Euroopan unionin osarahoittama

SATAKUNTALIITTO
Regional Council of Satakunta

TURUN YLIOPISTO

MALAMA

LASERTEKNOLOGIAN INVESTOINNIN ARVIOINTI

– Laserpuhdistus meriteollisuudessa ja lasermerkkaus pakkausteollisuudessa

Elisa Aro & Nikhil Kamboj
MALAMA-hankkeen raportti 2025
Turun yliopisto

Raportin julkaisija
MALAMA-hanke (1.5.2023–31.8.2025)
Turun yliopisto
Turun kauppakorkeakoulu, Porin yksikkö
Teknillinen tiedekunta, Kone- ja materiaalitekniikan laitos
Projektin nettisivu: sites.utu.fi/malama
Julkaistu 29.8.2025, päivitetty 28.11.2025

Kirjoittajat
Elisa Aro (kappaleet 1–4, 6)
Nikhil Kamboj, suomentanut ja editoinut Heidi Piili (kappale 5)

Kannen kuva
mikasuvanto / Pixabay

Julkaisun sisältö vastaa kirjoittajien näkemyksiä eikä välttämättä edusta rahoittajien näkemyksiä asiasta.

Kirjoittajat kiittävät rahoitusviranomaista Satakuntaliittoa sekä kaikkia tutkimus- ja kehitystyöhön osallistuneita yrityksiä ja asiantuntijoita yhteistyöstä.

Sisällysluettelo

1. Johdanto 3
2. Ympäristölaskentatoimi ja tuotteen/palvelun elinkaarikustannukset 5
2.1. Kustannusanalyysi: investoinnin hankintameno ja jäännösarvo sekä käyttökustannukset 6
2.2. Investoinnin kannattavuus 7
3. Laserteknologian investoinnin soveltamiskohteet hankkeessa: tavoite ja menetelmät 10
3.1. Laserpuhdistusprosessi 12
3.2. Uuden teknologian integroinnin ja prosessin digitalisoinnin vaikutuksia 14
4. Laserteknologian investoinnin kannattavuus: laskentamallin esittely 17
4.1. Kustannusanalyysi 17
4.2. Investoinnin kannattavuus 22
4.3. Viitekehyksen ja laskentamallin soveltaminen pakkausteollisuuden lasermerkkausprosesseissa 22
4.4. Taloudellisuuden ja ympäristövaikutusten arviointi 24
5. Nettovaikutusmenetelmä – vertailu hiekkapuhalluksen ja laserteknologian välillä meriteollisuuden sovelluksissa 26
6. Johtopäätökset 31
Lähteet 33

Liitteet

Liite 1: Laskentamalli

Liite 2: Esimerkkilaskelma

1. Johdanto

MALAMA-hankkeen lyhenne tulee sanoista ”Maalatun ja maalattavan pinnan esivalmistelu laserilla Marine-kontekstissa”. MALAMA on Euroopan unionin osarahoittama hanke, jonka toteuttajana on Turun yliopiston kauppakorkeakoulun Porin yksikkö ja Turussa sijaitseva Kone- ja materiaalitekniikan laitos (hankekoodi A80056). Hanke rahoitetaan osana EU:n alue- ja rakennepolitiikan ohjelmaa Uudistuva ja osaava Suomi 2021–2027, ja rahoitusviranomaisena toimii Satakuntaliitto. Hankkeen toteutusaika on 1.5.2023–31.8.2025.

MALAMA-hanke pureutuu pintojen esikäsittelyn ja uusien menetelmien tarpeeseen aiempien käytettyjen menetelmien, kuten hiekkapuhallus, korvaajana erityisesti laivanrakennus-teollisuudessa. Tarkemmin ottaen hanke selvittää laserpuhdistustekniikan käyttömahdollisuuksia taloudellisuuden ja ympäristön kannalta. Hanke tähtää siihen, että lasertekniikka saataisiin niin laivanrakennuksen kuin myös pakkausteollisuuden käyttöön. Hankkeen kohderyhmän joukossa on meriklusterin ja pakkausteollisuuden yritykset sekä muut mahdollisesti laserteknologiasta hyötyvät toimijat Satakunnan alueella.

Hankkeessa on useita eri työpaketteja, joista työpaketti 5 on nimeltään ”Kustannusanalyysi eri teknologioista/niiden käyttöönotosta sekä analyysi uusien teknologioiden optimaalisesta integraatiosta tiedonsiirron näkökulmasta”. Tämä raportti liittyy työpaketti viidessä tehtyyn työhön. Työpaketin yhtenä tavoitteena on, kuten hakemuksessa on mainittu, tunnistaa kaikki olennaiset kulut, jotka liittyvät laserteknologian käyttöön kustannuslaskentaa apuna käyttäen. Tavoitteena on myös löytää kokonaistaloudellisesti edullisin vaihtoehto laivanrakennuksen sekä pakkausteollisuuden kontekstiin. Laserteknologiaa hyödynnetään monenlaisissa teollisissa sovelluksissa ja investointia arvioitaessa tulee ottaa huomioon erilaisia kannattavuuteen ja kokonaistaloudelliseen tilanteeseen vaikuttavia muuttuvia tekijöitä, kuten laserpuhdistuksen ja lasermerkkauksen käyttökohteen materiaalit, laserlaitteen teho ja käyttöaste, kenen tiloissa puhdistetaan tai merkataan sekä hyödynnetäänkö prosessissa automaatiota ja robotiikkaa. Hankkeessa on luotu viitekehys kustannuksista sekä malli investoinnin kannattavuuden laskemiseen, joita yritykset voivat hyödyntää omissa prosesseissaan arvioidessaan kokonaistaloudellista tilannetta ja vertaillessaan edullisinta teknologista ratkaisua. Hankkeessa on tuotettu lisäksi esimerkkilaskelma, josta voi tarkastella esimerkkitapauksen kautta, miten eri kustannukset ja tuotot voivat vaikuttaa kannattavuuteen. Viitekehyksen sopivuudesta lasermerkkaukseen pakkausteollisuudessa on myös keskusteltu yritysten ja tutkijoiden kanssa. Investoinnin kannattavuuden laskentamalli on luotu erityisesti laserpuhdistusprosessin pohjalta, mutta keskustelujen pohjalta todettiin, että viitekehys voi soveltuvin osin toimia myös lasermerkkauslaitteiden investoinnin kannattavuuslaskentaan. Eroavaisuuksia laserpuhdistuksen ja -merkkauksen välillä löytyy ja ne on otettava huomioon viitekehystä käytettäessä.

Työpaketti pyrkii myös selvittämään ja analysoimaan uuden teknologian integrointia yrityksen prosesseihin ja digitaalisten muutosten hyödyntämistä prosesseissa. Samalla pohditaan investoinnin taloudellisia vaikutuksia yrityksille. Analyysissa otetaan ympäristövaikutukset huomioon, kuten investoituun laitteeseen liittyvä materiaalien käyttö, jätteenkäsittely ja niistä aiheutuvat kustannukset. Analyysin pyrkimyksenä ei kuitenkaan ole tuottaa kokonaisvaltaista life

cycle assessment (LCA) -analyysia. LCA:n sijaan tavoitteena on hyödyntää periaatteita ympäristölaskentatoimesta selvittäen laserteknologian elinkaarikustannukset ja investoinnin kannattavuutta pohtien samalla teknologian käytön ympäristöllisiä ja kokonaistaloudellisia vaikutuksia yrityksille. Lisäksi työpaketin yhtenä tavoitteena on selvittää nettovaikutusmenetelmän soveltuvuutta uuden valmistustekniikan käyttöön. Raportissa esitellään nettovaikutusmenetelmä, jonka on kehittänyt Upright Project: nettovaikutusmalli tarkastelee vaikutuksia neljässä keskeisessä ulottuvuudessa, jotka ovat ympäristö, terveys, yhteiskunta ja tieto. Tässä raportissa menetelmää käytetään vertailemaan hiekkapuhallusta ja laserpuhdistusta toisiinsa sekä arvioimaan niiden nettovaikuttavuutta, joka muodostuu positiivisten ja negatiivisten vaikutusten yhteissummasta.

2. Ympäristölaskentatoimi ja tuotteen/palvelun elinkaarikustannukset

Ympäristölle aiheutuvat haitat ovat yleisesti tiedossa ja yrityksiltä vaaditaan vastuullista ja ympäristöä huomioivaa toimintaa sekä ympäristöinvestointeja, jotta ympäristöhaitat vähentyisivät. Dyllick ja Muff (2016) puhuvat vastuullisen liiketoiminnan eri tasoista yrityksissä, joissa kolmannella tasolla olevat yritykset kuuluvat ns. todellisen vastuullisuuden tasolle (’true sustainability’). Tästä esimerkkinä on se, että vaikka jokin teko maksaisi enemmän, kyseinen teko valitaan, jos se on luonnon kannalta parempi ja toiminnalla pyritään parantamaan ympäristön tilaa entisestä, ei pelkästään minimoimaan mahdollisia toiminnan aiheuttamia vaikutuksia. Vastuullisuusasioiden yhteydessä puhutaan myös paljon ekotehokkuudesta. Ekotehokkuus yhdistää taloudelliset luvut ja ympäristötoimet mittaamalla näiden suhdetta (Schaltegger ja Burritt, 2017, s. 238). Ekotehokkuuden takana on ajatus siitä, että yritys pyrkii parantamaan toimintaansa tehostamalla sitä ja saavuttamalla tuloksia mahdollisimman vähin taloudellisin panoksin samalla tehden luonnon kannalta hyvä päätöksiä. Huomioitavaa on, että aina ympäristötekijät ja nettohyödyt eivät ole suoraan rahassa mitattavissa. (ibid.)

Ympäristölaskentatoimi on ollut käsitteenä jo pitkään ja ympäristölaskentatoimen tarve maailmassa ei ole vähentynyt, päinvastoin, ympäristövaikutuksia mitataan yhä enemmän ja vaikutusten mittaamista vaaditaan yrityksiltä. Samalla laskentatoimen pitää vastata tähän tarpeeseen omalta osaltaan laskemalla vaikutusten rahallista arvoa. Mutta mitä ympäristölaskentatoimi tarkalleen ottaen tarkoittaa ja sisältää?

Niskala ja Mätäsaho (1996, s. 143) kuvaavat ympäristölaskentatoimen käsitettä mm. seuraavalla tavalla:
Ympäristölaskentatoimi on prosessi, jossa identifioidaan, luokitellaan, analysoidaan, käytetään ja raportoidaan ympäristöön liittyvää kustannusinformaatiota ympäristöjohtamisen tarpeisiin ja tueksi. Informaation tuottamisen ja siihen perustuvan päätöksenteon tarkoituksena on samanaikaisesti sekä tuottaa rahallista hyötyä yritykselle että vähentää yrityksen haitallisia ympäristöön kohdistuvia vaikutuksia.

Johdon ympäristölaskentatoimi on siten käytännössä liikkeenjohdon laskentatoimea, joka ulotetaan koskemaan myös ympäristövaikutuksia (Niskala ja Mätäsaho, 1996, s. 143) ja niihin liittyviä kustannuksia ja tuottoja. Mitä tulee ympäristökustannuksiin, Niskala ja Mätäsahon (1996, s. 23) mukaan ympäristökustannukseksi voidaan sisällyttää mikä tahansa kustannus, johon ”ympäristöön liittyvät asiat vaikuttavat”.

Kustannuslaskennassa kustannuksia voidaan tarkastella monesta eri lähtökohdasta ja sama pätee ympäristölaskentatoimen osalta. Schaltegger ja Burritt (2017, s. 236–237) mainitsevat, että ympäristötietoa voidaan kerätä esimerkiksi tuotteesta, maantieteellisestä alueesta tai yrityksistä/toimialoista kokonaisuudessaan, ja näitä voidaan myös yhdistellä. Tuotetiedossa viitataan esimerkiksi tuotteeseen liittyvään yhteen tuotantovaiheeseen, kaikkiin tuotantovaiheisiin tai koko tuotteen elinkaareen (ibid.). Tämän raportin kohteena on tuote ja tuotteeseen liittyvä spesifi tuotantoprosessi eli laserteknologialla suoritettava puhdistus- tai merkkausprosessi.

”Life-cycle assessment” LCA puolestaan on termi elinkaariarvioinnille tai analyysille, josta puhutaan enemmissä määrin yritysten ja tuotteiden vastuullisuusasioita käsitellessä. Niskala ja Mätäsaho (1996, s. 127) huomauttavat, että elinkaarianalyysin yhteydessä on tärkeää asettaa rajat ennen kuin esimerkiksi tarkkailun alla olevalle tuotteelle tekee elinkaarianalyysia, sillä muutoin tuotteen elinkaarta on vaikea erottaa muista tuotteista. Niskala ja Mätäsaho (1996, s. 127 viittaavat Linnaseen ym., 1994) esitellen elinkaarianalyysin kohdalla erilaisia seikkoja, jotka tulee ottaa huomioon: raaka-aineiden hankinta; valmistus, prosessointi, kokoonpano; jakelu ja kuljetus; käyttö, uudelleenkäyttö ja ylläpito; keräys ja kierrätys; jätteenkäsittely. Lisäksi päästöt tulee huomioida, esimerkiksi mikä on ilmaan ja veteen vaikuttavien päästöjen osuus, mikä kiinteiden jätteiden määrä, mikä on muiden päästöjen määrä, entä minkälaisia sivutuotteita ja tuotteita voi syntyä prosessissa (ibid.).

Schaltegger ja Burrittin mukaan (2017, s. 240) laskentatoimessa asiaa lähestytään kuitenkin ”life-cycle costing” eli elinkaarikustannusten kautta. Tuotteen elinkaarta arvioidessa LCA mittaa ympäristövaikutuksia, kuten energian kulutusta ja päästöjä, kun taas laskentatoimen elinkaarikustannusten kautta pyritään tuomaan esiin tuotteen elinkaaren aikaiset kustannukset rahallisin arvoin (ibid.) Laskentatoimen näkökulmasta ei esimerkiksi riitä, että tiedetään, kuinka paljon energiaa jokin tuote kuluttaa tai mikä päästömäärä siitä aiheutuu, vaan on tärkeä selvittää niistä aiheutuvat kustannukset. Ei ole poissuljettua, että LCA:ssakin yhdistetään rahallisia arvoja analyysiin, vaikkakin se on koettu haasteelliseksi (Amadei, De Laurentiis & Sala, 2021). Tässä raportissa pyrkimyksenä on kokonaisvaltaisen LCA-analyysin sijaan selvittää elinkaarikustannusten kautta laserteknologian kannattavuus yrityksille.

2.1. Kustannusanalyysi: investoinnin hankintameno ja jäännösarvo sekä käyttökustannukset

Ennen investoinnin kannattavuuslaskelmia, yrityksen tulee selvittää investointiin liittyvät kustannukset. Neilimo ja Uusi-Rauva (1999, s. 49) jakavat eri kustannuslajit tuotannontekijäryhmittäin. Heidän esittämässä jaottelussa esitellään neljä tuotannontekijäryhmää ja niiden vastaavat kustannuslajit, jotka ovat seuraavat:

- Raaka-aineet ja komponentit, joissa kustannuksina ovat ainekustannukset
- Työsuoritukset, joiden pääasiallisina kustannuksia ovat työkustannukset eli palkat, sis. henkilösivukustannukset
- Lyhytvaikutteiset tuotannontekijät, joihin liittyy tuotannontekijämaksuja, kuten tarvikekustannuksia, tila- ja laitevuokria, energiakustannuksia, tietoliikennekulut ja kuljetus-/palvelukustannukset
- Pitkävaikutteiset tuotannontekijät, kuten pääomakustannuksiin liittyvät poistot, pääoman korot ja vakuutukset
  (Neilimo & Uusi-Rauva, 1999, s. 49).

