



Selvitys perälaatikon huulialueeseen sovellettavista puhdistustavoista

Juhani Jelonen

Opinnäytetyö, AMK
Syyskuu 2024
Konetekniikka

Jelonen, Juhani

Selvitys perälaatikon huulialueeseen sovellettavista puhdistustavoista

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Syyskuu 2020, 52 sivua.

Konetekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Valmet Technologies Oy, joka tarjoaa kunnossapitopalveluita asiakkailleen paperi- ja kartonkikoneisiin, tarvitsi ratkaisua paperikoneen perälaatikon puhdistusprosessin tehostamiseksi ennen kunnossapitotöiden suorittamista. Tavoitteena oli löytää ja arvioida uusia puhdistusmenetelmiä, jotka voitaisiin ottaa käyttöön perälaatikon kunnossapitotöissä, sekä syventää ymmärrystä likaantumisprosesseista.

Tutkimus toteutettiin kehittämistutkimuksena, jossa hyödynnettiin sekä määrällisiä että laadullisia tutkimusmenetelmiä. Lisäksi sovellettiin benchmarking-analyysiä. Kirjallisuuskatsauksessa käsiteltiin puhdistettavaa ympäristöä, likaantumisen prosesseja ja erilaisia puhdistusmenetelmiä. Potentiaalisia puhdistusmenetelmiä vertailtiin painotetun pistematriisin avulla, ja aineistoa tähän kerättiin kirjallisuudesta, teemahaastatteluista ja henkilökohtaisista tiedonannoista.

Kaikki vertailussa olleet puhdistusmenetelmät todettiin soveltuviksi perälaatikon puhdistukseen. Kemikaalipesu sai parhaat tulokset painotetussa pistematriisissa ja osoittautui potentiaalisimmaksi vaihtoehdoksi. Yksikään menetelmä ei kuitenkaan osoittautunut täydelliseksi, ja puhdistusmenetelmien toimivuuden havaittiin vaihtelevan eri likatyypin mukaan. Kuivajääpuhallus todettiin tehokkaimmaksi suurten saostumien poistamisessa, kun taas laserpuhdistus ja kemikaalipesu soveltuivat parhaiten ohuen likakalvon ja orgaanisen lian poistamiseen. Soodapuhallus ja korkeapainepesu arvioitiin yleisesti kohtuullisiksi menetelmiksi.

Tutkimuksen tavoitteet saavutettiin ja tutkimuskysymyksiin saatiin vastaukset. Puhdistusmenetelmien yhdistämisen mahdollisuutta pohdittiin, ja kuivajääpuhalluksen yhdistäminen laserpuhdistukseen tai kemikaalipesuun ehdotettiin monipuolisimman lopputuloksen saavuttamiseksi. Kaikki vertailun menetelmät kuitenkin suositeltiin testattaviksi käytännössä ennen niiden käyttöönottoa. Nykyistä puhdistusprosessia ehdotettiin parannettavaksi mittaamalla puhdistetun pinnan puhtaus esimerkiksi pintaenergiamittauksen avulla.

Avainsanat (asiasanat)

benchmarking, kuivajääpuhallus, kunnossapito, korkeapainepesu, laserpuhdistus, paperikone, perälaatikko, soodapuhallus

Muut tiedot

Jelonen, Juhani

Study on cleaning methods for the headbox slice area

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, September 2024, 52 pages.

Degree Programme in Mechanical Engineering. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

Valmet Technologies Oy, which provides maintenance services for customers' paper and board machines, required a solution to enhance the cleaning process of the paper machine headbox before performing maintenance tasks. The goal was to identify and evaluate new cleaning methods that could be implemented in headbox maintenance work, as well as to deepen the understanding of contamination processes.

The research was conducted as a development study, utilizing both quantitative and qualitative research methods. Additionally, a benchmarking analysis was applied. The literature review covered the cleaning environment, contamination processes, and various cleaning methods. Potential cleaning methods were compared using a weighted point matrix, with data collected from literature, thematic interviews, and personal communications.

All the cleaning methods compared were found suitable for headbox cleaning. Chemical cleaning achieved the best results in the weighted point matrix and proved to be the most promising option. However, none of the methods were found to be perfect, and the effectiveness of the cleaning methods varied depending on the type of contamination. Dry ice blasting was found to be the most effective for removing large deposits, while laser cleaning and chemical cleaning were best for removing thin layers of dirt and organic contaminants. Soda blasting and high-pressure jetting were generally assessed as reasonable methods.

The research objectives were achieved, and the research questions were answered. The possibility of combining cleaning methods was considered, and it was suggested that combining dry ice blasting with laser cleaning or chemical cleaning could yield the most comprehensive results. However, it was recommended that all the compared methods be tested in practice before implementation. The current cleaning process could also be improved by measuring the cleanliness of the cleaned surface, for example, by using surface energy measurement.

Keywords/tags (subjects)

benchmarking, dry ice blasting, headbox, high-pressure jetting, laser cleaning, maintenance, paper machine, soda blasting

Miscellaneous (Confidential information)

Sisältö

1	Johdanto	4
1.1	Työn tausta ja Valmet Technologies Oy	4
1.2	Työn tavoitteet	5
1.3	Eettisyys.....	6
1.4	Opinnäytetyön rajaukset.....	7
2	Tutkimusmenetelmät	7
2.1	Teoreettinen viitekehys ja tutkimuskysymykset.....	7
2.2	Kehittämistutkimus	9
2.3	Benchmarking.....	11
2.4	Painotettu pistematriisi.....	13
3	Puhdistettava ympäristö.....	13
3.1	Paperi- ja kartonkikone	13
3.1.1	Perälaatikko	14
3.2	Paperimassa	18
3.2.1	Kuituraaka-aineet	18
3.2.2	Massanvalmistus.....	19
3.3	Likaantuminen.....	20
3.3.1	Likatyypit paperikoneissa	21
3.3.2	Likapartikkeleiden analysointi ja tunnistaminen.....	21
3.3.3	Likaantumisen hallinta paperitehtaalla	22
4	Puhdistustavat.....	23
4.1	Uusien puhdistustapojen etsiminen benchmarking-analyysilla	23
4.1.1	Uusien puhdistustapojen etsiminen.....	23
4.1.2	Ideointi tekoälyä käyttäen	24
4.2	Puhdistusaineet.....	24
4.3	Korkeapainevesi	25
4.4	Laserpuhdistus	26
4.4.1	Laserpuhdistusmenetelmät	27
4.5	Kuivajääpuhallus.....	28
4.6	Soodapuhallus	29
5	Laittoimittajien ja puhdistuspalveluntarjoajien haastattelut.....	29
5.1	Teemahaastattelujen yhteenveto	30
5.1.1	Kuivajääpuhallus	30

5.1.2	LasERPuhdistus.....	31
5.1.3	Soodapuhallus.....	32
5.1.4	Korkeapainepesu	33
5.1.5	Kemikaalipesu.....	33
6	Arviointi painotetulla pistematriisilla	34
6.1	Pisteytys	34
6.2	Painokertoimet.....	35
6.3	Pistematriisi.....	36
7	Työn tulokset.....	37
7.1	Yhteenvedo puhdistusmenetelmien ominaisuuksista.....	38
7.2	Pinnan puhtauden arviointi.....	39
7.3	Asiakkaan vastuut	41
8	Johtopäätökset ja pohdinta	41
8.1	Pohdinta	43
8.1.1	Työn luotettavuuden arviointi	43
8.2	Suositukset ja tulosten hyödyntäminen.....	44
Lähteet		46
Liitteet		48
Liite 1.	Haastattelurunko.....	48
Liite 2.	Toiminnan keskeisten mittareiden pisteytys	49
Liite 3.	Arviointikriteerien painoarvot.....	51
Liite 4.	Painotettu pistematriisi	52
Kuviot		
Kuvio 1.	Opinnäytetyön teoreettinen viitekehys.....	8
Kuvio 2.	Laadullisen tutkimuksen prosessikaavio (Kananen 2012, 93, muokattu).....	10
Kuvio 3.	Eräs benchmarking-viitekehys (Hannus 1994, 97, muokattu)	12
Kuvio 4.	Valmet-perälaatikko (OptiFlo Fourdrinier headbox n.d.)	15
Kuvio 5.	Perälaatikon elektrolyyttinen kiillotus (Perälaatikkojen rakenteet ja tehtävät 2023.)	16
Kuvio 6.	Turbulenssigeneraattori (Perälaatikkojen rakenteet ja tehtävät 2023.)	17
Kuvio 7.	LasERPuhdistuksen periaate (LasERPuhdistus n.d.)	27
Kuvio 8.	KRÜSS Drop Shape Analyzer.....	40

