuutta, vaan toisen pinnan tulisi olla pehmeämpää materiaalia. [4] Yleisesti suositeltavaa on, että korjaamisen kannalta helpompi kappale olisi pehmeämpi, koska kuluminen tapahtuu pehmeämmässä materiaalissa.



**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 52(57)
--	---	--	------------------------

Abrasiivinen kuluminen syntyy, kun kovempi pinta tai pintojen välissä oleva kova partikkeli hioo kappaleen pintaan uria. Abrasiivista kulumista syntyy erityisesti pölyisissä kohteissa, missä esim. kivi- tai keraamipöly pääsee hiomaan kappaleiden välissä, esim. myllyt, murskaimet tai sekoituslavat. Abrasiivista kulumista ehkäistään tyypillisesti käyttämällä riittävää kovuutta omaavia materiaaleja, kuten martensiittisiä kulutusteräksiä tai karbideja sisältäviä seoksia.

Erosiivinen tai eroosiokuluminen johtuu kiinteiden hiukkasten tai nestepisaroiden iskeytymisestä pintaan suurella nopeudella. Kulumismekanismi on lähellä abrasiivista kulumista, mutta eroosiokulumisessa partikkelin tai pisaran aiheuttama iskumainen kuormitus aiheuttaa kulumisilmiön. Eroosiokulutuksen kestoa voidaan parantaa kovapinnoituksella, kuten martensiittisellä teräksellä, keraamipinnoitteilla (WC, Cr₃C₂, B₄C, Al₂O₃ tai SiC) tai kulutusteräksillä. [4]

11.5. Murtuma

Viruminen on metallisen materiaalin hitaasti tapahtuvaa pysyvää muokkautumista, joka tapahtuu alle myötörajan olevalla kuormituksella korkeassa lämpötilassa. Virumista alkaa tapahtua metalleilla, kun materiaalia käytetään yli 0,4T_s lämpötilassa (T_s = sulamislämpötila). Viruminen voi aiheuttaa koneen osan tai rakenteen rikkoontumisen liiallisen muodonmuutoksen takia tai se voi johtaa koko osan murtumiseen. Virumista hyvin kestäviä materiaaleja sanotaan yleisesti kuumalujiksi teräksiksi ja materiaaleja löytyy useita. Matalasti seostetut hiilimangaaniteräkset, joilla on perusrakenneteräksiä korkeampi mangaanipitoisuus, on yksi kustannustehokas materiaali, jolla käyttölämpötilat ulottuvat 350-400 °C, esim. P265GH. Korkeamman käyttölämpötilan tarjoaa kromi-, molybdeeni- ja vanadiiniseostetut teräkset, esim. 7CrMoVTiB10-10. Näiden lisäksi korkeamman seostuksen martensiittiset seosteräkset, jotka tarjoavat hyvät virumisominaisuudet korkeissakin lämpötiloissa, esim. X10CrMoVNb9-1. [4,8] Virumisen kannalta tärkeää on valita riittävän lämpötilan kestävä materiaali korjattavaan kohteeseen, jotta taataan korjauksen riittävä virumisenkesto.

Väsyminen on vaihtuvan kuormituksen aiheuttama murtuma, jossa rakenteen epäjatkuvuuskohtaan (esim. hitsin rajaviiva) ydintyy jännityskeskittymä ja alkusärö, josta murtuma alkaa edetä jokaisen kuormanvaihdon yhteydessä. Väsymisen aiheuttaman vaurion korjaamisessa materiaalia tärkeämpää on saada korjaus toteutettua mahdollisimman laadukkaasti. Siten että korjaukseen ei jää säröjä, sulkeumia, halkeamia tai huokosia, joihin uusi väsymismurtuma voi ydintyä. Lisäksi korjaaminen tulee suunnitella



 TURKU AMK TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	 UNIVERSITY OF TURKU	Dokumentin nimi Metallituotteiden uusi elämä (MUE) – hanke / raportti	Sivu 53(57)
--	---	--	------------------------

siten, että saadaan sulahitsauksen rajaviivat geometrisesti mahdollisimman juoheviksi, jotta ehkäistään jännityksen ydintymistä. [4]