Niskala ja Mätäsaho (1996, s. 168) mainitsevat erikseen ympäristöinvestoinnit: heidän mukaansa ympäristöinvestoinneissa yritys huomioi vaikutukset ympäristöön ja sisältää niistä kumpuavat kustannukset laskelmaan. Ympäristöinvestointeja harkittaessa ja kustannuksia laskettaessa yritysten pitää huomioida kustannuksia, jotka Niskala ja Mätäsaho (1996, s. 169–171) jakavat käytännössä kahteen osaan:

1) Investoinnin hankintameno ja jäännösarvo (ts. mitä investoinnille tapahtuu tuotteen elinkaaren loppupäässä).

2) Erilaiset käyttö- ja kunnossapitokustannukset eli työvoima- ja sosiaalikulut, raaka-aineisiin ja muihin materiaaleihin liittyvät kulut, energian käyttöön, vuokriin, korjauksiin ja huoltoihin liittyvät kulut, mahdolliset käytetyt ostopalvelut, jätevesi- ja jätehuoltomaksut, vesien suojelumaksut sekä viimeisenä korvaukset ja kompensaatiot. Tässä raportissa käytetään jatkossa termiä ”käyttökustannukset” kattamaan sekä investoinnin käyttö- että kunnossapitokustannuksia.

Investointilaskemia tehtäessä yrityksen tulee huomioida ne kassavirrat, joihin investointipäätöksellä on vaikutusta; tämä tarkoittaa samalla sitä, että ennen investoinnin ajankohtaa sijoittuvat kassavirrat jätetään pois laskelmista. On myös huomioitava, että yllä mainittu jäännösarvo sisältää kassavirrat, joita syntyy esimerkiksi investoidun laitteen myynnin tai purkutöiden tuloksena. (Knüpfer & Puttonen, 2018, s. 108).

2.2. Investoinnin kannattavuus

Yritykset tekevät päätöksiä investoinneista punniten tarkkaan niiden kannattavuutta. Yleisimpinä keinoina investoinnin kannattavuuslaskennalle on investoinnin tuottoarvion määrittely esimerkiksi sisäisen korkokannan laskemisen kautta. Muita käytettyjä keinoja ovat nykyarvomenetelmä, takaisinmaksuajan menetelmä, pääoman tuottoastemenetelmä ja annuiteettimenetelmä (kts. esim. Knüpfer & Puttonen, 2018; Neilimo & Uusi-Rauva 1999). Yritysten pitää käytännössä valita kuhunkin tilanteeseen sopiva laskentamenetelmä tai yhdistellä eri menetelmiä. Knüpfer ja Puttonen (2018, s. 114–115) mainitsevat, että menetelmien välillä on useita eroja, mitkä voivat vaikuttaa myös investointilaskelmassa saatuun tulokseen. Siksi ei olekaan yhdentekevää, minkä menetelmän valitsee. Knüpfer ja Puttonen (ibid.) nostavat esimerkkinä esiin rahan aika-arvon, joka ei sisälly kaikkiin menetelmiin, kuten takaisinmaksuajan menetelmään. Nykyarvomenetelmä ja sisäisen koron menetelmä puolestaan huomioivat rahan aika-arvon (ibid.) eli jos aika-arvo halutaan ottaa huomioon, nämä ovat siinä suhteessa parempia laskentamenetelmiä. Tosin Niskala ja Mätäsaho (1996, s. 168) mainitsevat etteivät nämäkään täysin sovellu ympäristöinvestointien laskentaan mitä tulee liiketaloudellisiin tuottoihin, syynä se, että menetelmiä sovellettaessa on haastavaa vertailla ympäristöinvestointeihin liittyviä hyötyeriä.

Koska eri investointilaskentamenetelmät vaihtelevat ja niistä saadut tuloksetkin eroavat, yrityksen kannattaa laskea investointien kannattavuutta eri menetelmin ja vertailla tuloksia rinnakkain. Tässä hankkeessa keskitytään kahteen eri menetelmään, koska niissä otetaan huomioon rahan aika-arvo: sisäisen korkokannan menetelmä ja (netto)nykyarvomenetelmä.

Knüpfer ja Puttonen (2018, s. 109) mainitsevat niin nykyarvo- kuin nettonykyarvo -määritelmät, joiden erona on se, että nettonykyarvossa otetaan huomioon investoinnin hankintameno. Kunkin vuoden tulevat kustannukset ja tuotot diskontataan vastaamaan niiden nykyarvoa. Kun laskentakaavasta saadaan positiivinen tulos, investointi on kannattava. (Neilimo & Uusi-Rauva, 1999, s. 212) Diskontattuna korkokantana käytetään tuottovaatimusta, joka huomioi muun muassa rahan aika-arvon ja investoinnin riskit.

Alla olevassa kuvassa 1 esitellään nykyarvomenetelmän kaava, jossa NPV vastaa investoinnin nettonykyarvoa, CF viittaa eri vuosien nettokassavirtoihin, t on vuosi ja r määrittää tuottovaatimusta, jonka yritys on asettanut investoinnille (Knüpfer & Puttonen, 2018, s. 109).

$$NPV = CF_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{CF_t}{(1+r)^t}$$

Kuva 1. Nettonykyarvon kaava. Lähde: Knüpfer & Puttonen (2018, s. 109); mukailtu kuva tehty Copilot-tekoälysovelluksella.

Sisäisen korkokannan menetelmää (Internal Rate of Return, IRR) käytetään laskemaan korkokantaa, jolla investoinnin nettonykyarvoksi tulee nolla. Tämä tarkoittaa, että nettotuottojen nykyarvo, joka saadaan investoinnista, on investointiin käytetyn hankintamenon suuruinen. Mikäli sisäinen korkokanta on vähintään samansuuruinen kuin yrityksen tavoitteeksi asettama tuottoprosentti, on investointi edullinen/kannattava. Vastaavasti investointeja verrattaessa kannattavin vaihtoehto on se, jonka laskelmasta saadaan suurin sisäinen korkokanta. (Neilimo & Uusi-Rauva, 1999, s. 215)

Alla oleva kuva 2 esittää sisäisen korkokannan menetelmän kaavan, jossa NPV viittaa nettonykyarvoon, ”CFt on vuoden t nettokassavirta” ja r kuvaa investoinnin tai projektin sisäistä korkokantaa NPV:n ollessa nolla (Knüpfer & Puttonen, 2018, s. 110–111).

$$NPV = CF_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{CF_t}{(1+r)^t} = 0$$

Kuva 2. Sisäisen korkokannan kaava. Lähde: Knüpfer & Puttonen (2018, s. 110); kaavan kuva tehty Copilot-tekoälysovelluksella.

Kahden edellä mainitun investoinnin kannattavuutta arvioivan menetelmän erona on mm. se, että nykyarvomenetelmä laskee euromääräisen arvon kannattavuudesta, kun taas sisäisen korkokannan menetelmä ilmaisee asian tuottoprosentin kautta (Knüpfer & Puttonen, 2018, s. 110).

Käytännössä ympäristöinvestointien kannattavuuslaskentaan ja ympäristövaikutusten mittaamiseen liittyy vielä paljon haasteita yritystasolla, esimerkiksi miten lasketaan arvo sille, että yritys minimoi toiminnallaan negatiivisia ympäristövaikutuksia tai kykenee parantamaan ympäristön tilaa. Niskala ja Mätäsaho mainitsevatkin, että ympäristöinvestointien kannattavuutta laskettaessa tulee ottaa huomioon vastuu- ja imagoasioita sekä investoinnista saatavat kustannussäästöt ja potentiaaliset tuotot, ja näiden vaikutus tulee huomioida pidemmällä aikavälillä (Niskala ja Mätäsaho, 1996, s. 168). Pitkän aikavälin vaikutusten laskeminen voi kuitenkin olla haastavaa, kuten

juuri vastuisiin liittyvät kustannukset ja imagotekijöihin liittyvät hyödyt (Niskala ja Mätäsaho 1996, s. 169). Haasteista huolimatta näitä ei kannattaisi jättää huomioimatta. Dyllick ja Muff (2016, s. 160) toteavat, että pitkän aikavälin vaikutuksille pitäisi antaa yhtä suuri arvo kuin lyhyen aikavälin asioille vastuullisuusasioita mietittäessä. Lisäksi on hyvä huomioida, että ympäristöinvestointeihin liittyvät kannattavuuslaskelmat eivät ole ainoa keino tarkastella investointeja. Kun Investointeja pohditaan, myös kvalitatiivisella tiedolla on merkitystä, kuten tulevaisuuden ennusteet, visiot, päätöksentekijöiden preferenssit ja arvostukset (Niskala ja Mätäsaho, 1996, s. 169).

Toisaalta on huomioitava, että kehitteillä on uusia sisäisen laskentatoimen raportointimenetelmiä ja enemmissä määrin puhutaan vastuullisuuden ja hiilijalanjäljen mittaamisesta. EU:n asettama Corporate Social Responsibility Directive (CSRD) asettaa esimerkiksi uusia vaatimuksia isoille ja yritysverkostojen kautta muillekin yrityksille vastuullisuusraportoinnin suhteen (Jokinen et al., 2024; Directive (EU) 2022). Yrityksissä mietitään, miten LCA-tietoa kerätään ja mitataan sekä miten siitä raportoidaan. Lisäksi koko ajan kehitetään uusia menetelmiä ns. perinteisten rinnalle, joita yritykset voivat hyödyntää toiminnassaan. Esimerkiksi MALAMA-hankkeessa on tutkittu nettovaikutusanalyysin hyödyntämistä yritysten vastuullisuutta mitattaessa eri osa-alueilla. Tätä menetelmää esitellään esimerkinomaisesti kappaleessa 5.

3. Laserteknologian investoinnin soveltamiskohteet hankkeessa: tavoite ja menetelmät

MALAMA-hankkeen keskiössä on ollut erityisesti laivanrakennusteollisuuden pintojen esikäsittely, jossa prosessia on tutkittu niin hiekka-/raepuhallusmenetelmien kuin laserpuhdistusteknologian näkökulmasta. Laserpuhdistusta käytetään erilaisten pintojen puhdistamiseen esimerkiksi liasta, ruosteesta ja maalista (Tourunen, 2024). Laserpuhdistus on saanut jalansijaa muiden puhdistusmenetelmien joukossa vihreiden ja ympäristön kannalta kestävien ominaisuuksien ja tehokkuutensa vuoksi. Laserteknologia tekee tarkkaa jälkeä, puhdistuksessa ei yleensä käytetä kemikaaleja eikä laserpuhdistuksesta synny päästöjä. (Zhu et al., 2022) On kuitenkin hyvä huomata, että vaikka kemikaalipäästöjä ei syntyisi, käryä voi syntyä, mikä tulee ottaa huomioon prosessissa.

Hankkeen nykytila-analyysiraportissa on arvioitu sekä hiekka-/raepuhallusta että laserteknologiaa puhdistusmenetelminä SWOT-analyysien pohjalta keskittyen vahvuuksiin, heikkouksiin, mahdollisuuksiin ja uhkiin. Raportissa käsitellään laajasti erilaisia näkökulmia, kuten menetelmien käyttökelpoisuutta eri tilanteissa, kustannuksia, ympäristö- ja terveysvaikutuksia sekä turvallisuutta. (Aro et al., 2025) Hankkeessa on samalla pohdittu laserteknologian mahdollisuuksia merkkausprosesseissa pakkausteollisuudessa. Laserteknologian käyttö merkkauksissa on hieman edellä laserpuhdistusta, sillä teknologiaa hyödynnetään jo enemmän eri aloilla.

Mitä tulee laserinvestoinnin kannattavuuden laskemiseen ja kokonaistaloudellisesti edullisimman vaihtoehdon etsimiseen, hankkeen edetessä on huomattu, että edullisinta vaihtoehtoa on haasteellista arvioida. Yritysten tulee huomioida erilaisia seikkoja, jotka vaikuttavat investoinnin arviointiin. Investoinnin kannattavuuteen vaikuttaa muun muassa se, mitä materiaalia ollaan puhdistamassa tai merkkaamassa, minkä tehoisella laitteella, mikä on laitteen käyttöaste ja tehdäänkö työ itselle vai palveluna asiakkaalle, missä tiloissa työ suoritetaan sekä hyödynnetäänkö puhdistuksessa tai merkkaamisessa automaatiota ja robotiikkaa. Taloudellisen tarkastelun osalta haasteena on ollut lisäksi se, että laserteknologia oli vain rajatusti käytössä laivanrakennuksen puhdistusprosesseissa hankkeen alkaessa. Myöskään käytössä olevien perinteisten menetelmien kustannusten selvittäminen ulkopuolisilta tahoilta ei ole ollut ongelmatonta. Siksi hankkeessa on luotu yrityksille tueksi viitekehys kustannuksista sekä malli investoinnin kannattavuuden laskemiseen, joita voi hyödyntää kokonaistaloudellisen tilanteen arvioimiseen ja edullisimman teknologisen ratkaisun vertaamiseen. Tässä raportissa esitellään kustannusanalyysi, investoinnin kannattavuuslaskelma sekä esimerkkilaskelma erityisesti laserpuhdistuksen osalta. Raportissa käsitellään metallituotteisiin liittyvää laserpuhdistusta. Myöhemmin raportissa pohditaan laskelman soveltamismahdollisuuksia pakkausteollisuuden lasermerkkausprosesseissa. Huolimatta siitä, kummasta lasersovelluskohteesta on kyse, on erilaisia tilanteita, joihin laserlaite hankitaan:

a) Yritys investoi omaan laserlaitteeseen ja integroi sen osaksi teollisuusprosessia
b) Yritys investoi laserlaitteistoon ja myy palvelua asiakkailleen uutena tuote-/palvelukonseptina.

Kuten aiemmin on mainittu, MALAMA-hankkeen työn edetessä on käynyt ilmi, että laserpuhdistuksen käyttö on vielä vähäistä meriteollisuudessa, vaikkakin sitä sovelletaan

pienemmille pinnoille ja erityiskohteisiin myös meriteollisuudessa. Hankkeen aikana tehdyissä useissa yrityshaastatteluissa kävi lisäksi ilmi, että meriteollisuuden alalla monet toimijat ostavat pinnanpuhdistuspalvelun ulkoistettuna osana projekteja. Koska alihankinta tuntui olevan vallalla oleva tapa eikä tietoa laserpuhdistuksen käytöstä meriteollisuuden omissa prosesseissa ollut helposti saatavilla, esimerkkilaskelma on luotu yllä mainittuun skenaarioon b) eli yritys investoi laserpuhdistusteknologiaan ja myy palvelua omille asiakkailleen uutena konseptina. Tämä tapaus voisi tapahtua esimerkiksi niin, että yritys investoi laserpuhdistusteknologiaan hiekkapuhallusmenetelmän korvaajana. Kustannusanalyysipohjaan on kuitenkin sisällytetty integrointikustannuksia ja muita hyödyllisiä kulueriä, joista voi olla hyötyä sellaiselle yritykselle, joka hankkii laserpuhdistusteknologiaa omaan käyttöön. Erilaisia esimerkkitilanteita otetaan huomioon myös silloin, kun kustannuslajeja esitellään tarkemmin myöhemmin raportissa.

Menetelmät

Laserteknologian kustannuksia ja investoinnin kannattavuutta lähdettiin selvittämään hankkeessa laserpuhdistusprosessin osalta, mikä on ollut hankkeen pääsoveltamiskohde. Ensin selvitettiin, minkälainen laserpuhdistuksen prosessi on ja mitä työvaiheita koko prosessiin kuuluu. Prosessikuvauksen jälkeen tunnistettiin kaikki olennaiset kululajit, jotka kuuluvat kuhunkin työvaiheeseen. Kululajien hintatietoja selvitettiin haastatteluissa, joita suoritettiin niin yritysten kuin lasertyöstön tuntevien tutkijoiden kanssa. Tietoa haettiin myös julkisista lähteistä. Haastattelujen kautta saatuja tietoja hyödynnettiin laskemalla keskiarvo annetuista hintatiedoista aina kun se oli mahdollista.