Taulukot

Taulukko 1. Arviointikriteerien painoarvot.....	35
Taulukko 2. Painotetun pistematriisin tulokset.....	36
Taulukko 3. Puhdistusmenetelmät lianpoistokyvyn mukaan	37

1 Johdanto

1.1 Työn tausta ja Valmet Technologies Oy

Valmet Technologies Oy on johtava ja maailmanlaajuisesti tunnettu yritys, joka toimittaa teknologiaratkaisuja metsäteollisuuden eri sektoreille, kuten paperi-, sellu- ja kartonkiteollisuuteen. Valmet-organisaatio on jaettavissa viiteen maantieteelliseen alueeseen ja viiteen liiketoimintalinjaan. Viisi aluetta ovat Pohjois-Amerikka, Etelä-Amerikka, Eurooppa, Lähi-itä ja Afrikka (EMEA), Kiina ja Aasian sekä Tyynenmeren alue. Alueiden tehtäviin ja palveluihin kuuluu muun muassa vastata myynnistä, tarjota asiakkaan tarpeiden mukaisia palveluja sekä tukea projektitoimituksia alueelle. (Valmet yrityksenä n.d.)

Liiketoimintalinjat on jaettu seuraavasti (Valmet yrityksenä n.d.):

- Paperit, eli kokonaiset tuotantolinjat, koneusinnat sekä prosessikomponentit paperin, kartongin sekä pehmopaperin valmistukseen.
- Sellu ja energia, eli teknologiset ratkaisut sellun ja energian tuotannossa, biomassojen jalostuksessa sekä päästöjen hallinnassa.
- Automaatiojärjestelmät, eli automaattioratkaisut yksittäisestä mittalaitteesta aina tehdaslaajuiseen automaatiojärjestelmään.
- Virtauksensäätö, eli kriittiset virtauksensäätöratkaisut ja palvelut asiakkaan tarpeiden mukaisesti.
- Palvelut, eli prosessin suorituskykyä ja luotettavuutta parantavat palvelut koko sen elinkaaren ajalle.

Tämä opinnäytetyön aihe palvelee kaikkia yrityksen maantieteellisiä alueita palveluliiketoimintalinjassa, paperi- ja kartonkikoneiden kenttähuoltotöiden parissa. Valmet tarjoaa kunnossapito- ja kenttähuoltopalveluita asiakkaiden paperi- ja kartonkikoneisiin ympäri maailman. Yksi merkittävimpiä paperikoneen huoltokomponentteja on perälaatikko, johon tämä opinnäytetyö keskittyy. Perälaatikon pinnoille kertyy likaa paperikoneen märänpään ympäristön, ajettavan paperimassan sekä ylläpidon, kuten puhdistuksen, seurauksena. Kriittisimmät kohteet lian kertymiseen ovat perälaatikon huulialue ja sisäiset putkimaiset rakenteet. Perälaatikon huulialue täytyy puhdistaa säännöllisesti ja saada puhtaaksi mm. sen pinnoitusta varten. Paperimassasta kertyvä lika tarttuu haitallisesti perälaatikon pinnoille ja sen irrotus on haasteellista, sillä monille pinnoille ja putkimaisiin rakenteisiin on huono luoksepäästävyys.

Perälaatikko pestään aina seisokkien yhteydessä huolto-ohjeiden mukaisesti. Lisäksi kemiallinen pesu tulisi suorittaa rutiininomaisesti, säännöllisin väliajoin. Tämänhetkisiä puhdistuskeinoja ovat paineellinen vesisuihku, erilaiset pesulaitteet huulikanavaan ja välikammioihin sekä mekaaninen hionta, jonka ongelmana on pinnan vahingoittaminen ja perälaatikon huulen kuluminen pitkällä aikavälillä. Kemiallinen pesu voidaan suorittaa neutraalina ja alkalisena prosessina. Kemialliseen pesuun on kolme vaihtoehtoa seuraavasti:

- pesu pelkällä emäksisellä pesuaineella
- pesu pelkällä hapolla tai happamalla pesuaineella
- käyttämällä yhdistettyä happo-emäspesuyhdistelmää

Jos käytetään happo-emäspesujen yhdistelmää, emäspesu suoritetaan ensin, jotta kaikki orgaaniset aineet, jotka voivat aiheuttaa vaahtoamista, poistuvat ennen happopesua. Saostumat poistetaan sen jälkeen happopesulla, jonka jälkeen kohde on huuhdeltava hyvin. Tällä hetkellä toimeksiantaja voi puhdistaa pulloharjalla perälaatikon sisäpuoliset putkimaiset rakenteet. Tähän kuitenkin haluttaisiin jokin parempi ratkaisu, sillä pulloharjapuhdistus ei ole tarpeeksi tehokas. Huulikanavaan jääneisiin lika- ja pesuainejäämiin alkaa kertyä kuitua, mikä pahimmassa tapauksessa aiheuttaa ratakatkon paperia ajettaessa. Tehokkaamman puhdistuskeinon löytäminen parantaisi ajettavuutta ja pitäisi perälaatikon osat paremmassa kunnossa ja näin pidentäisi myös koneen elinikää. Isommassa mittakaavassa se myös tukisi kestäväää kehitystä vähentämällä paperikonetuotantoa.

1.2 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on tutustua paperi- ja kartonkikoneen perälaatikon huulialueella esiintyvään liikaan tarkemmin ja löytää parempia keinoja lian poistamiseen. Nykyinen toimintatapa huulialueen puhdistuksessa on rajoittunut toimeksiantajan omaan osaamiseen ja tietämykseen ja se ei täysin kata asiakkaan tarpeita. Toimeksiantajalla on paljon tietoa puhdistustavoista, -menetelmistä ja -kemikaaleista paperikoneympäristössä, mutta sitä ei välttämättä ole aina käsillä tilanteen tullen tai sitä ei osata hyödyntää oikein. Lisäksi uusia ratkaisuja puhdistukseen kehittyy jatkuvasti teknologian kehittyessä. Tämä opinnäytetyö auttaa toimeksiantajaa ymmärtämään sopivamman toimintatavan rajatun kohteen puhdistamiseen. Tarkoituksena on tunnistaa kattavasti puhdistusmahdollisuudet ja selvittää niiden toimivuuden keskeiset ydinkohdat. Toimeksiantajaa kiinnostaa erityisesti selvittää mm. kemikaalien, korkeapaineveden, laserpuhdistuksen sekä kuivajää- ja soodapuhalluk-

sen käyttömahdollisuudet ja ominaisuudet kohteessa. Lisäksi tavoitteena on tunnistaa kohteessa esiintyvät likatyypit paremmin, jotta puhdistustavan voisi valita tehokkaasti juuri oikeaan tarpeeseen.

Toimeksiantajayritykselle tämä opinnäytetyö kehittää puhdistuspalvelua huoltotöiden yhteydessä paperi- ja kartonkikoneympäristöön. Lisäksi palveluntilaajat toivovat jatkuvasti parempia puhdistusratkaisuja, eli opinnäytetyö auttaa toimeksiantajaa vastaamaan asiakkaiden tarpeisiin. Opinnäytetyön löydökset auttavat tekemään ennen huoltoa tehtävistä puhdistuksista nopeampia ja tehokkaampia. Näin säästyy enemmän aikaa itse huoltotöille ja samalla myös asiakkaiden kallisarvoinen seisokkiaika lyhenee. Lopputuloksena työstä oletetaan syntyvän selvitys, jossa tarkastellaan kohteeseen sovellettavia puhdistustapoja ja niiden keskeisiä ominaisuuksia sekä vertaillaan niiden hyötyjä ja haittoja. Vertailun perusteella on tarkoitus kartoittaa, minkälaisessa tilanteessa mitään puhdistustapaa kannattaa käyttää. Opinnäytetyössä löytyy mahdollisesti myös puhdistusratkaisuja, joiden ominaisuudet sopivat käyttökohteeseen, mutta käytännön toteutus paperikoneympäristöön ei ole mahdollinen. Tällaisia löydöksiä voidaan hyödyntää jatkoselvityksessä sekä tuotekehityksessä. Lisäksi toimeksiantaja voi hyödyntää työssä käytettyä benchmarking-runkoa, sekä painotettua pistematriisia tulevaisuudessa uusien puhdistustapojen etsimiseen ja vertailuun teknologian kehittyessä.