Haurasmurtuma on matalassa lämpötilassa iskumaisen kuormituksen takia tapahtuva murtuma, jossa materiaali on menettänyt sitkeyden ja murtuma pääsee etenemään hauraasti materiaalissa. Tällöin teräksen tai hitsausliitoksen transitiolämpötila on liian korkealla suhteessa rakenteen tai osan käyttölämpötilaan, eli materiaalilla ei ole enää riittävää sitkeyttä käyttölämpötilassa. Haurasmurtuma on erityisesti ferriittisten ja martensiittisten terästen haaste, johon voidaan vaikuttaa seostuksella ja raekooalla. Hienoraeteräkset tarjoavat hyvän kylmäsitkeyden ja raekokoa voidaan rajoittaa niobi-, vanadiini-, titaani- ja zirkoniseostuksella. Muutoin em. hienoraeteräkset ovat seostukseltaan ns. normaaleja hiili-mangaani teräksiä. Toisena vaihtoehtona on käyttää teräksillä Ni seostusta, joka voi olla 0,5 % Ni pitoisuudesta aina 9 % Ni seostukseen. Nikkelipitoisuuden kasvaessa, materiaalin lujuus ja sitkeys matalissa lämpötiloissa paranee. Muuna vaihtoehtona on käyttää austeniittista ruostumatonta terästä korjaamisessa. Austeniittisilla ruostumattomilla teräksillä ei ole transitiolämpötilaa, jonka takia ne säilyttävät sitkeyden myös todella matalissa lämpötiloissa. [8] Haurasmurtuman korjaamisessa on tärkeää tunnistaa, että onko kyse ollut paikallisesta ongelmasta, joka voidaan korjata vai onko kyse virheellisesti valitusta materiaalista, jolloin koko rakenne tulee vaihtaa. Paikallinen ongelma voi olla esim. hitsin murtuminen haurasmurtumalla, joka johtuu liiallisesta lämmöntonnoista hitsauksen aikana, jonka takia lämpövyöhykkeen rakeenkasvu on ollut liiallista.

Ylikuormituksesta johtuva sitkeä murtuminen. Rakennetta on käytetty suunnitellun kuormituksen vastaisesti, mutta rakenne on murtunut myötäämisen kautta sitkeästi. Näissä tilanteissa korjaaminen voidaan suorittaa perusainetta vastaavalla tai mahdollisesti hieman lujemmalla materiaalilla, jos halutaan vahvistaa kyseistä kohtaa. Lisäksi tulee ottaa huomioon, että mikäli käytetään lujempaa materiaalia korjaamisessa, niin rakenne ei välttämättä enää käyttäydy suunnitellusti ylikuormitustilanteessa.

11.6. Vaihtoehtoiset materiaalit korjaamiseen

Kun kappaleen perusaine tiedetään ja vauriomekanismi on tunnistettu, niin voidaan tehdä soveltuvan materiaalin valinta korjaamistyöhön. Tässä osuudessa on esitelty joitakin tyypillisimpiä vaihtoehtoja mitä voidaan käyttää kappaleiden korjaamisessa.

Korroosion aiheuttaman vaurion korjaamiseen soveltuvat materiaalit

Voimakkaasti korroosiosta kärsivissä ympäristöissä käytetään monesti niin sanottuja super austeniittisia teräksiä (esimerkiksi 254 SMO & 654 SMO). Nämä teräkset ovat voimakkaasti seostettuja nikkelillä, kromilla, molybdeenillä ja typellä, jonka takia ne tarjoavat hyvän keston



**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 54(57)
--	---	--	------------------------

piste- ja rakokorroosiota varten. Em. teräksistä löytyy laatuja, joiden PREN-arvo on 56, kuva 1. Kuitenkin nämä teräkset ovat mikrorakenteeltaan austeniittisia, joten ne eivät sovellu niin hyvin ympäristöihin, joissa jännityskorroosio on haaste. Nämä teräkset ovat myös korkean nikkeliseostuksen johdosta kalliimpia. [8]

Super duplex-teräkset (esim. 2507 tai 2205) tarjoavat hyvän vaihtoehdon super austeniittisille teräksille. Nämä teräkset ovat mikrorakenteeltaan austeniittis-ferriittisiä, tarjoten austeniittisiä teräksiä paremman lujuuden, mutta hieman heikomman pistekorroosion keston, kuva 1. Parhaimmillaan super duplex-teräksillä päästään PREN-arvossa yli 40 ja myötölujuudessa 550 MPa luokkaan. Super duplex-teräkset tarjoavat myös austeniittisiä teräksiä paremman jännityskorroosion keston, johtuen austeniittis-ferriittisestä mikrorakenteesta. [6,8]