On hyvä huomioida, että laserteknologian saralla on yrityksiä, jotka toimivat niin laserpuhdistuksen kuin -merkkauksen parissa. Laserteknologiaan liittyen haastateltiin viisi yritystä, joista kaksi toimi niin laserpuhdistuksen kuin lasermerkkauksen, kaksi ainoastaan laserpuhdistuksen ja yksi ainoastaan lasermerkkauksen parissa (kts. taulukko 1). Yksi yrityksistä tuotti laserpuhdistuspalvelua sekä myi laserteknologialaitteita. Hankkeen aikana haastateltiin lisäksi kuutta muuta yritystä hiekka- ja raepuhallusmenetelmistä ja niiden kustannuksista sekä laserpuhdistusinvestoinnin ja digitalisaation mahdollisuuksista yrityksissä (kts. taulukko 1).

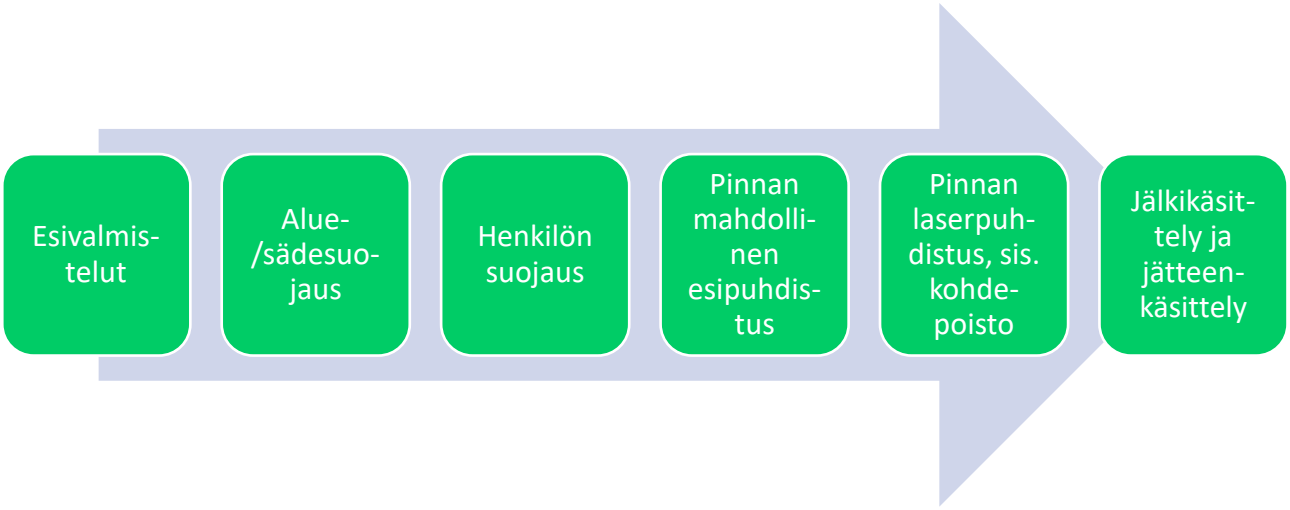
Yritysten lisäksi hankkeen tutkijoiden kanssa tehtiin muun muassa syvähaastatteluja laserteknologioista ja niiden kustannuksista. Hankkeen kolmella eri toteuttajalla, joita haastateltiin tätä työpakettia varten, on n. 70 vuoden yhteiskokemus lasertyöstöstä. Kustannusanalyysin ja investoinnin kannattavuuden mallipohjat lähetettiin laskentatoimen ja yritysrahoituksen asiantuntijoille kommenteille. Palautteeseen osallistuivat yksi yritysrahoituksen vastaavana johtajana työskennellyt, yksi talousjohtajana teollisuudessa työskentelevä henkilö sekä kustannusanalyysipohjan osalta yksi laskentatoimen yliopistolehtori. Lisäksi kustannusanalyysin kävivät läpi hankkeen laserteknologiaan perehtyneet tutkijat.

Taulukko 1. Haastattelut

Yritys	**Toiminto**	**Haastateltava**	**Haastattelun ajankohta**
Yritys a	Laserpuhdistus- ja laser-merkkauslaitteita myyvä ja puhdistuspalvelua tarjoava yritys	Omistaja	7.4.2025
Yritys b	Laserpuhdistuspalvelua tarjoava yritys	Myynnistä vastaava	8.4.2025
Yritys c	Laserpuhdistuspalvelua tarjoava yritys	Omistaja	23.4.2025
Yritys d	Laserpuhdistus- ja lasermerkkauslaitteita myyvä yritys	Huoltopuolella toimiva asiantuntija	29.4.2025
Yritys e	Lasermerkkauspalvelua tarjoava yritys	Toimitusjohtaja ja markkinointipäällikkö	13.5.2025
Yritys f	Hiekkaa myyvä yritys	Hallituksen puheenjohtaja	26.11.2024
Yritys g	Hiekkapuhallusta tekevä yritys	Myyntipäällikkö	12.11.2024
Yritys h	Hiekkapuhallusta tekevä yritys	Toimitusjohtaja	19.11.2024
Yritys i	Hiekka- ja raepuhallusta tarjoava yritys	Päällikkötason tehtävä	20.11.2024
Yritys j	Hiekka- ja raepuhallusta ostava yritys	Päällikkötason tehtävä	30.1.2025
Yritys k	Hiekkapuhallusta tarjoava yritys	Johtotason tehtävä	11.2.2025
Yliopisto	Lasertyöstöön liittyvä tutkimus	Tutkija a	3.4.2025
Yliopisto	Lasertyöstöön liittyvä tutkimus	Tutkija b	21.3.2025,16.4.2025 ja 30.4.2025
Yliopisto	Lasertyöstöön liittyvä tutkimus	Tutkija c	21.3.2025

3.1. Laserpuhdistusprosessi

Laserpuhdistuksen prosessiin liittyy erilaisia vaiheita esivalmisteluista suojaukseen, pinnan puhdistamiseen ja jälkikäsittelyyn sekä jätteenkäsittelyyn (kts. kuva 3). Vaiheet on tärkeä selvittää aluksi, jotta voi määritellä kululajit eri työvaiheisiin.



Kuva 3. Laserpuhdistusprosessi.

Tutkijoiden ja yritysedustajien kanssa tehtyjen haastattelutulosten perusteella ensimmäinen vaihe laserpuhdistuksessa sisältää esivalmisteluita ja kohteen erityispiirteisiin tutustumista. Lasertyöstön tunteva tutkija mainitsi, että tulityöluvat ja työterveysasiat, kuten mahdolliset rekisterit, pitää myös huomioida, ennen kuin prosessi aloitetaan. Kohteet ovat erilaisia ja puhdistettavien pintojen materiaalit eroavat toisistaan. Tutkijat mainitsivat myös, että yrityksen pitää pohtia, tehdäänkö laserpuhdistus työasemassa erillisessä laserpuhdistusyrityksen tilassa vai viedäänkö laserpuhdistuslaite asiakkaan luo, minkälainen kohde puhdistetaan ja minkälaiset olosuhteet ovat. Useat haastateltavista korostivat, että tässä vaiheessa on lisäksi tarpeen tehdä riskiarviointi eli arvioida, onko ympärillä ihmisiä tai riski siitä, että satunnainen henkilö saapuu alueelle. Yrityksen tulee myös huomioida, puhdistetaanko kohdetta erillisessä suljetussa tilassa vai keskellä tuotantoa, mikä vaikuttaa sädesuojaustoimenpiteisiin.

Säde-/aluesuojaus onkin seuraava tärkeä vaihe laserpuhdistuksessa. Laserpuhdistuksessa sädesuojaus ja työntekijöiden turvallisuuteen liittyvät tekijät ovat ehdottoman tärkeitä ottaa huomioon. Haastatteluissa mainittiin, että mikäli puhdistus tehdään tuotannon keskellä, yrityksen tulee asentaa lasersuojaverhot, tehdä rajauksia ja asettaa kyltit varoittamaan ulkopuolisia. Haastatteluaineiston perusteella paikan sädesuojaus tapahtuu nopeasti, pystyttämiseen voi mennä puhdistuspalvelua tarjoavan yritysedustajan mukaan esimerkiksi vain 30 minuuttia. Sädesuojauksen ohella työntekijöiden suojauksesta tulee huolehtia, mikä tarkoittaa, että puhdistusta suorittavien henkilöiden tulee varustautua asianmukaisilla suojavarusteilla, kuten suojalaseilla.

Sädesuojauksen jälkeen siirrytään mahdolliseen pinnan esipuhdistukseen ja laserpuhdistuksen vaiheeseen. Puhdistuksen kestoon ja kustannuksiin vaikuttavat muun muassa puhdistettavien kappaleiden määrä, koko, geometria ja materiaali sekä lisäksi laserpuhdistuslaitteen teho. Osana esivalmisteluja ja pinnan puhdistusta tarvitsee myös miettiä mahdollista paineilman käyttöä ja sähkökytkentöjä sekä kohdepoistoa. Puhdistuspalvelua myyvän haastateltavan mukaan isoimmissa käsikäyttöisissä ja automatisoiduissa laserpuhdistuslaitteissa hyödynnetään paineilmaa, jolla pidetään linssiä puhtaana ja jäähdytetään laitetta. Puhdistuksen aikana huuruja ja pölyjä sekä muuta pinnasta vapautuvaa materiaalia otetaan talteen kohdepoistosuodattimilla.

Pinnan laserpuhdistuksen jälkeen tapahtuva jälkikäsittely sisältää erilaisia toimenpiteitä, kuten puhdistetun pinnan laadun varmistamista ja toiminnallisuutta prosessin jälkeen, mutta myös alueen siistimiseen liittyviä toimenpiteitä. Puhdistuksen jälkeiseen jälkikäsittelyyn ei haastateltavien arvion pohjalta mene paljoa työaikaa, koska esimerkiksi siistiminen on vähäistä: laserpuhdistusta suorittavan operaattorin tulee mahdollisesti imuroida/lakaista tai pyyhkiä likaa tarvittaessa. Jätteen osuus on myös pientä, joten jätteenkäsittely sujuu yleensä helposti.

3.2. Uuden teknologian integroinnin ja prosessin digitalisoinnin vaikutuksia

Laserpuhdistusprosessi voidaan tehdä manuaalisesti ilman investointeja automaatioon. Laserpuhdistusteknologian käyttöön voi kuitenkin liittyä automaatiota, robotiikka ja erilaisia digitaalisia seurantajärjestelmiä, joita hyödynnetään prosessin tehostamisessa (esim. Yue Li et al., 2023), mikäli laserpuhdistusta tehdään automatisoituna hyödyntäen robotiikkaa.

Nykypäivänä digitalisaation moninaiset vaikutukset ja mahdollisuudet ovat laajasti tiedossa yrityksissä. Prosessin digitalisointi on yritykselle kuitenkin suuri muutos, etenkin kun jo olemassa olevia prosesseja digitalisoidaan. Kun yritys digitalisoi prosesseja, on usein tuloksena tarve miettiä koko prosessin uudistamista, jotta digitaalinen muutos olisi todella tehokas. On myös hyvä huomioida, että monesti uudet digitaaliset prosessit ja toiminnot yrityksissä voivat vaikuttaa samalla yritysten liiketoimintamalleihin. (Aro et al., 2019)

Aiemmin esiteltiin elinkaarianalyysiin sisältyviä osa-alueita, jotka tulee huomioida ns. perinteisten investointi- ja tuotantokustannusten lisäksi. Prosesseissa syntyvät sivutuotteet ja muut tuotteet ovat yksi varteenotettava osa-alue tällä saralla (Niskala & Mätäsaho 1996, viittaavat Linnaseen ym. 1994). Esimerkiksi laserteknologian käyttöönotto puhdistusprosesseissa voi avata uusia liiketoimintamahdollisuuksia, sillä yritys voi esimerkiksi tarjota itse laserpuhdistukseen liittyviä palveluita muille toimijoille uutena palveluna sen lisäksi, että käyttää laserteknologiaa omissa prosesseissaan. Uusia liiketoimintamahdollisuuksia voi liittyä lisäksi esimerkiksi laitekorjaukseen, tiettyjä koneen osia voitaisiin puhdistaa laserteknologialla tehokkaammin ilman osien purkamistarvetta ja niiden suojaamista, mitä joudutaan tekemään välillä hiekka-/raepuhalluksen yhteydessä.

Eräässä haastattelussa painotettiin laserteknologian mahdollistavan tuotannon kehittämisen uudella tavalla, mikä ei ollut aiemmin mahdollista. Laserpuhdistuspalvelua tarjoava yritysedustaja viittasi siihen, että laserlaitteeseen investointi on yleensä parannus tuotannon prosessiin tai jopa välttämätön osa, jotta jokin muu työvaihe saadaan suoritettua eli usein kehittämiseen liittyy muutakin tuotannon muutosta. Käytännössä laserpuhdistus toimii mahdollistajana sille, että uusia tuotantomenetelmiä tai prosessin osia voidaan ottaa käyttöön laserteknikan integroinnin myötä.

Kun yritys harkitsee investoivansa uuteen laserteknologiaan, sen tulee huomioida integraatioon liittyviä tärkeitä seikkoja. Haastatteluissa nostettiin esiin tärkeänä asiana turvallisuusasioiden ja käyttöympäristön analyysi laserteknologian käyttöön sopiviksi. Erään yritysedustajan sanoin yrityksen on tarpeen hankkia käytännön tietoa laserteknologiasta ja siihen liittyvästä prosessista. Prosessin ymmärtäminen ja materiaalien tunteminen on erityisen tärkeä työturvallisuusasioiden

puolesta ja muun muassa kohdepoiston järjestämiseksi ja höyryjen poistamiseksi, mikä myös on työturvallisuusasia.

Osassa hankkeen yrityshaastatteluja, joita suoritettiin erityisesti hiekka- ja raepuhallusmenetelmien parissa työskentelevien yritysten kanssa, nostettiin esiin lisäksi prosessin integrointiin liittyvä haaste laadunhallinnan osalta. Usean pintapuhdistusta tekevän yrityksen huolena on laserpuhdistus-tekniikan osalta pinnan karheusaste eli saavutetaanko puhdistaessa oikea pinnan karheus. Hiekka- ja raepuhallusmenetelmälle on standardi tämän osalta, mutta laserpuhdistuksesta se vielä puuttuu (kts. myös Aro et al., 2025). Hankkeen aikana tehtyjen mittausten avulla pystyttiin kuitenkin todentamaan, että pinnan karheus laserpuhdistuksen jälkeen säilyy alkuperäisenä (Tourunen et al., 2025). Toisin sanoen laserpuhdistus voidaan kontrolloida kiinteässä laitteistossa niin tarkasti, että maali ikään kuin haihdutetaan ja pohjamateriaali ei koe muutoksia, ei edes lämpövaikutusta. Vaikka hankkeen alustavat tutkimustulokset osoittavat, että karheus ei ole haaste, standardille olisi silti tarvetta ja se edistäisi laserteknologian integraatiota teollisuusprosesseihin.

Lasermerkkauksen kohdalla eräs haastateltava viittasi tiedonsiirron optimaaliseen integrointiin. Tieto, joka merkataan tuotteeseen tai pakkaukseen, pitää tulla työohjeesta tai tuotannon-ohjausjärjestelmästä. Haastattelussa mainittiin, että ohje tulee usein työohjeesta, mutta tietyt tiedot voisivat tulla suoraan tuotannon ohjausjärjestelmästä oikeanlaisella tiedonsiirrolla laserlaitteelle eli prosessi olisi sen osalta automatisoitu. Myös laserpuhdistuksen osalta tutkijahaastattelussa mainittiin tiedonsiirto toiminnanohjausjärjestelmiin mahdollisuutena. Yritysten tulisi kuitenkin huomioida tiedonsiirron kehittämismahdollisuudet kustannuksissa, mikäli sopivaa tiedonohjausjärjestelmää ei esimerkiksi ole saatavilla tai kehitystyötä sen saralta pitää tehdä.