1.3 Eettisyys

Opinnäytetyössä noudatetaan hyvää tieteellistä käytäntöä ja raportointi tehdään JAMK:in raportointiohjeiden mukaisesti. Työssä paneudutaan hyvin laajalti kirjallisuuteen, tietoartikkeleihin sekä haastatellaan mahdollisia laitetoimittajia. Haastateltavien ihmisten henkilötiedot pidetään anonyyminä ja haastatteluilla kerättyä materiaalia säilytetään opinnäytetyön tekijän tietokannassa analysoinnin ja dokumentoinnin ajan. Ainoastaan opinnäytetyön kirjoittajalla on pääsy haastatteluiden materiaaleihin. Opinnäytetyön valmistuttua haastatteluiden materiaalit tuhoetaan. Haastateltaville ihmisille ilmoitetaan etukäteen, mitä varten ja minkälaista tietoa heiltä tullaan keräämään, sekä miten heidän tietojaan ja haastatteluaan tullaan käsittelemään ja säilyttämään. Opinnäytetyössä käytettyjen henkilökohtaisten tiedonantojen osalta kysytään asianomaisten henkilöiden suostumus heidän tietojensa ja nimensä käyttöön.

Opinnäytetyössä hyödynnetään tekoälyä käyttämällä ChatGPT-tekoälysovellusta. Tekoälyä käytetään tutkimusosion benchmarking-analyysissä ideointiin. Tekoälyn esittämien lupaavien ideoiden tiimoilta kerätään tietoa luotettavista lähteistä ja arvioidaan sen perusteella idean toimivuutta. Tietoa ei siis kerätä tekoälyn tuottamasta sisällöstä. Tekoälylle ei syötetä henkilötietoja tai toimeksiantajan salattua materiaalia.

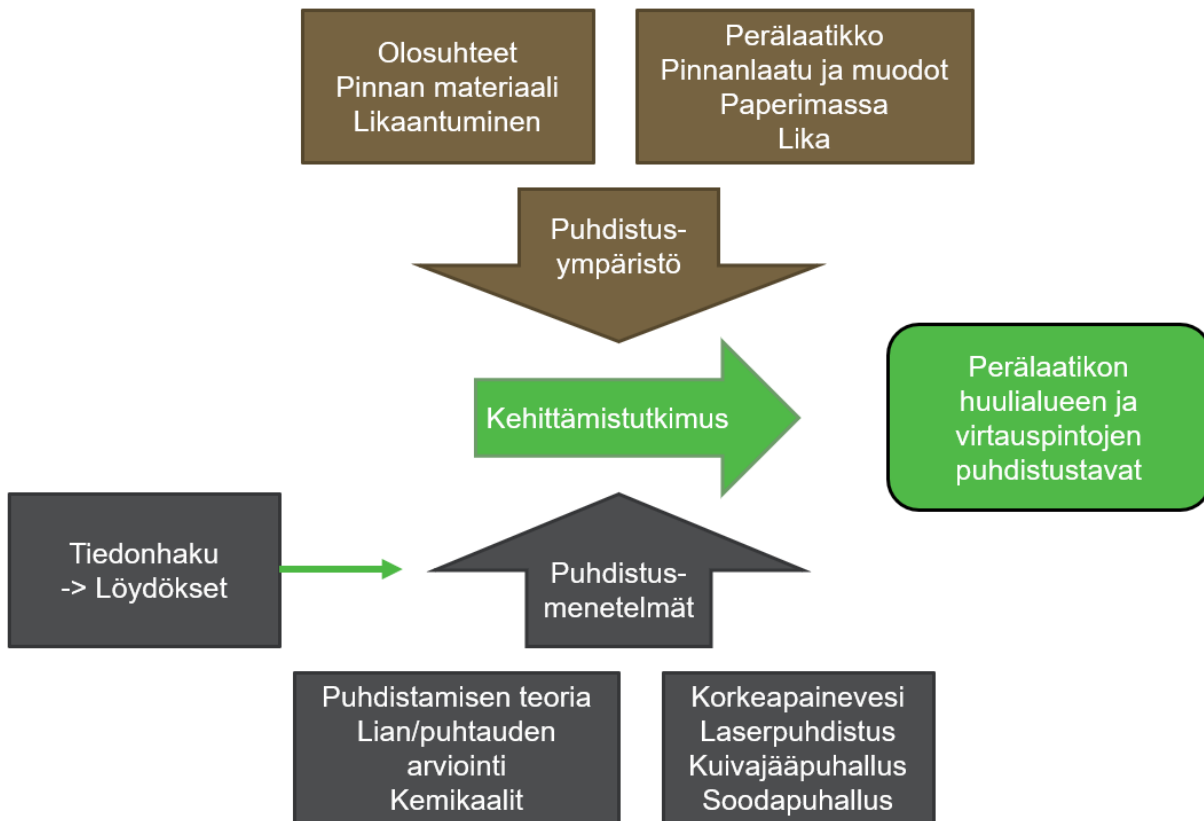
1.4 Opinnäytetyön rajaukset

Opinnäytetyö rajataan koskemaan vain paperi- ja kartonkikoneiden perälaatikon huulialuetta ja sisäpuolisia virtauspintoja, koska toimeksiantaja haluaa sen tiimoilta sekä lisää tietämystä että uusia puhdistusratkaisuja. Opinnäytetyö ei sisällä laitekehitystä. Puhdistusratkaisuja etsitään ruostumattomille metallipinnoille, vaikeasti luokse päästäviä putkistorakenteita silmällä pitäen. Työn tuloksia voi hyödyntää muihinkin alueisiin, mutta sen selvitys ei kuulu tähän työhön. Tietoperustaa rajataan puhdistettaviin pintoihin sekä paperimassasta kertyvään likaan. Näiden perusteella lähdetään etsimään ratkaisua kemikaaleista ja menetelmistä sekä niiden yhdistelmistä. Työssä ei perehdytä yksittäisiin kemikaaleihin, vaan keskitytään puhdistusaineiden ominaisuuksiin ja vaatimuksiin yleisellä tasolla. Koska työn tarkoituksena on löytää toteutettavissa olevia puhdistustapoja, vertailaan löydöksiä käytännön toteutuksen kannalta. Opinnäytetyöhön ei sisälly löydöksiä jatkojalostus, kehitystyö tai käytännön testaus.

2 Tutkimusmenetelmät

2.1 Teoreettinen viitekehys ja tutkimuskysymykset

Uusien puhdistustapojen etsimistä ja vertailua varten on ymmärrettävä aiheen teoreettinen viitekehys. Opinnäytetyön aiheen teoreettinen viitekehys on esitetty tarkemmin kuviossa 1. Ratkaisuja varten on tunnettava puhdistusympäristö, eli tässä tapauksessa olosuhteet paperikoneen märässä päässä, puhdistettavat pinnat perälaatikossa sekä irrotettavat likatyypit, jotka ovat peräisin paperimassasta ja koneen ylläpidosta. Tämän lisäksi on tutustuttava puhdistuksen peruseriaatteisiin ja teoriaan, haluttuihin puhdistusmenetelmiin ja erilaisiin kemikaaleihin. Puhdistusmenetelmiä ovat korkeapainevesi, laserpuhdistus, kuivajääpuhallus, soodapuhallus sekä muut tutkimuksen aikana löydetty puhdistustavat. Ymmärtämällä puhdistettavan ympäristön sekä puhdistusmenetelmien perusteet, voimme arvioida tutkittavia vaihtoehtoja perusteellisesti ja etsiä uusia ratkaisuja.