Haastaviin korroosio-olosuhteisiin löytyy nikkeliseoksia, joita voidaan käyttää korjaamisessa. Yleisesti nikkeliseokset tarjoavat erittäin hyvän korroosionkeston monissa olosuhteissa, kuten happoja, emäksiä tai kloridia sisältävissä ympäristöissä. Lisäksi nikkeliseokset tarjoavat hyvän korroosion keston korkeissa lämpötiloissa. Yleisesti nikkeliseokset tarjoavat ruostumattomia teräksiä paremman korroosion keston piste- ja jännityskorroosiota vastaan. Yleisesti pinnoituksessa ja korjaamisessa käytettyjä nikkeliseoksien kauppanimiä ovat Hastelloy C-276, Inconel 625 ja Monel 400. Nikkeliseokset ovat ruostumattomia teräksiä kalliimpia. [8]

Kulumisen aiheuttaman vaurion korjaamiseen soveltuvat materiaalit

Koboltiseoksia käytetään, kun halutaan parantaa kulutuskestävyyttä vaativissa käyttöolosuhteissa. Koboltiseokset tarjoavat hyvän kulumisenkeston abrasiivista- ja eroosiokulumista vastaan sekä estää adheesiokulumista. Koboltiseokset tarjoavat korkean kovuuden ja kuumalujuuden, jonka johdosta koboltiseoksia voidaan käyttää myös kohteissa, joissa vaaditaan hyvää kulutuksenkestoa korkeissa lämpötiloissa. Lisäksi koboltiseoksista löytyy seoksia myös korroosio-olosuhteisiin, kuten rikki- ja fosforihappoja sekä emäksiä ja klorideja vastaan. Tyypillisiä kauppanimiä koboltiseoksille on Stellite (pääasiassa koboltin ja kromin seos) ja Tribaloy (pääasiassa koboltin ja molybdeenin seos). [10,11,12] Koboltti seoksilla korjaamisessa tulee ottaa huomioon, että jos teräskomponenttia korjataan, niin koboltiseoksen sekoittuminen teräksisen perusaineen kanssa johtaa koboltiseoksen kovuuden laskuun. Tästä syystä sulapinnoitusmenetelmiä käytettäessä on varmistettava, että perusainetta ei sula liikaa lisääaineen joukkoon, jotta haluttu kovuus saavutetaan.

Nikkelipohjaiset seokset ovat erinomainen valinta kovapinnoitukseen ja kuluneiden osien korjaamiseen vaativissa olosuhteissa. Ne tarjoavat yhdistelmän korkeaa korroosionkestoa, lämpötilankestoa ja mekaanista lujuutta. Nikkeliseoksia kovapinnoittamiseen ovat mm. Inconel-seokset (esim. 625, 718), jotka soveltuvat korkeisiin lämpötiloihin ja hapettaviin



**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 55(57)
--	---	--	------------------------

ympäristöihin. Hastelloy-seokset (esim. C-276): Erinomainen kemiallinen kestävyys happoja ja klorideja vastaan. Monel-seokset (esim. 400): Hyvä merivedenkesto ja mekaaninen lujuus. [13,14] Pääsääntöisesti em. seosten hitsattavuus vaihtelee välillä hyvä – kohtalainen, kunhan hitsauksen puhtaudesta pidetään huolta, jotta epäpuhtaudet eivät aiheuta huokoisuutta tai korroosionkeston laskua. Lisäksi esim. Inconel 718 laatu on herkkä kuumahalkeilulle, joten silloin on tärkeä huomioida hitsin muoto ja lämmöntuonti. [8]

Rautapohjaisista seoksista löytyy myös paljon vaihtoehtoja kulumisen keston parantamiseen, esimerkkeinä kulutusteräksestä voidaan mainita 25MnCr4-3 tai 40MnCrNiMo6-6-6. Nämä teräkset ovat voimakkaasti karkenevia ja sen takia tuottavat korkean kovuuden martensiittisen rakenteen, joka antaa hyvän keston kulutusta vastaan. Voimakkaan karkenevuuden johdosta kulutusteräksset ovat herkkiä kylmähalkeilulle sula hitsaukseen perustuvissa korjauksissa. Täten on tärkeää käyttää riittävää esilämmitystä ja välipalkolämpötilaa koko prosessin ajan, jotta kylmähalkeilu estetään. Mitä suuremman kovuuden seosta ollaan käyttämässä, niin sitä vaativampi se on hitsaamiselle. Korjaamisen jälkeen kappale olisi hyvä lämpökäsitellä (karkaisu jonka jälkeen nuorutus tai päästö, riippuen halutusta kovuustasosta), jotta hitsauksella korjatulle muodolle / pinnalle saadaan riittävästi sitkeyttä. [8]