Yrityshaastatteluissa keskusteltiin lisäksi yleisesti digitalisaation mahdollisuuksista. Haastatteluissa mainittiin, että digitalisointi parantaa tiedonsiirtoa prosessien aikana, liittyi digitaalinen muutos laserteknologian kehitykseen tai johonkin muuhun teknologiaan. Esimerkiksi digitaalinen tiedonsiirto eri työvaiheiden välillä mahdollistaa henkilötyön vähenemisen, kun käytössä on erilaisia online-seurantajärjestelmiä ja tieto kulkee digitaalisena järjestelmissä. Lisäksi hiilijalanjäljen mittaamisessa ja digitaalisissa työohjeissa nähtiin kehittämispotentiaalia. Huoltotoimenpiteissä puolestaan digitalisaation etuja voidaan käyttää hyödyksi laitteistojen huoltojen optimoinnissa, mikä nopeuttaa prosessia. Eräs muun muassa hiekkapuhalluspalvelua tarjoava haastateltava kertoi, että järjestelmä voi ilmoittaa huolloista ja jopa varaa automaattisesti huoltoajat ja ilmoittaa ajastettuihin huoltoihin tarvittavat materiaalit automaattisesti. Digitalisaatio tehostaa siis prosesseja monelta osin. Osa haastateltavista mainitsi kuitenkin, että integraation haasteena voi olla muutosvastarinta alalla, muun muassa seurantajärjestelmät ja osa muistakin digitaalisista muutoksista voi aiheuttaa vastarintaa esimerkiksi työntekijöiden osalta.

Prosessien digitalisoinnissa nähtiin siis yleisesti mahdollisuuksia haastatelluissa yrityksissä. Osalle pienempiä yrityksiä digitalisoinnista syntyvät kustannukset saattavat kuitenkin aiheuttaa haasteita. Osassa haastatteluja mainittiin, että erityisesti pienen yrityksen voi olla haastava panostaa digitaaliseen muutokseen, sillä muutosten toteuttaminen vaatii paljon kehittämistä ja lisäkustannuksia.

Uuden teknologian integroinnin ja prosessin digitalisoinnin seurauksena syntyykin kustannuksia, jotka yritysten tulee laskea tarkkaan ja harkita omalla kohdallaan, mitkä muutokset se integroi omiin prosesseihinsa. Esimerkiksi laserlaitteen investoinnin kannattavuutta laskettaessa laitteen hankintamenon lisäksi yrityksen tulee huomioida kustannukset, joita syntyy mahdollisen automaation ja robotiikan lisäämisen myötä, mikäli yritys päättää hyödyntää niitä prosessin aikana. Lisäksi yrityksen kannattaa laskea investointiin liittyvät muut kustannukset, joita syntyy aiemmin esitellyn laserpuhdistusprosessin eri vaiheissa sekä laitteen tullessa käyttöikänsä päähän. Investoinnin kannattavuuslaskennassa pitää myös arvioida tulevien vuosien tuottoja. Näitä käydään läpi seuraavassa kappaleessa kustannusanalyysin ja kannattavuuslaskelman kautta.

4. Laserteknologian investoinnin kannattavuus: laskentamallin esittely

Investoinnin kannattavuuslaskelmiin sisällytetään investointien tuotot, kulut ja investoinnin hankintameno. Lisäksi tulee määritellä muita tekijöitä, kuten laitteen käyttöikä tai mahdollisesti tuottovaatimusprosentti riippuen, mikä laskentamenetelmä on käytössä. MALAMA-hankkeessa on luotu viitekehys ja laskentamalli, joita yritykset voivat hyödyntää kokonaistaloudellisen tilanteen arviointiin ja edullisimman ratkaisun vertailuun. Liitteessä 1 esitellään Excel-taulukko, jota voi käyttää apuna arvioimaan oman yrityksen investointiin liittyviä kustannuksia ja tuottoja. Liitteessä 2 esitellään hankkeessa tuotettu esimerkkilaskelma laserlaitteen investoinnista.

Investointilaskelmissa kassavirta toimii laskennan pohjana ja laskennalliset erät, jotka eivät aiheuta kassavirtaa, kuten poistot, eivät yleensä sisälly investoinnin kannattavuuslaskelmaan. Käytännössä kustannukset ja tuotot muuttunevat yrityksissä eri vuosina. Mitä paremmin yritys pystyy arvioimaan kustannukset ja tuotot eri vuosille koko investoinnin käyttöiän aikana, sitä luotettavamman arvion investoinnin kannattavuudesta saa. Tässä hankkeessa tuotetun viitekehyksen ja laskentamallin tarkoituksena on kuitenkin tuottaa yksinkertaistettu mukautettava pohja, joka auttaa arvioimaan laserteknologian kustannuksia ja kannattavuutta, joten vuosittaiset kustannukset ja tuotot ovat pääosin samat. Seuraavassa kappaleessa käsitellään ensin laserlaitteen investointiin liittyvää hankintamenoa ja käyttökustannuksia. Myöhemmin raportissa esitellään tuottoja ja muita investointilaskelmaan huomioon otettavia seikkoja.

4.1. Kustannusanalyysi

MALAMA-hankkeen aikana tehdyissä haastatteluissa selvitettiin kaikki olennaiset kululajit, jotka sisältyvät laserpuhdistukseen. Kululajit näkyvät liitteen 1 tyhjässä Excel-taulukossa, jota voi käyttää apuna arvioimaan oman yrityksen investointiin liittyviä kustannuksia. Liitteessä 2 esitellään hankkeessa tuotettu esimerkkilaskelma, kustannustiedot pohjautuvat pitkälti haastatteluaineistosta ja julkisista lähteistä saatuihin keskiarvoihin, tuotot julkisista lähteistä saatuihin tietoihin ja laskennallisiin arvioihin.

Hankintameno

Haastatteluaineiston perusteella laserlaitteen hankintamenon summa ei ole yksiselitteinen asia. Investoinnin hinta voi vaihdella paljon riippuen muun muassa sitä, minkä tehoisen laitteen hankkii yritykseen ja mitä ominaisuuksia siinä on. Yrityksen tulee myös miettiä, hankitaanko yritykseen käsilaserlaite vai integroidaanko laserlaite osaksi teollisuusprosessia esimerkiksi automaatiolinjaan ja käytetäänkö robotiikkaa apuna. Automaattilinja voisi olla esimerkiksi osana valmistusprosessia yrityksessä, ja tätä varten valmistetaan laitteita niin Suomessa kuin ulkomailla. Lasertyöstön tuntevan tutkijan mukaan laserpuhdistuksen osalta tämä tarkoittaisi, että linjastolle tulisi puhdistettavia kappaleita peräkkäin ja koska puhdistettavat kappaleet ovat yleensä erilaisia ja eri kokoisia, robottilinjalla puhdistaminen olisi hankalaa, siksi käytännössä käsilaserlaite toimii paremmin moniin puhdistustilanteisiin. Toisaalta mikäli kyseessä on sarjatuotantokappaleita, robotin käyttö voisi olla hyödyllistä, samoin kuin jonkin ison kohteen, kuten lentokoneen, puhdistuksessa. Lisäksi tutkijoiden mukaan laserlaitteen hintaan vaikuttavat muut laitteen

ominaisuudet, kuten lasersäteen liikkuminen, esimerkiksi 1D-optiikka liikkuu viivamaisesti ja 2D-optiikka tekee kaarevia liikkeitä ja soveltuu tarkkuutta vaativiin kohteisiin. Mitä tehokkaampi ja ominaisuuksiltaan kehittyneempi laite on kyseessä, sitä kalliimpi laite yleensä on.

Laitteen tehoja mietittäessä yrityksen tulee selvittää laitteen käyttöaste ja puhdistettavat kohteet. Yrityshaastattelussa mainittiin, että jos käyttöaste on suuri, yrityksen voi olla perusteltua investoida tehokkaampaan laitteeseen, jolla pinnan puhdistus sujuu nopeammin. Jos käyttö on satunnaista, pienempi teho voi olla riittävä. Laserpuhdistuslaitteen valinnan osalta tärkeää on lisäksi muistaa, että eritehoiset laserlaitteet soveltuvat erilaisiin tarkoituksiin eri toimialoilla eli on ymmärrettävä, minkälaisia pintoja puhdistetaan. Lasertyöstötutkijoiden mukaan laserpuhdistuslaitteissa voi olla integroituna imuri hepa-suodattimilla, mutta mikäli imuria ei ole, tulee se hankkia erikseen, samoin kuin kärynpoistoimuri. Lisäksi tarvitaan paineilmakompressori. Myös optiikka sisältyy joihinkin laitteisiin, kuten yleensä käsilaserlaitteisiin, mutta ei kaikkiin malleihin, kuten robottilaitteisiin. On lisäksi hyvä huomioida, että markkinoilla on saatavilla laitteita, joita voi käyttää sekä laser-puhdistukseen että -merkkaukseen, mikäli tarvetta molemmille on. Laitteiston kertaluontoiset asennus- ja koulutuskustannukset voivat sisältyä laitteen hankintahintaan, mutta mikäli näin ei ole, tulee yrityksen laskea nekin hankintamenoon mukaan.

Aluesuojaukseen ja henkilösuojaukseen liittyvät hankinnat, joista ei mene kustannuksia joka vuosi, tulee laskea investointiin mukaan. On kuitenkin hyvä huomioida, että esimerkiksi laserverhot ja raitisilmamaski tulee uusia tietyin aikavälein. Esimerkkilaskelmassa kustannus on laskettu mukaan hankintamenoon ja materiaalien uusiminen huomioitu yksittäisissä vuosikustannuksissa. Lisäksi on huomioitava, että laserpuhdistusta voidaan tehdä asiakkaan tilassa tai puhdistuspalvelua tarjoavan yrityksen omassa työtilassa, millä on vaikutusta osaan palvelun elinkaarikustannuksista. Hankintamenossa voi huomioida laserpuhdistuslaitteen lisäksi muut välttämättömät hankinnat, esimerkiksi rakennukset ja ajoneuvot, mutta olettaen, että kyseessä on olemassa oleva yritys, joka päättää investoida uuteen tuotekonseptiin tai integroi laserlaitteen osaksi prosessiaan, infrastruktuuri on luultavasti jo olemassa. Mikäli puhdistusta varten tarvitsee investoida esimerkiksi lisähalliin, jossa puhdistus tapahtuu, hankintamenon summa nousee. Riippuen yritystoiminnasta rakennuksia ja ajoneuvoja voi kuitenkin käyttää muuhunkin toimintaan, jolloin kustannus jakaantuisi monelle kohteelle. Yritys ei myöskään välttämättä tarvitse erillistä rakennusta puhdistusta varten, esimerkiksi jos laserpuhdistusta palveluna tarjoava yritys menee pääsääntöisesti paikan päälle suorittamaan työn. Haastatteluissa mainittiin, että näin tehdään esimerkiksi puhdistettaessa isoja kappaleita. Toisaalta rakennusta/rakennuksia ei ole välttämätöntä ostaa itselle vaan osa yrityksistä voi vuokrata kiinteistöjä käyttöönsä. Samalla tavalla pakettiauton hankinnan sijasta voi käyttää hyödyksi leasing-sopimuksia.

Palkkakustannukset

Laserpuhdistustyöhön allokoidaan joko yhden tai kahden operaattorin palkkoja, jotka erään haastateltavan mukaan vastaavat keskimääräisiä teollisuustyöntekijän palkkoja. Joskus puhdistusprojekti vaatii kaksi työntekijää ja työajassa kannattaa saman yritysedustajan mukaan huomioida myös uuden asiakastilan tarkempi alkusuunnittelu. Työaikaan ja siten puhdistukseen allokoitavaan palkkakustannukseen vaikuttaa, mitä kohdetta ja kuinka suuria pintoja puhdistetaan, minkälaiset tehot laitteessa ovat ja onko laserlaite automatisoitu vai käsilaserlaite. Eräs yritysedustaja mainitsi haastattelussa, että palkkakustannuksia kannattaa pohtia tehokkuuden

kautta eli kuinka paljon työaikaa säästyy esimerkiksi alueen suojauksesta ja sen purkamisesta sekä siivoamisesta laserpuhdistuslaitetta käytettäessä jonkin toisen puhdistusmenetelmän sijasta.

Samalla tavalla esimerkkilaskelmassa on lähdetty oletuksesta, että palkat kannattaa laskea mukaan, jotta mahdollisia eri menetelmiin kohdistuvia palkkojen kustannussäästöjä on helpompi verrata. Jos verrattaisiin esimerkiksi hiekkapuhallusta ja laserpuhdistuspalvelua toisiinsa, erilaisiin työvaiheisiin, kuten esivalmisteluihin, alueen suojaukseen, puhdistukseen ja jälkikäsittelyyn/kierrätykseen, menevä aika voisi olla hyvinkin erilainen.

Koulutus

Kuten aiemmin mainittiin, usein laserpuhdistuslaitteen hankintaan liittyy peruskoulutus laitteen käyttöä varten ja mahdollisesti myös perusteet laserteknologiaan. Nämä kustannukset sisältyvät usein laitteen hintaan, mutta lisäksi voi olla tarpeen ostaa lisää koulutuspaketteja tai vastata sisäisesti yrityksen henkilöstön lasertyöstön ja lasersädeturvallisuuden perehdytyksestä.

Materiaalit suojaukseen

Lasertyöstössä suojaustoimet ovat tärkeitä työntekijän tai työntekijöiden säteilyturvallisuuden vuoksi. Siksi materiaaleja lasersädesuojaukseen pitää hankkia; haastatteluaineiston perusteella suojausmateriaaleihin kuuluvat yleensä seinät tai suojaverhot, hengityssuojain tai mahdollinen raitisilmamaski (tässä laskelmassa aluesuojaus ja raitisilmamaski huomioitiin jo hankintamenossa), suojalasit, kuulosuojaimet, suojahaalarit ja työhanskat. Esimerkkilaskelmassa suojavarusteiden määrässä on otettu huomioon, että joitakin laserpuhdistustöitä varten tarvitaan kaksi työntekijää kerralla.

Muita materiaalikustannuksia ei juuri synny lasertyöstön aikana ja kemikaaleja joudutaan käyttämään harvoin puhdistuksessa. Esimerkiksi eräs laserpuhdistuspalvelua tarjoava yritysedustaja arvioi, että vain noin muutamassa prosentissa töitä joudutaan käyttämään kemikaaleja, kun taas osa muista puhdistustöitä tekevistä haastateltavista sanoi, etteivät ole joutuneet käyttämään kemikaaleja, eli kustannuksiakaan niistä ei synny.

Laitekustannukset

Laitekustannuksiin sisältyy erityisesti laitteen huoltoon ja korjaukseen liittyviä kululajeja. Haastateltavien mukaan laserlaitteet ovat kestäviä ja huoltokulut ovat pienet johtuen muun muassa siitä, että laserlaitteet eivät ole monimutkaisia. Haastatteluissa nostettiin esiin muun muassa suodattimien vaihto, optiikan linssin vaihdot sekä optiikan suojalasin vaihto. Lisäksi vuosihuolto ja vesijäähdyttimen kylmäkonehuolto pitää laskea kustannuksiin mukaan. Haastatteluissa mainittiin, että suojalinssi tai -lasi on olennainen optiikan suojauksen kannalta ja sen voi joutua vaihtamaan usein. Vaihtoväli riippuu kuitenkin laitteesta, käyttöasteesta, kohteesta ja käyttäjästä. Eräs haastateltava mainitsi esimerkiksi, että jos on maalattuja ja rasvaisia pintoja, roiskeiden johdosta vaihtoväli on tiheämpi, kun taas ruoste puhdistuu helposti ja samalla suojalinssillä voi pärjätä monta päivää. Toisaalta toisessa haastattelussa mainittiin kalliimmat automatisoidut laitteet, joissa paineilma ja kohdepoisto on suunniteltu niin, että partikkelien on ilmavirtauksen vuoksi vaikea päästä vastavirtaan linssille, mikä pitää linssin ehjänä kauemmin.