Kuvio 1. Opinnäytetyön teoreettinen viitekehys

Opinnäytetyön tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

- Millä perälaatikon huulialueen voi ja saa puhdistaa?
- Mikä on eri puhdistustapojen toteutuksen mahdollisuus paperikoneympäristössä?

Tutkimuskysymykseen löydettyihin vastauksiin kohdistetaan mm. seuraavia jatkokysymyksiä:

- Miten hyvin lika lähtee irti?
- Kärsivätkö puhdistettavat pinnat?
- Mitä fyysisiä rajoitteita ja ympäristötekijöitä puhdistustapoihin liittyy paperikoneympäristössä?

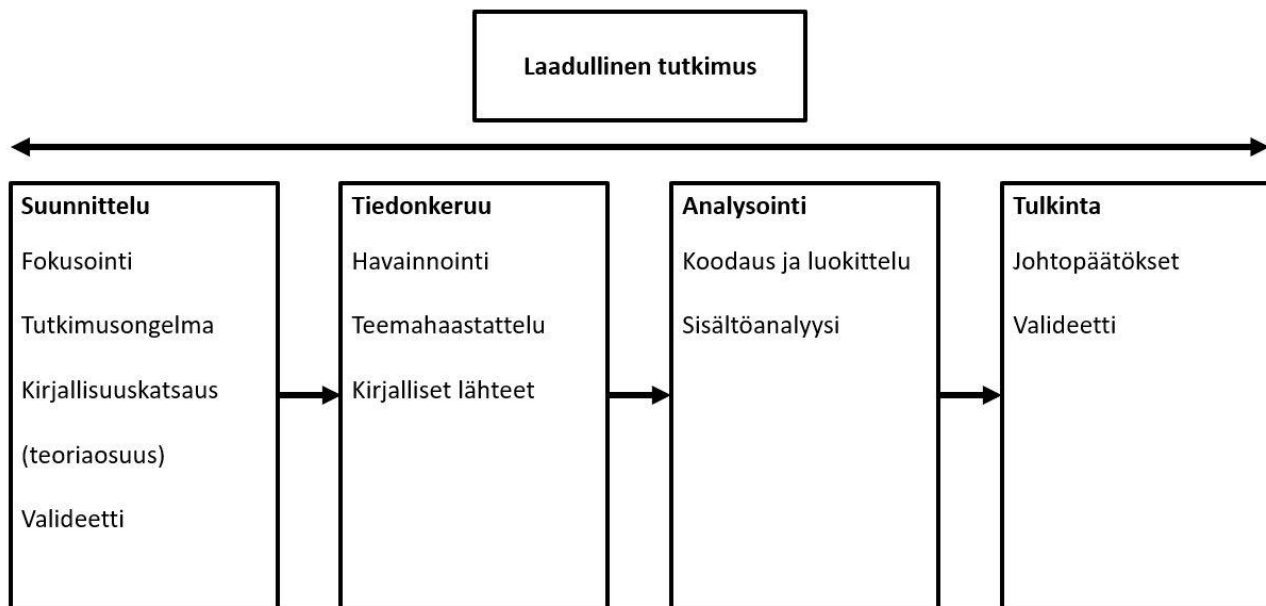
2.2 Kehittämistutkimus

Kananen (2012) esittää kehittämistutkimuksen jakautuvan kahteen prosessiin: tutkimukseen ja kehittämistyöhön. Kehittämistyön kohteena voi olla esimerkiksi prosessi, tuote, palvelu tai toiminta. Tutkimuksesta syntyy opinnäytetyö. (Kananen 2012, 45.) Tässä opinnäytetyössä kehittämistyön kohteena on paperikoneen perälaatikon puhdistaminen, mikä voidaan nähdä sekä prosessina että palveluna. Tässä työssä pyritään parantamaan olemassa olevia käytäntöjä ja luomaan uusia ratkaisuja konkreettisiin ongelmiin. Kehittämistutkimus sopii erityisen hyvin tällaisiin tilanteisiin.

Kehittämistutkimuksessa taustalla on aina teoria, johon kehittämisessä viitataan. Työ vaatii myös tutkimuksellisen otteen, jotta voidaan käyttää termiä tutkimus. Kehittämistutkimus koostuu useista eri tutkimusmenetelmistä ja on usein yhdistelmä laadullisia ja määrällisiä tutkimusmenetelmiä. (Kananen 2012, 19.)

Määrällinen tutkimus edellyttää Kananen (2012) mukaan olemassa olevia malleja tai teorioita tutkittavasta aiheesta, jotta ymmärretään ilmiö. Tutkimuskysymykset luodaan olemassa olevasta teoriasta ja työn tuloksena saadaan lukuja, joita voidaan analysoida tilastollisesti. (Kananen 2012, 31.) Laadullisella tutkimuksella tarkoitetaan tutkimusta, jolla pyritään pääsemään lopputuloksiin ilman tilastollisia menetelmiä, ja tutkimuksessa käytetään lukujen sijaan sanoja ja lauseita. Tarkoitus on saada ymmärrettyä ja kuvattua ilmiö mahdollisimman syvällisesti. Laadullisessa tutkimuksessa ei ole tarkkaan määritettyä viitekehystä ja ohjeistusta, ja aineiston analyysi on syklinen prosessi, josta puuttuvat tiukat säännöt. Prosessin aikana voidaan palata aikaisempiin vaiheisiin, eli prosessi ei tyypillisesti etene lineaarisesti, vaan kenttöiden ja teoriapohdintojen vuorottelu tutkimuksen aikana on yleistä ja usein myös välttämätöntä. Laadullista tutkimusta voidaan tulkita useasta objektiivisesta näkökulmasta ja tutkimuksen tulkinta riippuukin tutkijasta, mutta vääriä tulkintoja ei tulisi kuitenkaan esittää. Laadullista tutkimusta voidaan käyttää esitutkimuksena määrälliselle tutkimukselle ja toisaalta laadullisella tutkimuksella voidaan myös hakea syventäviä vastauksia aiemmin suoritetulle tutkimukselle. (Kananen 2012, 29–30.)

Kananen (2012) toteaa laadullista tutkimusta tarvittavan kehittämistutkimuksen jokaisessa vaiheessa. Laadullinen tutkimus koostuu neljästä vaiheesta. (Ks. kuvio 2.) Laadullisen tutkimuksen prosessikaaviota seuraamalla saavutetaan opinnäytetyön kohteen tavoitteet ja saadaan vastaukset asetettuihin tutkimuskysymyksiin. (Kananen 2012, 92.)



Kuvio 2. Laadullisen tutkimuksen prosessikaavio (Kananen 2012, 93, muokattu)

Teemahaastattelua voi Kanasen (2012) mukaan käyttää kehittämistutkimuksen vaiheissa, joissa haetaan ymmärrystä ilmiöön tai asiantilaan. Tällöisiä vaiheita ovat esimerkiksi (Kananen 2012, 99.):

- ongelman määrittely
- vaikuttavuuden arviointi
- tulosten arviointi

Teemahaastattelu on yleisin laadullisen tutkimuksen tiedonkeruumenetelmä. Haastattelu voidaan suorittaa joko yksilö- tai ryhmähaastatteluna. Ryhmähaastatteluilla saadaan tiivistettyä tietoa hyvin, kun taas yksilöhaastatteluilla saadaan tarkempaa ja luotettavampaa tietoa. Haastateltaviksi valitaan ihmisiä, joita ilmiö koskettaa. Laadullisessa tutkimuksessa ei usein voida etukäteen määrittää haastateltavien määrää. Teemahaastatteluissa puhutaan teemasta ensin yleisesti ja siirrytään lopuksi yksityiskohtiin. Tämän jälkeen siirrytään seuraavaan teemaan. Teemat kattavat yhdessä kokonaan kyseisen ilmiön ja teemojen tulisi katsoa ilmiötä keskenään eri näkökulmista. Teemahaastattelussa haastattelijan kysymykset ohjaavat keskustelua ja haastateltavan antamat vastaukset johtavat jatkokysymyksiin, eli haastattelu on joustavaa. (Kananen 2012, 100–103.)