Murtumien aiheuttaman vaurion korjaamiseen soveltuvat materiaalit

Murtumien korjaaminen riippuu voimakkaasti vaurioitumisen tyypistä ja kappaleen käyttölämpötilasta. Korkeissa käyttölämpötiloissa on tärkeää käyttää hyvin virumista kestäviä materiaaleja, esim. X10CrMoVNb9-1. Vastaavasti haurasmurtuman yhteydessä, kylmän kestävä / kylmäsitkeä materiaalin käyttö on tarpeellista, jolla on riittävän matala transitiolämpötila käyttökohteeseen, esim. vahvasti nikkeliseosteinen teräslaatu. Väsymisen yhteydessä materiaalivalinnalla ei ole merkittävää vaikutusta, vaan tällöin tulee korjaamisen suoritustekniikkaan keskittyä, että korjauksesta tulee eheä ja ettei korjattavaan kohtaan synny epäjatkuvuuskohtia, joihin väsymismurtuma voi ydintyä. [4,8]



**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 56(57)
--	---	--	----------------

12. Lähteet

- [1] K. Ruokamo. 2022. XRF-analysaattori materiaalintunnistuksen apuna. Viitattu 19.6.2025. Saatavissa: <https://blogit.lab.fi/labfocus/xrf-analysaattori-materiaalintunnistuksen-apuna/>
- [2] SPECTRO ANALYTICAL INSTRUMENTS. Nine Elements That Challenge Handheld XRF Analyzers — But Are Easy for OES. Viitattu 19.6.2025. Saatavissa: <https://extranet.spectro.com/-/media/E5B5A086-0E7E-4171-AD0F-DC4E21AFCABE.pdf>
- [3] B. Bains. 2023 A Beginner's Guide to Mass Spectrometry. Viitattu 19.6.2025. Saatavissa: <https://www.acdlabs.com/blog/a-beginners-guide-to-mass-spectrometry/>
- [4] Lukkari, Kyrönen & Kauppi. 2016. Hitsauksen materiaalioppi osa1: metalliopin perusteet, terästen luokittelu ja valmistus, rakenneterästen käyttäytyminen hitsauksessa, murtuma ja korrosio
- [5] International Molybdenum association. Stainless grades and properties. Viitattu 19.6.2025. Saatavissa: <https://www.imoa.info/molybdenum-uses/molybdenum-grade-stainless-steels/steel-grades.php>
- [6] Outokumpu. Duplex stainless Steels Outokumpu Forta range datasheet. Viitattu 19.6.2025. Saatavissa: <https://otke-cdn.outokumpu.com/-/media/files/products/forta/outokumpu-forta-range-datasheet.pdf?revision=0f5520ea-c3f6-47e5-9b4f-2edc78c9b6a0&modified=20220801080630>
- [7] Langley Alloys. Pitting Resistance Equivalent Number >40. Viitattu 19.6.2025. Saatavissa: <https://www.langleyalloys.com/pitting-resistance-equivalent-number-40/>
- [8] Lukkari, Kyrönen & Kauppi. 2016. Hitsauksen materiaalioppi osa2: Metallit ja niiden hitsattavuus
- [9] G. Sorell. 1998. CORROSION-ANDHEAT-RESISTANT NICKEL ALLOYS: GUIDELINES FOR SELECTION AND APPLICATION Viitattu 19.6.2025. Saatavissa: https://nickelinstitute.org/media/8daa6b1c7cf7e9b/10086_corrosionandheatresistantnickelalloys.pdf
- [10] R. Ahmed,H.L. de Villiers Lovelock & S. Davies 2021 Sliding wear of blended cobalt based alloys. Viitattu 19.6.2025. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043164820309923>
- [11] Kennametals. Stellite family of alloys - High Temperature Strength, Wear & Corrosion Performance. Viitattu 19.6.2025. Saatavissa: <https://www.stellite.com/us/en/alloys/stellite.html>



**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 57(57)
--	---	--	------------------------

[12] Kennametals. Tribaloy family of alloys - Metal-to-Metal Anti-Galling Performance. Viitattu 19.6.2025. Saatavissa: <https://www.stellite.com/us/en/alloys/tribaloy.html>

[13] D. Tandon, H. Li, Z. Pan, D. Yu and W. Pang. 2023. Review on Hardfacing, Process Variables, Challenges, and Future Works Viitattu 19.6.2025. Saatavissa: <https://www.mdpi.com/2075-4701/13/9/1512>

[14] G. J. Cox. 1989. DEVELOPMENT OF ABRASIONRESISTANT, NICKEL-CONTAINING ALLOY WHITE IRONS OF HIGH HARDNESS. Viitattu 19.6.2025. Saatavissa: https://nickelinstitute.org/media/8daa619e979d888/10038_developmentofabrasion_resistant_nickel_containingalloywhiteironsofhighhardness.pdf



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Varsinais-Suomen liitto
Egentliga Finlands förbund**