Vuosihuollossa vaihdetaan vedet ja suodattimet. Huollon voi hoitaa itse tai ostaa palvelun yhteistyökumppanilta. Haastateltava laserteknologiaa myyvästä yrityksestä mainitsi, että mikäli huollot hoidetaan kumppaneiden kautta, kustannukset ovat korkeammat ja silloin matkakustannukset sisällytetään myös laskuun.

Laitteiden käyttöiän loppupuolen korjauskustannusten ollessa kyseessä haastateltavat eivät vielä voineet kommentoida asiaa, koska heidän laitteensa eivät olleet vielä käyttöikänsä päässä. Vaikka laserlaitteet ovat yleisesti kestäviä, laiterikot ovat mahdollisia, kuten aina tekniikan kanssa. Laiterikot, jotka sattuvat yllättäen, voivat olla myös kalliita. Eräs haastateltava mainitsi, että jos laserteholähde rikkoutuisi, kustannus voisi olla esimerkiksi puolet laitteen hinnasta. Sama haastateltava mainitsi, että tällaiset harvinaisemmat rikot vaativat myös laitteen lähettämistä laitevalmistajalle tai huoltoon, jolloin kustannuksia tulee tuotannon katkoksesta. Laskentamallissa laiterikot löytyvät yksittäisten vuosikustannusten alla, koska niiden oletetaan olevan harvinaisempia, joten kustannuksia laiterikoista ei synny joka vuosi.

Huolto ja korjauskulujen lisäksi mahdollinen laitevakuutus voidaan laskea mukaan laitekustannuksiin. Esimerkiksi erään yritysedustajan mukaan vakuutus pitää hankkia kertaluontoisena aina, kun siirretään laite asiakkaan tiloihin.

Energian kulutus

Laserpuhdistuksen aikana kuluu sähköä, joka tulee huomioida kustannuksissa ja investointi-laskelmassa. Käytännössä laserpuhdistuslaite muuttaa sähköenergian lasersäteen sisältämäksi lasertehoksi. Kun tällä tavalla tuotettua lasersädettä puolestaan liikutetaan, tapahtuu puhdistus. Puhdistukseen liittyvä sähkökustannus riippuu muun muassa siitä, mitä energialähdettä käytetään sähkön tuottamiseen. Kustannuksiin vaikuttaa myös se, missä tilassa laserpuhdistusta suoritetaan. Haastatteluissa mainittiin, että jos palvelua tarjoava yritys menee asiakkaan luokse laserpuhdistamaan, asiakastaho maksaa laitteesta aiheutuvan sähkönkulutuksen itse olettaen, että laserpuhdistuksen tekevä operaattori ei tuo mukanaan aggregaattia. Esimerkkilaskelmassa esiintyvä energian hinta on laskennallinen arvio, joka pohjaa raportin kirjoitushetkellä haetun keskimääräisen yrityssähkön sopimushintoihin ja tutkijoiden antamiin laserlaitteen sähkönkulutuksen laskelmiin.

Jätteenkäsittely

Laserpuhdistuksessa jätettä syntyy vähän, yleisesti joitakin grammoja per neliömetri (kts. esim. hankkeen raportti Aro et al., 2025). Puhdistusprosessin aikana syntyykin lähinnä pölyä ja huuruja eikä esimerkiksi perinteisten hiekka- ja raepuhalluksen puhallusmateriaaleja, kuten hiekkaa tai kuonaa, jouduta siivoamaan ja lajittelemaan työn päätteeksi. Haastatteluissa asiaa kuvattiin niin, että partikkelit menevät kohdepoistoon ja suurin osa materiaalista käytännössä jää suodattimiin. Suodattimia joudutaan kuitenkin vaihtamaan ja pientä jätteeksi menevää voi syntyä. Osa haastateltavista mainitsi, että suodattimia kerätään isompi erä, ennen kuin ne viedään lajitteluun. Haastatteluissakin korostettiin kuitenkin, että jätteen määrä on pientä. Siten myös jätteen käsittelyyn liittyvät kustannukset ovat alhaiset.

Kuljetus- ja matkakustannukset

Polttoainekulutus ja sähköauton sähkönkulutus ja muut matkakustannukset kannattaa huomioida kustannuksissa. Mikäli lasertekniikka integroidaan yrityksen prosesseihin, kuluerä ei ole oleellinen. Sen sijaan laserpuhdistuspalvelua tarjoavalle yrityksille kuluerä voi olla merkittävä riippuen, mitä kohteita puhdistetaan ja missä. Kuljetusmaksut vaihtelevat riippuen tilanteesta: jos laserpuhdistuspalvelua tarjoava yritys puhdistaa kappaleita omissa tiloissaan, palvelua tarjoavan yrityksen ei tarvitse kuljettaa laitteistoa. Sen sijaan asiakkaalle tulee omat kuljetuskustannukset puhdistettavien kappaleiden siirron vuoksi. Toisaalta, jos palvelua tarjoava yritys menee asiakkaan luokse laserpuhdistamaan, kuljetuskustannukset tulee huomioida osana laskutusta. Esimerkkilaskelmassa yritys tekee puhdistusta niin omissa kuin asiakkaiden tiloissa. Arvioidut matkakustannukset lähiseuduille on siten huomioitu laskelmassa, jossa luvut pohjautuvat muun muassa keskimääräiseen polttoainekulutukseen.

Kiinteistö- ja ajoneuvokustannukset ja vakuutukset

Laserpuhdistusta tekevän yrityksen tai harkitsevan yrityksen pitää investoinnista riippuen huomioida kustannusanalyysissa myös kulut, joita syntyy kiinteistö- ja ajoneuvo-omistusten tai vuokrausten kautta vakuutusten ohella. Esimerkiksi hallirakennuksen vuokra ja pakettiauton leasing-kustannus sisältyvät näihin kustannuksiin samoin kuin rakennusten lämpö-, vesi- ja kiinteistönhuollon kustannukset.

Esimerkkilaskelmassa on lähdetty oletuksesta, että rakennukset ovat osa infrastruktuuria, joka yrityksellä on jo käytössään ja jota investointi ei muuta olennaisesti. Näin olleen myös kiinteistönhuoltoon liittyvät kustannukset sekä vakuutukset on jätetty esimerkkilaskelmasta pois (lukuun ottamatta aiemmin mainittua laserlaitteen omaa vakuutusta). Kululajit on kuitenkin jätetty Excel-pohjaan, koska joihinkin investointilaskelmiin nämä on perusteltua sisällyttää. Pakettiauton leasingkustannukset vakuutuksineen on laskettu esimerkkilaskelmaan mukaan, koska haastatteluiden perusteella laserteknologian hankintaan liittyy yleensä pakettiauton käyttö, joten vuokraus on luultavasti tarpeellinen uutta konseptia suunnittelevalle.

Yleishallinnon kustannukset

Yleishallinnon kustannuksia ovat esimerkiksi markkinointiin, myyntiin ja laskutukseen liittyvät kulut. Esimerkkilaskelmassa on kohdennettu kullekin tilaukselle kustannus yleishallinnollisiin eriin, koska kyseessä on uusi tuote-/palvelukonsepti, johon panostetaan myös myynnillisesti.

Yksittäiset vuosikustannukset

Edellä mainittujen kustannuslajien lisäksi laskentamallissa on otettu huomioon mahdolliset yksittäiset vuosikustannukset tai esimerkiksi joka toinen tai viides vuosi toistuvat kustannukset. Esimerkiksi osa henkilön suojamateriaaleista tai lasersädeverhot uusitaan laitteen käyttöiän aikana, mutta ei joka vuosi. Muun muassa tällaiset suojamateriaalien uudistamiskustannukset tulee lisätä taulukossa eri kohtaan, jotta investoinnin kannattavuuslaskelmassa kustannus ei kertaannu joka vuodelle.

4.2. Investoinnin kannattavuus

Investoinnin kannattavuutta laskettaessa tulee ottaa huomioon niin investoinnin hankintamenot, siihen liittyvät kaikki muut kustannukset kuin tuototkin. Riippuen kannattavuuden laskenta-menetelmästä myös seuraavat asiat voivat tulla pohdinnan alle: investoidun laitteen jäännösarvo, tuotteen käyttöikä ja tuottovaatimus prosentteina.

Investoinnin kannattavuuden laskemista varten yrityksen pitää tehdä ennuste arvioiduista kassavirroista, jotka sisältävät ennustetut tuotot ja kustannukset. Esimerkkilaskelmassa kustannustiedot pohjautuvat pääosin tutkija- ja yrityshaastatteluista sekä julkisista lähteistä saatuihin keskiarvoihin. Tuotot on puolestaan laskettu kuvitteellisen tilanteen pohjalta sisältäen arvioita siitä, kuinka paljon laserpuhdistuksen työtunteja uutta tuotekonseptia myyvä yritys saattaisi laskuttaa vuodessa asiakkailta ja mikä olisi isompien urakkaluonteisten projektien osuus.

Mitä tulee esimerkkilaskelmaan, investoitu laite tulee käyttöikänsä päähän 11 vuoden kuluessa, jolloin se viedään jätteenkäsittelyyn, josta puolestaan syntyy maksuja. Maksut eivät kuitenkaan ole jokavuotisia kustannuksia ja on siksi otettu huomioon kannattavuuslaskelman muuttuvissa tiedoissa jäännösarvon kohdalla vaikuttaen viimeisen vuoden kuluihin. Toinen vaihtoehto olisi myydä laite muutaman vuoden käytön jälkeen, esimerkiksi vaihdettaessa uuteen versioon, tai myydä se metallijätteenä, jolloin myynnistä syntyisi tuloja. Tässä tapauksessa jäännösarvon kohdalla näkyisi myynnistä syntyneet tuotot. Esimerkkilaskelman tuottovaatimukseksi on määritelty 15 %.

Esimerkkilaskelmassa on laskettu kannattavuutta kahden eri menetelmän kautta: nettonykyarvo- ja sisäisen korkokannan menetelmät. Investointi on kannattava, koska NPV on suurempi kuin 0, lisäksi sisäisen korkokannan menetelmässä tuottovaatimus ylittyy. Laskentamallin hyöty ei ole pelkästään se, että tehdään näkyväksi kaikki investoituun laitteeseen liittyvät kustannukset ja tuotot, minkä myötä voidaan laskea investoinnin kannattavuus, vaan parhaassa tapauksessa laskelma tehdään eri investoinneille verraten, kumpi on edullisempi.

4.3. Viitekehyksen ja laskentamallin soveltaminen pakkausteollisuuden lasermerkkausprosesseissa

Lasermerkkaus ja laserpuhdistus ovat konteksteina erilaiset, vaikka molempien keskiössä on laserteknologia. Kun laserpuhdistus on vielä suhteellisen uusi alana, lasermerkkaus on ollut jo pitkään käytössä ja on yksi yleisemmistä laserteknologian sovelluskohteista (Maximize Market Research, 2024). Lasermerkkauksessa merkintöjä tehdään tuotteisiin lasersäteellä. Lasermerkkaus voi korvata muita perinteisiä menetelmiä, kuten mustesuihku- tai painomerkintämenetelmiä. Lasermerkkausta tuntevien haastateltavien mukaan lasermerkkaus on menetelmänä helppo ja sen jälki on kestävä; merkintä on pysyvä verrattuna joihinkin muihin merkkausmenetelmiin, kuten tarroihin. Yritys voi ottaa esimerkiksi valokuvia malliksi, joita merkataan tuotteisiin tai pakkauksiin, tai pakkauksiin voidaan merkata esimerkiksi QR-koodeja ja parasta ennen -päiväyksiä.

Vaikka laserpuhdistus ja -merkkaus eroavat toisistaan, investoinnin kannattavuuslaskelman malli, joka luotiin erityisesti laserpuhdistuksen pohjalta ja esiteltiin aiemmin tässä raportissa, voi kuitenkin soveltuvin osin toimia myös lasermerkkauslaitteiden investoinnin kannattavuuslaskentaan. Jotkin

kustannuslajit ovat kuitenkin epäoleellisia tai ne on korvattava muilla kululajeilla. Erot on siis hyvä huomioida ennen viitekehyksen käyttämistä.

Haastatteluissa tuli ilmi useita lasermerkkaukseen liittyviä asioita, jotka eroavat laser-puhdistuksesta. Useampi haastateltava vertasi laserpuhdistusta ja lasermerkkausta kertomalla, että laserteknologiassa on samankaltaisesta asiasta kyse, mutta pinta-alat, joista puhutaan ovat erilaiset: merkkauksessa ala on usein pienempi riippuen toki, mihin puhdistuskohteeseen verrataan. Merkkaukseen käytettävät laserlaitteet ovat usein pienempitehoisia kuin laserpuhdistuksessa, jolloin kustannukset voivat olla maltillisimpia laitteen hankintamenon osalta. Toki merkkauksen kohdallakin alkuinvestointi voi olla korkea riippuen laitteen ominaisuuksista. Mitä tulee laserlaitteen integrointiin yrityksen prosesseihin, päätökset siitä, miten laite integroidaan prosesseihin, vaikuttavat lisäksi kustannuksiin, kuten integroidaanko laserlaite linjastoon ja käytetäänkö esimerkiksi automaatiota ja robotiikkaa hyödyksi. Toinen vaihtoehto on ostaa palvelu lasermerkkauspalvelua tarjoavalta yritykseltä.

Moni haastateltavista puhui lasermerkkauslaitteista turvallisina ja helppokäyttöisinä. Myös suojauksen suhteen pitää kuitenkin merkkauksessakin ottaa huomioon turvallisuustekijät, kuten laserteknologian käytössä yleisesti. Erään yritysedustajan mukaan suojaukseen liittyvissä kululajeissa on samoja elementtejä, vaikkakin osa laserpuhdistuksen kustannuslajeista ei ole lasermerkkauksen osalta yhtä relevantteja, kuten raitisilmamaski. Haastateltavien mukaan lasermerkkauksessa ei juuri synny jätettä, mutta toki merkkauskohteella on merkitystä: merkataanko esimerkiksi muovia vai paperia. Käytännössä prosessissa syntyy vähän pölyjä, jotka menevät suodattimiin ja riippuen materiaalista voi kappaleen pinnalle jäädä pölyä, jonka voi pyyhkiä pois turvallisesti merkkauksen jälkeen. Näin ollen siivous- ja jätekustannukset ovat alhaisia laserteknologiaa käytettäessä.

Laserlaitteen huollot ovat merkkausprosesseissa harvinaisempia. Osa haastateltavista vastasi, että laitteet ovat lähes huoltovapaita. Käyttäjän pitää kuitenkin vaihtaa laitteen ja kohdepoiston suodattimia sekä puhdistaa linssiä säännöllisesti.

Varastointitilan tarpeen ollessa kyseessä mainitsi kaksi yritysedustajaa, että varastotilaa ei tarvita tarroille ja muille materiaaleille, koska yritys tarvitsee käytettäväkseen vain dataa, joka merkataan tuotteeseen laserteknologiaa käytettäessä. Merkkauksessa voi tulla kuitenkin kyseeseen varata varastotilaa asiakkaiden merkattaville tuotteille, mikäli lasermerkkaus tapahtuu palvelua tuottavan omissa toimitiloissa.

Laserpuhdistusta ja -merkkausta verrattaessa eräät yritysedustajat mainitsivat, että lasermerkkaukseen liittyvä koulutus heidän yrityksessään vie paljon aikaa. Siihen panostetaan ja se on pitkä, jopa vuosia kestävä prosessi, mikä tulee huomioida kustannuksissa.

Hankkeessa esitelty viitekehys tai laskentamalli voi siis soveltuvin osin toimia myös lasermerkkauskontekstiin, mutta osa laserpuhdistuksen kustannuslajeista on epäoleellisia tai ne on korvattava muilla kululajeilla. Myös muut laserteknologian sovelluskohteet voisivat mahdollisesti hyötyä viitekehyksen hyödyntämisestä. Viitekehyksen/laskentamallin hyödyntäminen sellaisenaan vaatii kuitenkin lisää empiiristä tutkimusta ja testaamista.