Kehittämistutkimuksen käyttö tässä opinnäytetyössä on perusteltua sen joustavuuden ja monipuolisuuden vuoksi. Menetelmä yhdistää tutkimuksen ja kehittämistyön, mikä mahdollistaa aiheen syvällisen tarkastelun ja käytännön sovellusten kehittämisen. Opinnäytetyössä tutkimusprosessi antaa teoreettisen pohjan, jonka perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä ja ohjata kehittämistyötä, jossa keskitytään tutkimuskohteiden vertailuun ja arviointiin. Laadullinen tutkimus tarjoaa syvällistä ymmärrystä tutkittavista ilmiöistä, kun taas määrällinen tutkimus tuo objektiivista näkökulmaa tuloksiin, mikä vahvistaa työn luotettavuutta. Tässä työssä teemahaastattelujen avulla kerätty tieto mahdollistaa tarkemman analyysin ja vertailun, mikä tukee kehittämistyön tavoitteiden saavuttamista. Näin kehittämistutkimus soveltuu hyvin tämän opinnäytetyön menetelmäksi, koska se mahdollistaa aiheen monipuolisen tarkastelun ja tukee sekä teoreettisen että käytännöllisen tiedon kehittämistä.

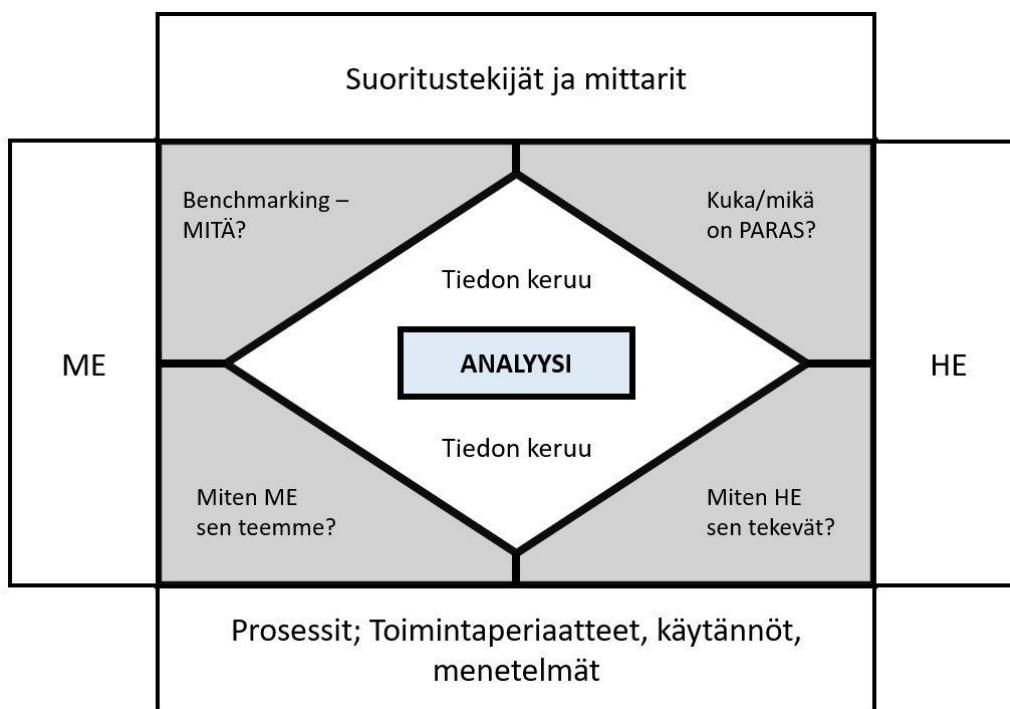
2.3 Benchmarking

Benchmarking tarkoittaa parhaan mahdollisen toimintatavan etsimistä valittuun kohteeseen. Benchmarkingissa tunnistetaan oman tai muiden toimialojen parhaat toimintamallit sekä käytännöt. Tunnistetut toimintamallit ja käytännöt toimivat sen jälkeen oman tekemisen kehittämisen tavoite- ja vertailukohteenä. Jos oman ja vertailukohteen toiminnan välillä havaitaan suuria eroja valituissa suoritusmittareissa, on keskeistä selvittää niiden syyt ja erot toimintaprosessissa. (Hannus 1994, 91.)

Benchmarking-kohteet ovat tyypillisesti ydinprosessien osalta erilaisia yrityksiä. Toiminnallisessa benchmarkingissa verrataan kuitenkin samankaltaisia prosesseja samantyyppisiltä toimialoilta, mutta ei kuitenkaan kilpailevilta yrityksiltä. Benchmarking-analyysi voidaan jakaa viiteen vaiheeseen seuraavasti (Hannus 1994, 94.):

1. Määritetään oman toiminnan ydinprosessit ja niiden mittarit.
2. Tunnistetaan ja ymmärretään alan parhaat käytännöt näiden mittarien mukaan.
3. Analysoidaan erot ja niiden syyt.
4. Suunnitellaan ja toteutetaan muutokset parhaiden käytäntöjen tason saavuttamiseksi.
5. Seurataan ja arvioidaan suorituskykyä.

Benchmarking-tekniikka luotiin Xerox-yhtymän toimesta 1970-luvun lopulla valmistuksen ja logistiikan toimintaprosesseja kehitettäessä, kun yhtymä päätti verrata omia varastointi- ja pakkailutapojaan suuren postimyyntiyrityksen L.L. Beanin toimintatapoihin. Tämän jälkeen Xerox otti benchmarking-taktiikan käyttöön yhtymän laajuisena käytäntönä ja vertasi omaa toimintaansa mm. American Hospital Supplyyn, Caterpillariin ja American Expressiin. (Hannus 1994, 91.) Kuviossa 3 on esitetty Xeroxin, Boeingin, Digital Equipment Corporationin ja Motorolan kesken kehittämä benchmarking-analyysin viitekehys (Hannus 1994, 97).



Kuvio 3. Eräs benchmarking-viitekehys (Hannus 1994, 97, muokattu)

Tässä opinnäytetyössä voidaan soveltaa yllä mainitun benchmarking-analyysin runkoa. Mittareiden määrittämisellä voidaan asettaa puhdistustapojen etsimiseen halutut kriteerit. Alan parhaiden käytäntöjen tunnistaminen ja ymmärrys tarkoittaa tässä työssä tiedonhakuja ja aineiston keräystä. Erojen analysoinnissa tarkastellaan löydettyjen ratkaisujen toimivuutta toimeksiantajan kohteeseen. Suunnitteluvaiheessa syntyvät tämän opinnäytetyön tulokset, jotka jäävät toimeksiantajalle ohjeeksi. Toteutus, seuranta ja arviointi jäävät toimeksiantajan vastuulle.

2.4 Painotettu pistematriisi

Painotettu pistematriisi on systemaattinen lähestymistapa, joka auttaa vertailemaan ja priorisoimaan useita vaihtoehtoja ennalta määriteltyjen kriteerien perusteella. Prosessi alkaa vaihtoehtojen tunnistamisella ja niiden arvioinnilla useiden kriteerien mukaisesti. Kullekin kriteerille annetaan painoarvo, joka kuvastaa sen suhteellista merkitystä päätöksenteossa. Tämän jälkeen vaihtoehdot arvioidaan kriteerikohtaisesti, ja saadut pisteet kerrotaan vastaavilla painoilla. Lopuksi vaihtoehdot järjestetään laskettujen painotettujen pistemäärien mukaan, ja paras vaihtoehto valitaan korkeimman pistemäärän perusteella. Tällainen matriisi tarjoaa objektiivisen tavan tehdä monimutkaisia päätöksiä, joissa on otettava huomioon useita tekijöitä. (Brereton 2022.)