4.4. Taloudellisuuden ja ympäristövaikutusten arviointi

Laserlaitteen investointia arvioitaessa pitää huomioida erilaisia näkökulmia, jotka voivat vaikuttaa kokonaistaloudelliseen tilanteeseen. Tilanne, jossa yritys itse investoi laserlaitteeseen ja integroi sen omaan prosessiin, sekä tilanne, jossa yritys investoi laitteistoon ja myy puhdistuspalvelua asiakkailleen, ovat erilaiset. Riippuen tilanteesta investointia voidaan tarkastella esimerkiksi tuottoarvon, kannattavuuden, kustannussäästöjen, tuottavuuden ja tehokkuuden tai tuotteen/palvelun läpimenoajan kannalta.

Laserlaitteen ja prosessin tehokkuus sekä niistä kumpuavat vaikutukset ovat yksi merkittävä tekijä, joita yrityksen tulee pohtia. Laserlaite nopeuttaa monissa kohteissa pinnan puhdistusprosessia perinteisiin pinnan puhdistusmenetelmiin verrattuna, kuten hiekka- ja raepuhallusmenetelmät. Koska puhallusmateriaalia ei jouduta hankkimaan ja käyttämään, alueen suojaus on helpompi tehdä laserpuhdistuksen kuin hiekkapuhalluksen osalta, joskin alueen sädesuojaus ja työntekijän turvallisuus on taattava. Laserpuhdistuksessa jätteitä ei myöskään juuri synny. Jälkikäsittely ja kierrätys/lajittelu on siksi lähes olematonta, koska puhdistettaessa ei lian lisäksi pidä kerätä ja kuljettaa pois puhdistusprosessissa käytettäviä puhallusmateriaaleja, kuten hiekkaa tai kuonaa. Puhdistaminen hoituu tehokkaasti ja seuraavaan työvaiheeseen voidaan päästä nopeammin. Lisäksi laserpuhdistus on ympäristölle kestävämpi menetelmä alhaisten materiaali- ja jäte-erien osalta, jolloin niistä ei myöskään synny korkeita kustannuksia.

Kun yritys pohtii investoinnin kannattavuutta, tulee laskelmissa lisäksi huomioida laitteen teho ja sen vaikutus hankintamenoon ottaen huomioon kuitenkin tehokkuus ja mahdolliset kustannussäästöt koko prosessin kannalta. Mitä tehokkaampi laserlaite on, hankintameno voi nousta huomattavastikin, mutta sitä tehokkaammin pinnan puhdistustyö valmistuu. Mikäli laite on käytössä omassa yrityksessä laitteen tehokkuus vaikuttaa, kuten aiemmin mainittiin, parhaimmillaan prosessin tehokkuuteen vähentäen puhdistukseen menevää työaikaa, jolloin seuraavaan työvaiheeseen päästään nopeammin. Palvelua tarjoava yritys puolestaan voi mahdollisesti ottaa enemmän puhdistustöitä vastaan ja pyytää palvelusta hieman korkeampaa hintaa. Eräs laserpuhdistuspalvelua myyvä yritysedustaja kommentoi kuitenkin haastattelussa, että vaikka yritys ostaisi tehokkaamman laserlaitteen ja saisi suoritettua asiakkaan puhdistustyöt huomattavasti nopeammin kuin pienempitehoisella laitteella, asiakas ei ole välttämättä valmis maksamaan palvelusta enempää eli markkinoilla vallitseva palvelun hinta ja asiakkaan hintaodotus voivat myös vaikuttaa taustalla.

Laserteknologian hankintameno voi siis olla korkea, mikäli hankinnassa on tehokas laserlaite. Sen vuoksi laitteen käyttöasteella on myös merkitystä investoinnin kannattavuuteen. Jos laitteen käyttö on hyvin satunnaista tuotantoyritysten osalta, kannattavuuslaskelman avulla voi arvioida, kannattaako laite hankkia itselle vai mieluummin ostaa palvelu kumppaneilta. Samalla tavalla käyttöasteella on toki merkitystä palvelua tarjoavan yrityksen päätöksentekoon. Korkeampi käyttöaste ja myyntivolyymi vaikuttavat positiivisesti investoinnin kannattavuuteen.

Laserpuhdistuksen myötä syntyvät korjaus- ja huoltotoimet riippuvat osittain laitteen käyttöasteesta, mutta huoltotoimet ovat keskimäärin melko vähäisiä, kuten linssien ja suodattimien vaihto, eikä niistä synny suuria kustannuksia. Poikkeuksena ovat kuitenkin isommat vuosihuollon kaltaiset huoltokerrat, kerran tai kaksi laitteen käyttöiän aikana tehtävät huollot tai harvinaisemmat

laiterikot. Sähkönkulutuskin vaihtelee esimerkiksi laitteen, sen käyttöasteen ja puhdistettavan kohteen mukaan.

Tuotteen hävittämisestä aiheutuvat metalli- ja/tai elektroniikkaromut aiheuttavat jonkun verran kustannuksia esimerkiksi lajittelumaksun muodossa, kuten toki myös perinteisissä puhdistusmenetelmissä. Poikkeuksena on tilanne, jossa laite vaihdetaan ennen käyttöikää parempaan ja vanha myydään eteenpäin seuraavalla käyttäjälle.

MALAMA-hankkeen aikana saavutettujen tulosten perusteella laserteknologia on ympäristölle kestävämpi vaihtoehto pinnan puhdistusprosesseissa kuin hiekka- ja raepuhallusmenetelmät (Aro et al. 2025). Investointia arvioitaessa kannattaakin huomioida, että vaikka alkuinvestointi olisi korkeampi kuin esimerkiksi hiekkapuhalluslaitteiston osalta, ympäristöhaitat ovat pienemmät. Kustannusanalyysia tarkasteltaessa myönteisen ympäristövaikutuksen voi havaita erityisesti alhaisten materiaali- ja jätekustannusten kohdalla, koska puhdistusmateriaaleja ja kemikaaleja ei tarvita sekä jäte ja sen kuljettaminen lajittelukeskuksiin on vähäistä. Raportissa esitettyä kustannusten viitekehystä ja esimerkkilaskelmaa pitäisi kuitenkin verrata esimerkiksi hiekkapuhallusmenetelmän materiaali- ja jätteenkäsittelyn kustannuksiin sisältäen polttoainekustannukset lajittelukeskuksiin, jotta voitaisiin todeta, kuinka paljon kustannussäästöjä näistä myönteisistä ympäristövaikutuksista syntyy. Mikäli haluttaisiin laskea tuotteen elinkaarta LCA-laskennan kautta, laskelmassa tulisi lisäksi ottaa huomioon laitteiston valmistuskustannukset sekä valmistuksesta aiheutuva hiilijalanjälki ja kierrätyskulut. LCA-analyysin sijaan tässä raportissa asiaa on kuitenkin tarkasteltu kustannusanalyysin kautta keskittyen yksittäisen yrityksen laiteinvestointiin sekä sen omistamiseen ja ylläpitoon liittyviin kustannuksiin.

Niskala ja Mätäsaho (1996, s. 171) mainitsevat, että investoinnin kannattavuuslaskelmiin tulee sisällyttää tietoa mahdollisista piilokustannuksista, esimerkiksi jätehuollon ja päästöjen valvonnan kustannuksista. He toteavat lisäksi, että ympäristöinvestoinnit useimmiten vähentävät kustannuksia, joten kustannussäästöt tulee huomioida (ibid). Kuten edellisessä kappaleessa mainittiin, yksi keino ympäristövaikutusten arvioinnin osalta olisikin verrata laserpuhdistuksen ympäristövaikutuksia ja niistä kumpuavia kustannuksia, kustannussäästöjä ja tuottoja toiseen harkinnassa olevaan investointiin tai korvattavaan aiempaan menetelmään, kuten hiekka- ja raepuhallusmenetelmiin. Menetelmien pitäisi kuitenkin olla vertailukelpoisia eli vertailun kohteena olisi hyvä olla esimerkiksi laitteistot, jotka käyvät samaan puhdistuskohteeseen. Muutoin vaarana on, että verrataan eri tasoista laiteinvestointia toisiinsa. Esimerkiksi meriteollisuudessa hiekka- ja raepuhallusta käytetään isojen pintojen puhdistamiseen, mutta laserpuhdistusta on haastava verrata tähän tilanteeseen yritystasolla tarkan kustannusanalyysin kautta, koska tällä hetkellä laserteknologiaa ei käytetä yleisesti isojen pintojen puhdistamiseen meriteollisuudessa. MALAMA-hankkeessa ei myöskään ollut mahdollista saada tarkkoja kustannusarvioita yrityksiltä hiekka- ja raepuhalluksen osalta. Hankkeessa on sen sijaan verrattu hiekkapuhallusteknologiaa ja laserpuhdistusteknologiaa toisiinsa menetelmätasolla nettovaikutusmenetelmän ja kvantifioitujen mittareiden avulla. Seuraavassa kappaleessa esitellään nettovaikutusanalyysia ja tarkennetaan, mitä tekijöitä nettovaikutustieto ottaa huomioon ja minkälaisia tuloksia hiekkapuhalluksen ja laserpuhdistuksen eroista saatiin arvioinnissa. Kappaleen lopussa on myös toimenpide-ehdotukset yrityksille, jotka harkitsevat investointia laserpuhdistukseen.

5. Nettovaikutusmenetelmä – vertailu hiekkapuhalluksen ja laser-teknologian välillä meriteollisuuden sovelluksissa

Kamboj Nikhil, suomentanut ja editoinut Piili Heidi

Kestävän kehityksen ja yhteiskunnallisen vaikuttavuuden arviointi on noussut keskeiseksi osaksi yritysten ja teknologioiden kehittämistä. Perinteiset mittarit, kuten taloudellinen tulos tai ympäristöraportointi, eivät yksin riitä kuvaamaan toiminnan kokonaisvaikutuksia. Tämän tarpeen pohjalta on kehitetty uusia menetelmiä, jotka pyrkivät tuottamaan läpinäkyvää ja vertailukelpoista tietoa eri toimijoiden vaikutuksista yhteiskuntaan, ympäristöön ja ihmisiin.

Yksi merkittävimmistä lähestymistavoista on Upright Projectin kehittämä nettovaikutusmalli, joka yhdistää tieteellisen tiedon, julkisen datan ja kehittyneen kieliteknologian. Menetelmä tarjoaa systemaattisen tavan arvioida sekä positiivisia että negatiivisia vaikutuksia, ja se soveltuu laajasti eri toimialoille, yrityksille ja teknologioille. Uprightin malli tuo esiin vaikutukset neljässä ulottuvuudessa – ympäristö, terveys, yhteiskunta ja tieto – ja mahdollistaa vaikuttavuuden kvantitatiivisen tarkastelun.

Tätä lähestymistapaa voidaan hyödyntää myös teknologisten ratkaisujen, kuten laserpuhdistuksen, arvioinnissa. Kun teknologioita verrataan esimerkiksi hiekkapuhallukseen, nettovaikutusmalli tarjoaa rakenteellisen tavan tarkastella niiden eroja monipuolisilla mittareilla, kuten tehokkuudella, turvallisuudella ja innovaatiopotentiaalilla.

Upright-menetelmä on innovatiivinen lähestymistapa, jonka avulla voidaan arvioida yritysten ja teknologioiden kokonaisvaikutuksia yhteiskuntaan, ympäristöön ja ihmisiin. Menetelmä perustuu ajatukseen siitä, että jokaisella toimijalla on sekä positiivisia että negatiivisia vaikutuksia, ja näiden yhteissumma muodostaa niin sanotun nettovaikuttavuuden. Tämä käsite kuvaa toiminnan kokonaisvaltaista hyötyä tai haittaa eri sidosryhmille ja ympäröivälle maailmalle.

Menetelmän on kehittänyt Upright Project, joka on rakentanut matemaattisen mallin hyödyntäen luonnollisen kielen käsittelyn (Natural Language Processing, NLP) teknologiaa. NLP:n avulla analysoidaan valtavia määriä tieteellisiä julkaisuja ja julkista dataa, joiden pohjalta muodostetaan tietopohjainen arvio eri toimijoiden vaikutuksista. Tämä tekee menetelmästä skaalautuvan ja sovellettavan laajasti eri toimialoille, yrityksille ja teknologioille.

Uprightin nettovaikutusmalli tarkastelee vaikutuksia neljässä keskeisessä ulottuvuudessa:

- Ympäristö: vaikutus luonnonvaroihin, päästöihin ja ekologiseen tasapainoon.
- Terveys: vaikutukset ihmisten terveyteen ja hyvinvointiin.
- Yhteiskunta: vaikutus yhteiskunnallisiin rakenteisiin, yhteisöihin ja sosiaaliseen vakauteen.
- Tieto: panos tiedon ja innovaation luomiseen ja levittämiseen.

Upright-menetelmän taustalla toimii systemaattinen nettovaikutusmalli, jonka tavoitteena on tuottaa läpinäkyvää ja vertailukelpoista tietoa toimijoiden kokonaisvaikutuksista. Mallin työnkulku rakentuu kolmesta päävaiheesta, jotka yhdessä muodostavat vaikuttavuuden arvioinnin perustan.

Ensimmäinen vaihe on datan keruu, jossa hyödynnetään luonnollisen kielen käsittelyn (Natural Language Processing, NLP) teknologiaa. Tämän avulla analysoidaan miljoonia tieteellisiä julkaisuja ja julkisia tietolähteitä, kuten tutkimusartikkeleita, raportteja ja tilastoja. NLP mahdollistaa laajojen tietomassojen tehokkaan käsittelyn ja relevantin sisällön tunnistamisen vaikuttavuusarvioinnin tueksi.

Toisessa vaiheessa suoritetaan vaikutuspisteytys, jossa kullekin arvioitavalle kohteelle – olipa kyseessä yritys, toimiala tai teknologia – määritetään nettovaikutussuhde. Tämä suhde kuvaa positiivisten ja negatiivisten vaikutusten välistä tasapainoa neljässä ulottuvuudessa: ympäristö, terveys, yhteiskunta ja tieto. Pisteytys perustuu kerättyyn dataan ja mallin matemaattiseen analyysiin.

Kolmas vaihe on skaalautuvuus, joka tekee mallista joustavan ja monikäyttöisen. Nettovaikutusmallia voidaan soveltaa yksittäisten yritysten arviointiin, mutta myös laajemmin esimerkiksi toimialojen, sijoitussalkkujen tai teknologisten ratkaisujen tarkasteluun. Tämä tekee siitä hyödyllisen työkalun sijoittajille, päätöksentekijöille ja organisaatioille, jotka haluavat tehdä vaikuttavampia ja vastuullisempia valintoja.

Vaikka menetelmä on alun perin kehitetty yritysten kestävyyden arviointiin, sen soveltamisala ulottuu myös teknologioihin. Esimerkiksi laserpuhdistuksen ja hiekkapuhalluksen vaikutuksia voidaan vertailla kvantifioitujen mittareiden avulla. Näitä mittareita ovat muun muassa:

1. Ympäristövaikutus
2. Taloudellinen vaikutus
3. Yhteiskunnallinen vaikutus
4. Tehokkuus
5. Laadunhallinta
6. Turvallisuus
7. Sääntely
8. Innovaatio ja digitalisaatio

Tällainen lähestymistapa mahdollistaa teknologioiden kokonaisvaltaisen arvioinnin ja tukee kestävää kehitystä edistäviä ratkaisuja. Alla oleva taulukko 2 esittelee laserpuhdistuksen ja hiekkapuhalluksen nettovaikutusten vertailun eri arviointikriteerien perusteella.