Menetelmä sopii konseptien, ideoiden sekä rakenneratkaisujen arviointiin mainiosti ja toimii tässä työssä eri puhdistusratkaisujen arvioinnissa ja vertailussa. Arviointikohteina matriisiin valitaan puhdistusratkaisut. Vaatimukset, eli kriteerit, pisteytetään asteikolla 0–5, 0 ollessa ei hyväksytty ja 5 ollessa täydellinen ratkaisu. Näitä tekijöitä voidaan määritellä tässä opinnäytetyössä benchmarking-analysissä määritettyinä ydinprosesseina ja mittareina. Jokaiselle tekniselle tekijälle ja vaatimukselle arvioidaan erikseen painokertoimet mahdollisimman objektiivisesti. Vertailukohteiden tekijöille määritetyt pisteet lasketaan yhteen sekä ilman painotusta että painotettuina, ja pisteytyksiä vertaillaan keskenään.

3 Puhdistettava ympäristö

3.1 Paperi- ja kartonkikone

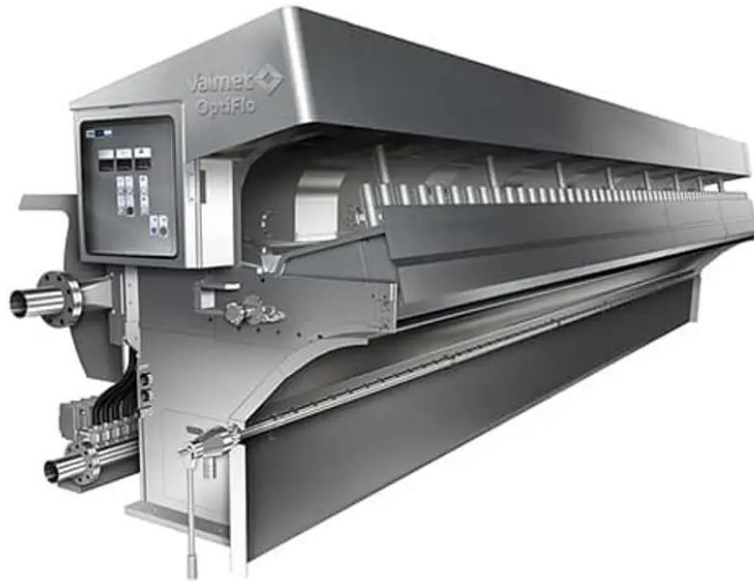
Paperin pääasiallinen raaka-aine on puukuitu, ja paperimassan valmistamiseen voidaan käyttää monenlaisia puukuituja. Maailmanlaajuisesti paperin valmistuksessa hyödynnetään kymmeniä eri puulajeja, joilla on erilaiset kuiturakenteet. Kuitu itsessään koostuu selluloosasta, hemiselluloosasta ja ligniinistä. Paperinvalmistusprosessissa kuidut erotetaan toisistaan ja luodaan yksittäisistä kuiduista pitkä ja ohut yhtenäinen matto vettä käyttämällä. Valmiissa paperissa kuidut ovat kiinnittyneet toisiinsa sekä kemiallisesti että fysikaalisesti luoden vahvan ja kestävä kuituverkon. Massanvalmistus, eli kuitujen erottaminen toisistaan, voidaan toteuttaa joko kemiallisesti tai mekaanisesti. Kemiallisessa massanvalmistuksessa puu hajotetaan korkeassa lämpötilassa kemikaalien avulla, kun taas mekaanisessa massanvalmistuksessa puu muunnetaan kuiduiksi mekaanisesti hiennon ja hiertämisen avulla. (Johdatus paperinvalmistukseen 2023.)

Paperinvalmistusprosessi koostuu viidestä keskeisestä vaiheesta, jotka ovat perälaatikko, viiraosa, märkämpuristus, kuivatusosa ja kalanterointi. Perälaatikon tehtävänä on levittää massa viiran levyiseksi suihkuksi mahdollisimman tasaisesti. Viiraosan tehtävä on pääsääntöisesti poistaa paperirainasta vettä suotauttamalla sitä viirakudoksen läpi. Lisäksi viiraosassa rainaan kohdistuu hydrodynaamisia voimia, jotka estävät kuituflokkien syntymistä. Paperirainan lähtiessä viiralta sen kuiva-ainepitoisuus on noin 17–20 %. Viiraosan jälkeen rainasta poistetaan vettä mekaanisesti puristamalla. Märkämpuristuksessa rainan paksuus pienenee ja kuitujen kontaktipinta-ala suurenee. Puristinosan tavoitteina on poistaa mahdollisimman paljon vettä, tiivistää rainaa sekä saavuttaa haluttu märkälujuus, jotta raina saadaan siirrettyä kuivatusosalle ilman katkoa. Kuivatusosassa vettä poistetaan paperista haihduttamalla ja prosessin tulee tapahtua mahdollisimman tehokkaasti, taloudellisesti ja tasaisesti, heikentämättä paperin laatua. Kalanterointi tarkoittaa paperin pinnan viimeistelyä puristamalla. Tämä parantaa useita paperin teknisiä ominaisuuksia, kuten painettavuutta, mutta voi samalla heikentää joitakin ajettavuuteen ja käytettävyyteen liittyviä ominaisuuksia. Kalanteroinnin seurauksena paperi siliää ja tiivistyy, mutta sen optiset ominaisuudet voivat heikentyä. (Johdatus paperinvalmistukseen 2023.)

3.1.1 Perälaatikko

Perälaatikko sijaitsee paperikoneessa viiraosalla ja paperinvalmistusprosessissa se on lyhyen kierron ja viiraosan välissä. Kuviossa 4 on esitetty tyypillinen Valmet-perälaatikko. Perälaatikko levittää hallitusti putkessa virtaavan massan viiran levyiseksi, tasaiseksi suihkuksi. Perälaatikon pääasiallisia tehtäviä ovat (Perälaatikkojen rakenteet ja tehtävät 2023.):

1. Massasuspension levitys tasaisesti paperikoneen poikkisuunnassa
2. Painevaihtelun ja poikkisuuntaisten virtaushäiriöiden stabilisointi
3. Sopivan turbulenssin luominen massasuspensioon kuituflokkien hajottamiseksi
4. Massasuspensiosuihkun tuottaminen viiralle halutulla sakeudella, tyypillisesti kuitusakeus on noin 0,5–1,0 %

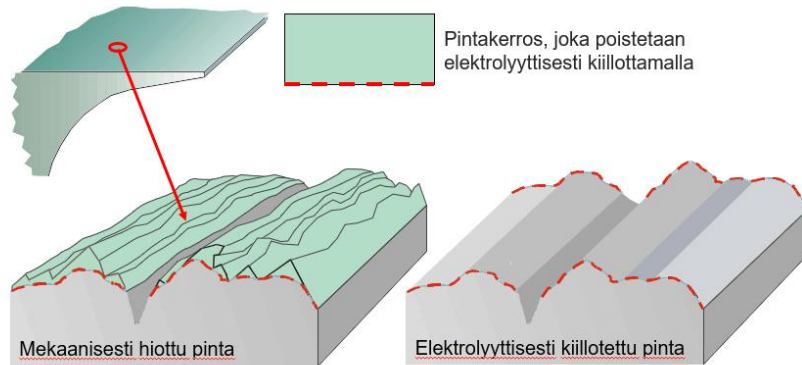


Kuvio 4. Valmet-perälaatikko (OptiFlo Fourdrinier headbox n.d.)

Perälaatikon rakenne on suunniteltava siten, että se säilyy mahdollisimman puhtaana ja toimintakykyisenä pitkään. Likainen perälaatikko voi pahimmillaan aiheuttaa katkoja paperikoneen toimintaan ja heikentää valmistettavan paperin laatua, mikä tarkoittaa käytännössä sekä tuotannon menetyksiä että heikompaa lopputuotteen laatua. Perälaatikon puhtauden ylläpitämiseen vaikuttavat useat tekijät, kuten riittävän suuret virtausnopeudet. Yksi keskeinen tekijä perälaatikon puhtaanapidossa on virtauspintojen karheus ja pinnanlaatu. Mitä sileämpi pinta on, sitä paremmin se pysyy puhtaana. Pelkkä mekaaninen kiillotus ei aina välttämättä riitä, sillä mekaanisen kiillotuksen seurauksena pintaan jää pieniä teräviä piikkejä. Elektrolyyttisellä kiillotuksella saadaan nämä piikit syövytettyä pyöreäharjaisiksi. Tämän vuoksi elektrolyyttisesti kiillotetut pinnat pysyvät merkittävästi paremmin puhtaina verrattuna vain mekaanisesti hiottuihin pintoihin. Kuvio 5 havainnollistaa elektrolyyttisen kiillotuksen vaikutusta pinnoille. (Perälaatikkojen rakenteet ja tehtävät 2023.)