Taulukko 2. Menetelmävertailu nettovaikutuksen mukaan (✅ Positiivinen, ❌ Negatiivinen, ⚖️ Neutraali)

Menetelmä	Laserpuhdistus	Hiekkapuhallus (raepuhallus)
Ympäristövaikutus	Pölypäästöt: noin 0,01–0,05 mg/m³ (savunpoistolla)	Pölypäästöt: 5–15 mg/m³ (voi ylittää työpaikan raja-arvot)
	Jätteen määrä: noin 0 kg/tunti (ei hankaavia aineita)	Jätteen määrä: noin 20–50 kg/tunti käytettyä hiekkaa
	✅ Ympäristövaikutus: Positiivinen	❌ Ympäristövaikutus: Negatiivinen

Taloudelliset vaikutukset	Laserlaitteen hinta: 80 000–150 000 € (teollisuus), 25 000 € (tutkimuskäyttö)	Hiekkapuhalluspistooli (imupuhallin + kompressori): 20 000 €
	Käyttökustannus: noin 1,5 €/m²	Käyttökustannus: noin 12 €/m²
	Kulutusainekustannus: 0 € (ei hiekkaa)	Kulutusainekustannus: noin 250–500 €/tonni
	⚖ Taloudelliset vaikutukset: Neutraali / tasapainoinen	✔ Taloudelliset vaikutukset: Lyhyen aikavälin edullisuus
Sosiaaliset vaikutukset	Melutaso: noin 65–75 dB (hiljaisempi koteloinnilla)	Melutaso: 100–115 dB (vaatii kuulosuojaimet)
	Käyttäjäriski: Matala (vähän pölyä, ei tärinää)	Käyttäjän riski: Korkea (piidioksidipöly, tärinä, lentävä hiekka)
	✔ Sosiaaliset vaikutukset: Positiivinen	✘ Sosiaaliset vaikutukset: Negatiivinen
Tehokkuus	Puhdistusteho: jopa 1 m²/tunti (n. 200 min)	Puhdistusteho: 10–30 m²/tunti
	Toistettavuus: Korkea	Toistettavuus: Matala
	⚖ Tehokkuus: Riippuu mittakaavasta	✔ Tehokkuus: Korkea läpimeno
Laadunhallinta	Pintakarheus (Ra): noin 0,3–1,0 µm (säädettävissä)	Pintakarheus (Ra): noin 1,5–5,0 µm
	Pinnalle jääneet partikkelit: 0 %	Pinnalle jäänyt hiekka: 1–5 % riski
	✔ Laadunhallinta: Korkea tarkkuus	✘ Laadunhallinta: Alhaisempi tarkkuus
Turvallisuus	Lasersäteen riskiluokka: Luokka 4 (vaatii suojauksen)	Vaarat: Ilmassa olevat hiukkaset, piidioksidioireyhtymä, kuulovaurio
	PPE: Suojalasit, käsineet, savunpoisto	PPE: Kokovisiiri, suojahaalarit, hengityssuojain
	✔ Turvallisuus: Turvallinen, jos suojattu asianmukaisesti	✘ Turvallisuus: Vaarallinen
Säädökset	Standardit: Noudattaa ISO 12100, IEC 60825	Saattaa rikkoa OSHA/REACH pöly- ja melurajoja
	✔ Säädösten noudattaminen: Tulevaisuuteen valmis	✘ Säädösten noudattaminen: Riskialtis
Innovaatio ja digitalisaatio	Ohjaus: Digitaalinen (teho, pulssi, skannausnopeus)	Käyttö: Manuaalinen
	Yhteensopivuus: Robotiikka, tiedonkeruu, IoT	Automaatio: Huono yhteensopivuus
	Tuki: Industry 4.0 -käytännöt	Tiedonkeruu ja ohjaus: Rajoitettu
	✔ Innovaatio ja digitalisaatio: Korkea potentiaali	✘ Innovaatio: Alhainen

Yhteenveto: Nettovaikutuksen pisteytys
Laserpuhdistus: 6 positiivista / 2 neutraalia tai tasapainoista
Hiekkapuhallus (raepuhallus): 2 positiivista / 6 negatiivista

Laserpuhdistus erottuu selvästi positiivisempana teknologiana, kun sen vaikutuksia tarkastellaan Upright-menetelmän mukaisilla arviointikriteereillä. Arvioinnissa laserpuhdistus sai kuusi positiivista pistettä ja kaksi neutraalia tai tasapainoista arviota, mikä osoittaa sen kokonaisvaikutusten olevan pääosin myönteisiä. Teknologia edistää ympäristön kestävyyttä, parantaa työturvallisuutta ja tukee digitalisaatiota sekä laadunhallintaa. Sen sijaan hiekkapuhallus, joka tunnetaan myös raepuhalluksena, sai vain kaksi positiivista pistettä ja peräti kuusi negatiivista arviota. Tämä viittaa siihen, että menetelmä aiheuttaa enemmän haittaa esimerkiksi ympäristölle, terveydelle ja turvallisuudelle. Vertailu korostaa laserpuhdistuksen potentiaalia vastuullisena ja tehokkaana vaihtoehtona perinteisille pintakäsittelymenetelmille.

Suositukset yrityksille, jotka harkitsevat laserpuhdistuksen käyttöönottoa

1. Aloita pilottikokeiluilla tyypillisillä pinnoilla

Perustelu: Laserpuhdistuksen teho vaihtelee pinnoitteen paksuuden, korroosion syvyyden ja teräksen laadun mukaan.

Toimenpiteet:

- Tunnista 3–5 tyypillistä käyttökohdetta (esim. likaa hylkivät pinnoitteet, ruosteiset hitsit, rakenteelliset liitokset)
- Testaa puhdistustehoa laboratoriossa tai kannettavalla laitteella (mittaa puhtaus, karheus ja sykli-aika)

2. Tee elinkaarikustannusanalyysi (LCCA)

Perustelu: Laserlaitteet ovat kalliita hankkia, mutta säästävät pitkällä aikavälillä:

- Kulutustarvikkeissa (ei raetta)
- Työvoimakustannuksissa (valmius automaatioon)
- Jätteen käsittelyssä ja säädösten noudattamisessa

Toimenpiteet:

- Vertaile investointikustannuksia
- Sisällytä hiekkapuhalluksen vertailuun suojavarusteet, ainekulut, jätteen käsittely ja työaika

3. Hyödynnä kestävän kehityksen mittareita päätöksenteossa

Perustelu: Useat telakat kohtaavat paineita vähentää hiilijalanjälkeä ja vaarallista jätettä

Toimenpiteet:

- Kvantifioi laserpuhdistuksen pienemmät päästöt ja jätteet osana vastuullisuusraportointia

- Käytä CO_2-säästöjä (raekulutuksen ja kuljetusten välttäminen) markkinointi- ja säädösetuna

4. Panosta turvallisuuskoulutukseen ja prosessi-integraatioon

Perustelu: Laserpuhdistus vaatii turvallisen käyttöympäristön (esim. suojakotelo) ja koulutetun henkilöstön

Toimenpiteet:

- Tee yhteistyötä laitevalmistajien kanssa, jotka tarjoavat turvallisuusmoduuleja
- Aloita suljetuilla luokan 1 -järjestelmillä (turvallisia avoimessa tuotantotilassa)

5. Arvioi automaation ja digitaalisen integraation mahdollisuudet

Perustelu: Laserpuhdistus voidaan integroida:

- Yhteistyörobottien (cobot) kanssa
- Koneellisen näön kanssa

Toimenpiteet:

- Aloita puoliautomaattisilla järjestelmillä tasaisille pinnoille (esim. levyjen puhdistus)
- Lisää antureita (akustiset, spektrometri), kameraohjattu virheiden tunnistus valikoivaan puhdistukseen monimuotoisilla pinnoilla

6. Tee yhteistyötä standardointi- ja sertifiointiorganisaatioiden kanssa

Perustelu: Laserpuhdistuksen on täytettävä merenkulun pintakäsittelyvaatimukset (esim. ISO 8501 puhtaudelle)

Toimenpiteet:

- Vahvista laserpuhdistettujen pintojen soveltuvuus maalin tai pinnoitteen tartunnalle

6. Johtopäätökset

Laserpuhdistus on uusi, tehokas ja ympäristölle kestävä tapa puhdistaa teollisuudessa pintoja esimerkiksi liasta, ruosteesta ja maalista. Osana MALAMA-hankkeen työpakettia 5 ”Kustannusanalyysi eri teknologioista/niiden käyttöönotosta sekä analyysi uusien teknologioiden optimaalisesta integraatiosta tiedonsiirron näkökulmasta” selvitettiin kulut, jotka liittyvät laserteknologian käyttöön erityisesti puhdistusprosesseissa kustannuslaskentaa apuna käyttäen. Lisäksi analysoitiin laserinvestoinnin kannattavuutta ja hankinnan kokonaistaloudellisia vaikutuksia yrityksissä.

Teollisuuden pinnan puhdistusprosesseissa käytetään yhä yleisesti hiekka- ja raepuhallusmenetelmiä sekä muita ns. perinteisiä puhdistusmenetelmiä, vaikkakin laser-puhdistuksen tunnettuus kasvaa hiljalleen eri aloilla. Hankkeen aikana tehdyissä yritys-haastatteluissa havaittiin, että kustannuksia on osittain haastava verrata eri menetelmien välillä, koska yrityksillä ei ole välttämättä tarkkaa tietoa hiekka- ja raepuhalluksen kaikista kustannuksista, kuten energiankulutuksesta, jätemääristä ja niiden lajitteluun tai kierrätykseen liittyvistä kustannuksista. Myöskään puhdistettavat kohteet hiekka- ja raepuhallusmenetelmällä ja laserpuhdistusteknologialla eivät ole välttämättä vertailukelpoisia: on eri verrata hiekka-puhalluksella puhdistettavaa isoa laivan runkoa tai esimerkiksi laserpuhdistuksen avulla puhdis-tettavaa pienempää kohdetta, kuten moottoria.

Hankkeen työn tuloksena luotiin viitekehys laserteknologian kustannuksista ja laskentamalli investoinnin kannattavuuden laskentaa varten. Hankkeessa tuotettiin lisäksi esimerkkilaskelma, jonka kautta voi tarkastella, miten eri kustannukset ja tuotot voivat vaikuttaa investoinnin kannattavuuteen. Investoinnin kannattavuuden laskentamalliin sisällytettiin nettonykyarvon ja sisäisen korkokannan menetelmät.

Investoinnin kannattavuuteen linkittyvä analyysi osoittaa, että laserlaitteen käyttöasteella on merkittävä vaikutus investointipäätökseen. Käyttöasteen tarvitsee olla riittävän suuri, jotta investointi kannattaa. Mikäli laitetta käytetään vain satunnaisesti tai projektiluonteisesti yrityksen tulee laskea, kannattaako sen hankkia pienempitehoisempi laite edullisemmin vai hankkia palvelu puhdistusta tarjoavalta yritykseltä. Hiekka- ja raepuhallusta tarjoavan yrityksen on puolestaan kallista investoida laserpuhdistukseen, jos käyttöaste ja sitä kautta tulevat tuotot eivät ole riittäviä. Toisaalta jos käyttöaste on riittävä, tehokkaampi laite nopeuttaa työtä ja koko puhdistusprosessia eli tehokkuus tulee ottaa huomioon kokonaistaloudellista tilannetta arvioitaessa.

Laserlaitteen alkuinvestointi on hintava etenkin, jos hankinnassa on korkeatehoinen laite, mutta kustannussäästöjä voi syntyä laserpuhdistuksen kohdalla muun muassa kemikaalien, puhallusmateriaalien ja jätteenkäsittelyn vähenemisen osalta, myös eri työvaiheissa säästyy resursseja. Lisäksi teknologia kehittyy ja hinnat laskevat, joten tulevaisuudessa mahdollisuudet laserteknologian käytölle kasvavat entisestään. On myös huomioitava, että laserteknologian soveltamiskohteet ovat erilaisia. Esimerkiksi lasermerkkaus, ja myös osa siihen liittyvistä hankinnoista, eroavat laserpuhdistuksesta. Lasermerkkaus on yleisempi eri aloilla esimerkiksi perinteisen mustesuihkumerkkauksen ohella. Lasermerkkauslaitteet eivät myöskään välttämättä vaadi niin isoja tehoja kuin laserpuhdistuslaitteet, joten laitteita voi saada kohtuullisen edullisesti.

Investointien kannattavuuslaskelmien ohella yritysten on yhä enemmän tarpeen miettiä investointien kokonaisvaikutuksia. Nettovaikutusmenetelmä tarjoaa keinon arvioida laajemmin eri teknologioiden vastuullisuutta huomioiden esimerkiksi sosiaalisia ja turvallisuuteen liittyviä seikkoja sekä ympäristön kestävyyttä. MALAMA-hankkeessa nettovaikutusanalyysin kautta saatiin eri tietolähteisiin perustuen vertailua hiekkapuhallus- ja laserpuhdistusmenetelmien välillä. Upright Projectin kehittämä nettovaikutusmalli tarkastelee vaikutuksia neljässä keskeisessä ulottuvuudessa: ympäristö, terveys, yhteiskunta ja tieto. Hankkeessa tehdyn vertailun mukaan laserpuhdistus erottuu positiivisempana teknologiana kuin hiekkapuhallusmenetelmä, kun laserpuhdistuksen vaikutuksia tarkastellaan Upright-menetelmän mukaisilla arviointikriteereillä: tulosten perusteella laserteknologia edistää ympäristön kestävyyttä, parantaa työturvallisuutta ja tukee digitalisaatiota sekä laadunhallintaa.

Yritysten laskentatoimen ammattilaiset ovat olleet haasteen edessä, koska pitkävaikutteisia brändivaikutuksia ja myönteisiä ympäristövaikutuksia on ollut vaikea huomioida perinteisessä laskentatoimessa, mutta se olisi ehdottoman tärkeää. Pitkän aikavälin ja ympäristölle kestävien teknologisten ratkaisujen vaikutukset kannattaa ottaa huomioon arvioinneissa. Yritykset voivat käyttää apuna uusia laskentamenetelmiä harkitessaan uusia teknologioita osaksi prosessejaan. Investointilaskelmilla saa arvokasta tietoa investointien kannattavuudesta, mutta muita arviointimenetelmiä, kuten nettovaikutusmenetelmää, kannattaa soveltaa rinnalla. Eri laskenta-menetelmien avulla yritys saa mahdollisimman paljon tietoa investoinnin hyödyistä ja haitoista sekä vastuullisuuden eri osa-alueiden vaikutuksista.

MALAMA-hankkeessa kehitetty kustannusanalyysi- ja investoinnin kannattavuuden laskentamalli on laadittu erityisesti kirjallisuuden sekä yritys- ja tutkijahaastatteluiden perusteella, mutta hankkeessa on pohdittu lisäksi mallin käytännön testauksen tarvetta. Testaus oikeassa laserteknologian sovelluskohteessa on tärkeä vaihe toimivuuden kannalta niin laserpuhdistuksen kuin lasermerkkauksenkin osalta. Hankkeen tulosten perusteella on odotettavissa, että laserteknologian käyttö teollisuusprosesseissa kasvaa tulevaisuudessa, joten yrityksiä hyödyttävät viitekehykset, laskentamallit ja arviointimenetelmät ovat oivallinen tuki, kun uusien teknologioiden investointipäätöksiä harkitaan ja arvioidaan.

Lähteet

Lähteet kappaleissa 1-4 ,6

Amadei A. M., De Laurentiis V. & Sala S.. (2021). A review of monetary valuation in life cycle assessment: State of the art and future needs. *Journal of Cleaner Production, v*ol. 329, 20 December 2021, 129668.

Aro E., Piili H., Laitio K. Kamboj N., Väisänen I., Tourunen E., Tarson K., Valtonen E., Tähtinen S. & Huusko A.. (2025). *Hiekka- ja raepuhallusmenetelmien sekä laserpuhdistusteknologian nykytila-analyysi. MALAMA-hankkeen raportti 2025*. https://sites.utu.fi/malama/wp-content/uploads/sites/1286/2025/11/MALAMA_Nykytila-analyysit_2025.pdf

Aro E., Eriksson T., Hirvensalo A., Koponen A., Rissanen T. & Torkkeli L. (2019). *Internationally Scalable Business from Digitality. Digipro project final report.* https://www.utu.fi/sites/default/files/media/drupal/DigiPro_final_report.pdf, luettu 30.4.2025.