Elektrolyyttinen kiillotus

Kaikki perälaatikon sisäpinnat, jotka koskettavat massaa, ovat hienohiottuja ja elektrolyyttisesti kiillotettuja.



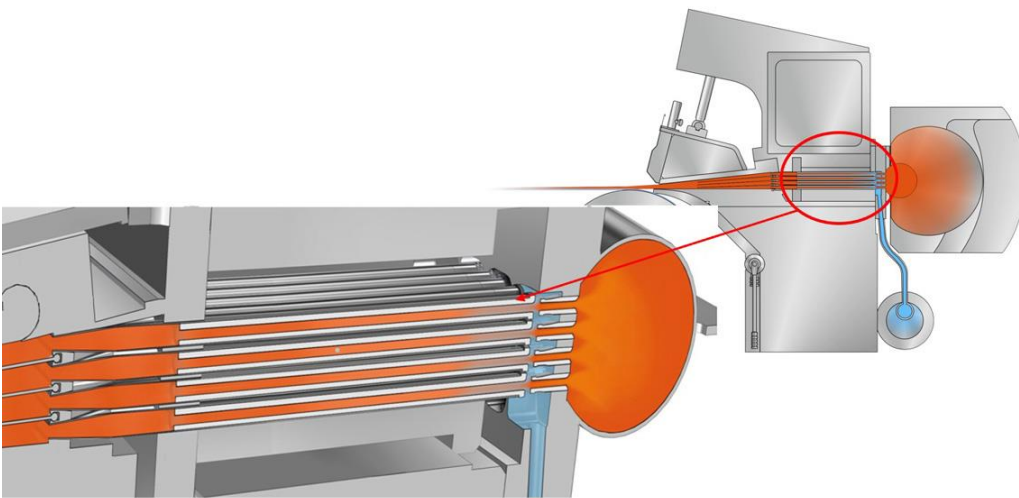
Kuvio 5. Perälaatikon elektrolyyttinen kiillotus (Perälaatikkojen rakenteet ja tehtävät 2023.)

Jakoputken tehtävä perälaatikossa on vaihtaa putkessa virtaavan massan kulkusuunta ja levittää se tasaisesti perälaatikon jakopillistöön koko koneen leveydelle. Jotta jakopillistöön saadaan tasainen virtaus ja painejakauma koko koneen leveydelle, on massan virtausnopeutta kiihdytettävä jakoputkessa loppua kohden, mikä tapahtuu ohikierrolla sekä optimoimalla jakoputken muotoa. (Paulapuro 2008. 233–235.)

Jakopillistö on rivistö putkia, jotka tasaavat jakoputkesta tulevaa virtausta. Pillistön putkien sisäänmenohalkaisija on suhteessa pienempi ulostulohalkaisijaan, mikä aiheuttaa vastusta virtaukseen. Virtausvastuksella saadaan tasattua virtauksen jakautumista koneen leveyssuunnassa. Pillistön putkien sisääntulohalkaisijaan ja pillien välisiin etäisyyksiin on kiinnitettävä huomiota, jotta pillien väliin ei pääse kertymään kuituflokkeja ja likaa. (Paulapuro 2008. 233–235.)

Jakopillistön jälkeisen tasauskammion tehtävä on tasata pillistöä tulevaa nopeusprofiilia. Tasauskammio on koko perälaatikon levyinen yhtenäinen tila. Kammion yläosa voi sisältää ilmatilan, joka normaalissa käyttötilanteessa on pääosin täynnä paineilmaa. Tämä ilmatila tasaa ja vaimentaa lyhyestä kierrosta peräisin olevia virtaama- ja painehäviöitä. Kammion pituus on suunniteltava tarpeeksi lyhyeksi, jotta sinne ei ala kertymään ylimääräistä likaa. (Perälaatikkojen rakenteet ja tehtävät 2023.)

Turbulenssigeneraattori koostuu joukosta putkia, joissa sisäänmenohalkaisija on pienempi kuin ulostulohalkaisija. Putkien sisäänmenopää on pyöreä ja ulostulopää on suorakulmion muotoinen. Suorakulmion muotoinen ulostulo tasoittaa virtausta huulikanavaan, koska putkien välinen tyhjä alue saadaan minimoitua. Yleensä turbulenssigeneraattorissa on 2–6 putkirivistöä, mutta erityistapauksissa niitä voi olla jopa 10. Kuviossa 6 on esitetty leikkauskuva tyypillisestä turbulenssigeneraattorista. (Perälaatikkojen rakenteet ja tehtävät 2023.)



Kuvio 6. Turbulenssigeneraattori (Perälaatikkojen rakenteet ja tehtävät 2023.)

Huulikanavan päätarkoitus on massan virtausnopeuden kiihdyttäminen paperikoneen toimintanopeuteen. Samalla on oleellista, että aikaisemman vaiheen luoma voimakas turbulenssi ja putkien seinämien aiheuttamat nopeusprofiilivirheet tasoittuvat niin, että ne ovat sopivalla tasolla hyvän formaation luomiseksi. Huuliraon korkeutta on säädettävä tarvittavan perälaatikkosakeuden saavuttamiseksi, kun erilaisia paperilaatuja ja neliömassoja tuotetaan. Tätä säätöä varten siirretään huulikanavan ylähuulta, sekä pysty- että vaakasuunnassa. Tämä vaatii ylähuulen merkittävää jäykkyyttä, koska huulikanavassa on korkea paine kiihdytyksen saavuttamiseksi. Koneen poikkisuuntaisen virtausprofiilin hallitsemiseksi ylähuuli on varustettu liikkuvalla huulilistalla ja sen yhteydestä löytyvillä huulensäätökaroilla. Karoissa on asteikko, joka näyttää huulilistan poikkeaman nolla-

asemasta. Säätojako huulilistassa on noin 100–150 mm. Huulikanavassa käytetään joskus myös PC:stä, PVC:stä tai komposiittimateriaaleista valmistettuja lamelleja. Nämä lamellit mm. estävät vanojen muodostumista, muokkaavat turbulenssia ja tasoittavat nopeusprofiilia. Lamellit kiinnitetään turbulenssiputkiston loppupäähän putkirivien väliin, ja ne ovat koneen levyisiä, noin 400 mm pitkiä, 4–5 mm paksuisia, taipuisia ja herkästi vahingoittuvia. (Perälaatikkojen rakenteet ja tehtävät 2023.)

3.2 Paperimassa

Paperin ja kartongin ominaisuudet riippuvat eniten niiden valmistuksessa käytetyn kuitumateriaalin ominaisuuksista. Vaatimukset vaihtelevat sen perusteella, mihin tarkoitukseen lopputuotetta käytetään ja millainen taloudellinen tulos on tavoitteena. Tärkein tekijä kuitujen ominaisuuksien vaikuttamiseen on massassa käytetty puuraaka-aine. Puuraaka-aine vaikuttaa kuitujen rakenteeseen ja kemialliseen koostumukseen. Kuitujen kemiallista koostumusta voidaan muokata myös keittämällä ja valkaisemalla. Kuitujen kemiallinen koostumus ja sen muokkaus vaikuttavat kuitujen ominaisuuksiin. (Sellun valmistus 2023.)