Directive (EU) (2022) '2022/2464 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2022 amending Regulation (EU) No 537/2014, Directive 2004/109/EC, Directive 2006/43/EC and Directive 2013/34/EU, as regards corporate sustainability reporting (Text with EEA relevance)', Official Journal of the European Union, L 322, 16.12.2022. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022L2464

Dyllick T. & Muff K. (2016). Clarifying the Meaning of Sustainable Business: Introducing a Typology From Business-as-Usual to True Business Sustainability. *Organization & Environment, v*ol. 29(2), 156–174.

Jokinen L., Harju N., Kinnunen K. & Hänninen S. (2025). Implications of Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) to Company Network Collaboration. *Journal of Sustainability Research,* 7(1): e250018. https://doi.org/10.20900/jsr20250018.

Knüpfer S. & Puttonen V. (2018). *Moderni rahoitus* (10. painos). Helsinki: Alma Talent Oy. https://verkkokirjahylly.almatalent.fi/teos/EADBEXDTEB#/kohta:MODERNI((20)RAHOITUS((20)/piste:b0.

Yue Li, Zhuoyi Wu, Depu Chu, Huomu Yang, Guoliang Deng & Shouhuan Zhou. (2023). Research progress of laser cleaning monitoring technology (invited)[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 52(2): 20220784.

Maximize Market Research. (2024). *Global Laser Processing Market: Global Industry Analysis and Forecast (2024–2030).* https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-laser-processing-market/8092/, Luettu 30.4.2025.

Neilimo K. & Uusi-Rauva E (1999). *Johdon laskentatoimi*, Yrityksen tuloslaskenta (2. painos). Helsinki: Oy Edita Ab.

Niskala M. & Mätäsaho R. (1996). *Ympäristölaskentatoimi.* Porvoo: WSOY.

Schaltegger S. & Burritt R. (2017). *Contemporary Environmental Accounting: Issues, Concepts and Practice*. London ja New York: Routledge Taylor and Francis.

Tourunen E. (2024). *Olomuodonmuutokset laserpuhdistuksessa*. Utupub. https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe202402268832. LuK-tutkielma, Turun yliopisto.

Tourunen E., Väisänen I., Iizuka O., Peuronen A., Kamboj N., Piili H. & Salminen A. (2025). Effect of Laser Cleaning on EH36 Steel Surface Quality in Maritime Industry Applications. *OP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 1332 012020.

Zhu G., Xu Z., Jin Y., Chen X., Yang L., Xu J., Shan D., Chen Y. & Guo B. (2022). Mechanism and application of laser cleaning: A review. *Optics and Lasers in Engineering*, 157, 107130. https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2022.107130

Lähteet kappaleessa 5: Nettovaikutusmenetelmä – Vertailu hiekkapuhalluksen ja laserteknologian välillä meriteollisuuden sovelluksissa

The Extreme Light Infrastructure ERIC. (2024). *Annual Report 2023–2024*. https://www.eli-laser.eu/media/2865/eli-annual-report_2023_2024.pdf

Occupational Safety and Health Administration. (2014). *Protecting workers from the hazards of abrasive blasting*. U.S. Department of Labor. https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/OSHA3697.pdf

Upright Project ja nettovaikutusmenetelmä:

Turunen, J. (2021). *Exploring the corporate financial and social performance relationship with net impact method*.

The Upright Project. (2021). *Net Impact Report 2021*. Upright Project. https://netimpactreport.com/

Hämäläinen, M., & The Upright Project Team. (2020). *Measuring the net impact of companies: A data-driven model for holistic sustainability assessment*. Upright Project. https://www.uprightproject.com

The Upright Project. (2023). *The Upright methodology: Quantifying holistic value creation*. Upright Project. https://www.kemijoki.fi/media/liitteet/upright-project/upright_methodology.pdf

Liite 1: Laskentamalli

MALAMA-hanke: Laserpuhdistuksen elinkaarta koskeva kustannusanalyysi ja investoinnin kannattavuuden laskentamalli

INVESTOINNIN HANKINTAMENO			
Laitteiston hankinta	**Kappalemäärä**	**Euroa**	**Summa**
Laserlaite			0
Optiikka (säteen liikuttamiseen laitteesta työpisteeseen)			0
Imuri HEPA-suodattimilla/kärynpoistoimuri			0
Paineilmakompressori			0
Aluesuojaus			0
Muut suojaukset, kuten raitisilmamaski			0
Tulityövarustus (esim. palosammuttimet)			0
Asennus			0
Koulutus			0
Automaatio/työasemat linjastoon, robotiikka			0
Paketti-auto			0
Rakennukset			0
	Yhteensä		**0**
	HANKINTAMENOJEN KUSTANNUKSET		**0**

Luku siirtyy kannattavuuslaskelman hankintamenoon.

KUSTANNUKSET			
Palkat, sis. henkilösivukulut	**Kuukaudet**	**Palkka/kk**	**Summa**
Laserpuhdistus ja muut palkat			**0**
	Yhteensä		**0**
Koulutus	**Kuukaudet**	**Palkka/kk**	**Summa**
Jatkuva koulutus (esim. sertifikaatit)			0
	Yhteensä		**0**
Materiaalit suojaukseen	**Kappalemäärä**	**Euroa/kappale**	**Summa**
Suojalasit			0
Hengityssuojain			0
Kuulosuojain			0
Suojahaalari			0
Työhanskat			0
Muut			0
	Yhteensä		**0**
Laitekustannukset	**Kappalemäärä/vuosi**	**Hinta**	**Summa**
Laitevakuutus (kuljettaessa asiakkaan tiloihin)			0
Vuosihuolto ja vesijäähdyttimen kylmäkonehuolto			0
Suodattimien vaihto			0
Optiikan linssi			0
Optiikan suojalasi			0
Muut			0
	Yhteensä		**0**

Energiankulutus	kW/vuosi	Euroa/kW	Summa	
Sähkönkulutus			0	
Stand-by tilan sähkönkulutus			0	
	Yhteensä		**0**	
Jätteenkäsittely			**Summa**	
Jätteenkäsittely (esim. suodattimet)			0	
	Yhteensä		**0**	
Kuljetus- ja matkakustannukset			**Summa**	
Polttoainekulut/sähkönkulutus			0	
Muut matkakustannukset (esim. päivärahat)			0	
	Yhteensä		**0**	
Kiinteistö- ja ajoneuvokustannukset ja vakuutukset	**Kuukaudet**	**Hinta**	**Summa**	
Hallirakennus (vuokra)			0	
Lämpö, vesi, kiinteistönhuolto			0	
Paketti-auton leasing-kustannus			0	
Kiinteistövakuutukset, liikenne-/kaskovakuutus ym.			0	
Muut			0	
	Yhteensä		**0**	
Yleishallinnon kustannukset	**Määrä**	**Euroa**	**Summa**	
Markkinointi, myynti, laskutus			0	
Muut			0	
	Yhteensä		**0**	
	KOKONAISKUSTANNUKSET		**0**	***Luku siirtyy kannattavuuslaskelman kustannuksiin.***

YKSITTÄISET VUOSIKUSTANNUKSET			
Suojamateriaalien uusiminen			
Laserverhot	5.vuosi/10.vuosi		
Raitisilmamaski	2 vuoden välein		
Optiikan vaihto/huolto	3 vuoden välein		
Laiterikot			
Muut			

VUOSITUOTOT				
Myyntituotot	**Tunnit per vuosi**	**Euroa /h**	**Summa**	
Palvelut a)			0	
Palvelut b)			0	
Muut palvelut ja tuotot			0	
	Yhteensä		**0**	
	TUOTOT		**0**	***Luku siirtyy kannattavuuslaskelman tuottoihin.***

INVESTOINNIN KANNATTAVUUS

Muuttuva tieto	Arvo
Investoidun laitteen hankintameno	
Investoidun laitteen jäännösarvo	
Tuotteen käyttöikä (vuosi)	
Tuottovaatimus prosentteina	

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Investoinnin hankintameno												
Tuotot												
Kustannukset												
Nettotuotto/vuosi												
Diskontattu nettotuotto												

NPV = Nettonykyarvo	
IRR	

Viitekehyksen/laskentamallin tarkoituksena on toimia yksinkertaistettuna, mukautettavana laskentapohjana.
Viitekehyksen/laskentamallin tiedot ovat indikatiivisia.
Käyttäjä on vastuussa viitekehyksen/laskentapohjan käytöstä ja sisällön tulkinnasta.

Liite 2: Esimerkkilaskelma

MALAMA-hanke: Laserpuhdistuksen elinkaarta koskeva kustannusanalyysi (ilman alv-tietoja) ja investoinnin kannattavuuslaskelma
Laskelma tuotettu skenaariosta, jossa luodaan uusi tuotekonsepti yritykselle ja hankitaan korkeatehoinen laserpuhdistuslaite (käsilaser) teolliseen käyttöön.

*Tähdellä merkatut kohdat: yksinkertaisuuden vuoksi käytetty samoja lukuja kaikkina vuosina riippumatta kapasiteetista. Nämä kustannukset sisältyvät kokonaiskustannuksiin.

INVESTOINNIN HANKINTAMENO				
Laitteiston hankinta	**Kappalemäärä**	**Euroa**	**Summa**	
Laserlaite	1	100 000	100 000	
Optiikka (säteen liikuttamiseen laitteesta työpisteeseen)			0	
Imuri HEPA-suodattimilla/kärynpoistoimuri		5 200	5 200	
Paineilmakompressori	1	710	710	
Aluesuojaus	1	10 000	10 000	
Muut suojaukset, kuten raitisilmamaski	2	1 625	3 250	
Tulityövarustus (esim. palosammuttimet)	1	500	500	
Asennus			0	
Koulutus	2	2 400	4 800	
Automaatio/työasemat linjastoon, robotiikka			0	
Paketti-auto			0	
Rakennukset			0	
	Yhteensä		**124 460**	
	HANKINTAMENOJEN KUSTANNUKSET		**124 460**	***Luku siirtyy kannattavuuslaskelman hankintamenoon.***

KUSTANNUKSET				
Palkat, sis. henkilösivukulut	**Kuukaudet**	**Palkka/kk**	**Summa**	
Vuosi 1	2,5	4 030	**10 075**	***Palkat siirtyvät kannattavuuslaskelman kustannuksiin kyseessä olevan vuoden kohdalle.***
Vuosi 2	5	4 030	**20 150**	
Vuodet 3-11	10	4 030	**40 300**	
Koulutus	**Kuukaudet**	**Palkka/kk**	**Summa**	
Jatkuva koulutus (esim. sertifikaatit)			0	
	Yhteensä		**0**	
Materiaalit suojaukseen*	**Kappalemäärä**	**Euroa/kappale**	**Summa**	
Suojalasit	2	200	400	
Hengityssuojain	2	200	400	
Kuulosuojain	2	30	60	
Suojahaalari	2	200	400	
Työhanskat	8	20	160	
Muut			0	
	Yhteensä		**1 420**	
Laitekustannukset*	**Kappalemäärä/vuosi**	**Hinta**	**Summa**	
Laitevakuutus (kuljettaessa asiakkaan tiloihin)	25	100	2 500	
Vuosihuolto ja vesijäähdyttimen kylmäkonehuolto	1	1 500	1 500	
Suodattimien vaihto	2	200	400	

Optiikan linssi	4	250	1 000	
Optiikan suojalasi	52	100	5 200	
Muut				
	Yhteensä		**10 600**	
Energiankulutus	**kW/vuosi**	**Euroa/kW**	**Summa**	
Vuosi 1				
Sähkönkulutus (puolet palveluista a) suoritetaan omissa tiloissa)	625	0,09	56	
Stand-by tilan sähkönkulutus	313	0,09	28	
	Yhteensä		**84**	***Kustannukset siirtyvät kannattavuuslaskelman kustannuksiin kyseessä olevan vuoden kohdalle.***
Vuosi 2				
Sähkönkulutus (puolet palveluista a) suoritetaan omissa tiloissa)	1 250	0,09	113	
Stand-by tilan sähkönkulutus	625	0,09	56	
	Yhteensä		**169**	
Vuodet 3-11				
Sähkönkulutus (puolet palveluista a) suoritetaan omissa tiloissa)	2 500	0,09	225	
Stand-by tilan sähkönkulutus	1 250	0,09	113	
	Yhteensä		**338**	
Jätteenkäsittely*			**Summa**	
Jätteenkäsittely (esim. suodattimet)			750	
	Yhteensä		**750**	
Kuljetus- ja matkakustannukset*			**Summa**	
Polttoainekulut/sähkönkulutus			600	
Muut matkakustannukset (esim. päivärahat)			1 275	
	Yhteensä		**1 875**	
Kiinteistö- ja ajoneuvokustannukset ja vakuutukset*	**Kuukaudet**	**Hinta**	**Summa**	
Hallirakennus (vuokra)			0	
Lämpö, vesi, kiinteistönhuolto			0	
Paketti-auton leasing-kustannus	12	550	6 600	
Kiinteistövakuutukset, liikenne-/kaskovakuutus ym.	12	100	1 200	
Muut			0	
	Yhteensä		**7 800**	
Yleishallinnon kustannukset*	**Määrä**	**Euroa**	**Summa**	
Markkinointi, myynti, laskutus			4 500	
Muut			0	
	Yhteensä		**4 500**	
	KOKONAISKUSTANNUKSET*		**26 945**	***Luku siirtyy kannattavuuslaskelman kustannuksiin jokaisen vuoden kohdalle.***

YKSITTÄISET VUOSIKUSTANNUKSET			
Suojamateriaalien uusiminen			
Laserverhot	5.vuosi/10.vuosi		3 000
Raitisilmamaski	2 vuoden välein		3 250
Optiikan vaihto/huolto	3 vuoden välein		4 000
Laiterikot			
Muut			

VUOSITUOTOT			
Myyntituotot	**Tunnit per vuosi**	**Euroa /h**	**Summa**
Vuosi 1			
Palvelut a)	250	130	32 500
Palvelut b)			5 500
Muut palvelut ja tuotot			
	Yhteensä		**38 000**
Vuosi 2			
Palvelut a)	500	130	65 000
Palvelut b)			10 000
Muut palvelut ja tuotot			
	Yhteensä		**75 000**
Vuodet 3-11			
Palvelut a)	1 000	130	130 000
Palvelut b)			20 000
Muut palvelut ja tuotot			
	Yhteensä		**150 000**

Luku siirtyy kannattavuuslaskelman tuottoihin kyseessä olevan vuoden kohdalle.

INVESTOINNIN KANNATTAVUUS

Muuttuva tieto	Arvo
Investoidun laitteen hankintameno	124 460
Investoidun laitteen jäännösarvo	-200
Tuotteen käyttöikä (vuosi)	11
Tuottovaatimus prosentteina	15

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Investoinnin hankintameno	-124 460	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tuotot		38 000	75 000	150 000	150 000	150 000	150 000	150 000	150 000	150 000	150 000	150 000
Kustannukset		-37 104	-50 514	-71 583	-70 833	-70 583	-74 833	-67 583	-70 833	-71 583	-73 833	-67 783
Nettotuotto/vuosi	-124 460	896	24 486	78 418	79 168	79 418	75 168	82 418	79 168	78 418	76 168	82 218
Diskontattu nettotuotto		779	18 515	51 561	45 264	39 485	32 497	30 984	25 880	22 291	18 827	17 672

NPV = Nettonykyarvo	**179 295**
IRR	**36,06 %**

Viitekehyksen/laskentamallin tarkoituksena on toimia yksinkertaistettuna, mukautettavana laskentapohjana.
Viitekehyksen/laskentamallin tiedot ovat indikatiivisia.
Käyttäjä on vastuussa viitekehyksen/laskentapohjan käytöstä ja sisällön tulkinnasta.