Paperinvalmistuksen perusraaka-aine on puukuitu. Puun kuidut ovat tiukasti toisiinsa kiinnittyneitä ja luonteeltaan jäykkiä, mikä tekee niistä sellaisinaan huonosti paperinvalmistukseen soveltuvia. Massanvalmistuksen tavoitteena on erottaa nämä kuidut toisistaan ja muokata ne paperinvalmistukseen soveltuviksi. Puusta valmistetaan paperimassaa kahdella eri menetelmällä (Kuituraaka-aineet 2023.):

1. Mekaanisella kuidutuksella, jossa kuidut irrotetaan mekaanisen rasituksen avulla toisistaan.
2. Kemiallisella kuidutuksella, jossa puusta liuotetaan kuituja toisiinsa sitovaa ligniiniä lämmön ja kemikaalien avulla

3.2.1 Kuituraaka-aineet

Suomessa yleisimmät raaka-aineet paperin valmistuksessa ovat koivu, kuusi ja mänty, mutta globaalisti käytössä on myös monia muita materiaaleja kuten eukalyptuslajit ja akaasialajit. (Kuituraaka-aineet 2023.) Puun orgaanisen aineen muodostuminen tapahtuu fotosynteesin avulla. Puut

koostuvat selluloosasta, hemiselluloosasta, ligniinistä, tuhkasta ja uuteaineista, kuten pihkasta. Puiden kemiallinen koostumus kuitenkin vaihtelee puulajien mukaan. (Isotalo 2004, 39–40.)

Mäntypuulajeista valmistetaan massaa enimmäkseen sulfaattimenetelmällä, kun taas kuusta käytetään myös mekaanisen massan tekoon. Pohjoismaisen männyn ja kuusen kuitujen pituus vaihtelee yleisesti 2–4 millimetrin välillä, ja niiden keskimääräinen paksuus on noin sadasosa pituudesta. (Kuituraaka-aineet 2023.)

Koivusta valmistetaan pääasiassa sulfaattimassaa, joka yleensä valkaistaan. Toisena tärkeänä lehtipuuna ovat eukalyptuslajikkeet. Kolmantena merkittävänä lehtipuusukuna ovat akaasialajit, joita kasvatetaan erityisesti Aasiassa. Myös akaasiasellun valmistuksessa yleisin massanvalmistusmenetelmä on sulfaattiprosessi. Lehtipuukuidut ovat paksuseinäisiä ja lyhyempiä sekä ohuempia kuin havupuukuidut. Tyypillisesti lehtipuukuitujen pituus on keskimäärin 1–2 mm ja paksuus noin 0,025 mm. (Kuituraaka-aineet 2023.)

3.2.2 Massanvalmistus

Mekaanisen massan valmistusmenetelmiä ovat hiokkeen ja hierteen valmistus. Nämä prosessit ovat yleensä integroituja paperitehtaaseen. Hioketta valmistetaan yleensä kuoritusta kuusipuusta, mitä hiotaan suurta hiomakiveä vasten. Hiomisen yhteydessä käytetään kuumaa vettä ligniinin pehmentämiseen, jotta kuidut eroavat helpommin toisistaan. (Isotalo 2004, 59–60.)

Kemiallista massaa valmistetaan sulfaattiprosessilla, jossa puuraaka-ainetta prosessoidaan massaksi keittämällä sitä, jolloin ligniini liukenee. Prosessin edetessä ligniinin lisäksi myös hemiselluloosaa alkaa liueta, mikä laskee kokonaissaantoa. Keittämisen alussa saanto on nolla siihen asti, kunnes kuidut alkavat irrota. Kun kaikki kuidut ovat irronneet toisistaan, lajiteltu saanto on yhtä suuri kuin kokonaissaanto. Tässä vaiheessa kuiduissa on vielä jäännösligniiniä, mikä pyritään poistamaan valkaisulla. (Sellun valmistus 2023.)

Sulfaattikeitossa haketta käsitellään valkolipeäksi kutsutulla liuoksella, joka sisältää natriumhydroksidia ja natriumsulfidia. Optimaalisen neste-puusuhteen saavuttamiseksi lisätään usein myös pesemöltä peräisin olevaa kierrätettyä keittoliuosta, jota kutsutaan mustalipeäksi. Keittämisen jälkeen mustalipeä erotetaan mahdollisimman tarkasti. Pesun jälkeen massa laimennetaan lajitte-

lua varten, jossa erilaisia epäpuhtauksia poistetaan käyttämällä erilaisia lajittelulaitteita. Lajiteltu ja pesty massa voidaan varastoida ja siirtää kuivatuskoneeseen, valkaisuun tai muuhun käyttötarkoitukseen. (Sellun valmistus 2023.)

Kloorikaasutonta valkaisua (ECF) tehdään useassa peräkkäisessä vaiheessa. ECF-valkaisuprosessissa käytetään klooridioksidia ligniinin poistamiseen, minkä jälkeen liukeneva ligniini uutetaan emäksellä. Massaan saatetaan lisätä pieniä määriä happikaasua tehostamaan ligniinin poistoa. Lisäksi alkalivaiheessa voidaan käyttää vähäisiä määriä vetyperoksidia ligniinin poiston tehostamiseksi. Täysin kloorittomassa valkaisussa (TCF) ei käytetä ollenkaan klooripohjaisia kemikaaleja. Happipohjaiset kemikaalit ovat klooripohjaisia kalliimpia, ja niiden tehokkuus ja selektiivisyys eivät ole yhtä hyviä. Siksi TCF-valkaisu edellyttää alhaista massan kappalukua. Sisällyttämällä otsonivaihe valkaisuprosessiin, saavutetaan matalampia massan kappalukuja kuin pelkällä peroksidilla. (Sellun valmistus 2023.)

3.3 Likaantumisen

Cecchini (2023) kertoo puhtauden ilmenemisen olevan huomattavasti merkittävämpi asia paperintekijälle kuin paperikoneiden toimittajalle. Paperikoneen likaisuuden ongelmiin pyydetään apua toimittajalta vasta sitten, kun paikan päällä ei ole onnistuttu löytämään siihen ratkaisua. Paperitehtaalla asiakkaat suosivat käytännöllisiä ja yksinkertaisia menetelmiä lian poistamiseksi. Ensimmäisessä on tärkeää määrittää, onko paperinvalmistusprosessi emäksinen, neutraali vai hapan. Prosessin pH-arvo on keskeinen tekijä lian poistamisessa. (Cecchini 2023.)

Esimerkiksi happopohjaisessa massanvalmistusprosessissa havupuussa olevan pihkan ja hartsin tulisi liueta kokonaan pois. Käytännössä kuitenkin suurien likakeskittymien ollessa läsnä, on mahdollista, että joitakin likapartikkeleita kertyy ja pääsee läpi useista pesuvaiheista huolimatta. Nämä happopohjaiset likapartikkelit vaativat vastakkaisen, emäksisen pH-arvon käyttöä poistamiseksi, sillä pH-asteikolla vastakkainen arvo tarkoittaa hyvää liukoisuutta. Emäksisessä prosessissa taas puhdistusmenetelmät ovat kemiallisesti täysin erilaisia, eli puhdistusprosessiin liittyvä kemia on aina sidoksissa sen pH-arvoon. On myös mahdollista, että likapartikkelit tulevat ajan myötä kyläiseksi niihin syötetyistä kemikaaleista. Tällöin lika ei enää liukene pH-arvon vaikutuksesta. Kemiallisesta käsittelystä kyläiseksi tulleet likapartikkelit voidaan poistaa alkoholipohjaisella puhdistusaineella. (Cecchini 2023.)

3.3.1 Likatyypit paperikoneissa

Lika voidaan määritellä seuraavasti. Se on ainetta, joka ei ole liuennut ja se kiinnittyy prosessilaitteisiin. Se vähentää tuotannon tehokkuutta erityisesti huonontamalla vedenpoistokerrointa. Lian irrotessa voi tulla konehäiriöitä tai lopputuotteeseen voi tulla virheitä. Lika voi olla kemiallista, mikrobiologista tai yhdistelmä molempia. (Cosper 1998.)

Epäorgaanisiin kemiallisen lian komponentteihin määritellään (Cosper 1998.):

- kalkki (kalsiumkarbonaatti, kalsiumoksalaatti, bariumsulfaatti)
- korroosiotuotteet (kalsiumsulfidi, rautaoksidi)
- täyteaineet (savi, kalsiumkarbonaatti)
- talkki

Orgaanisiin kemiallisen lian komponentteihin määritellään (Cosper 1998.):

- kuidut
- tärkkelys
- mikrobiologinen lima
- päällystesindeaineet
- pihka ja uuteaineet
- liima-aineet (hartsit, ASA) sekä muut tahmeudet.

3.3.2 Likapartikkeleiden analysointi ja tunnistaminen

Analyttisiä menetelmiä lian tunnistamiseen ovat mm. optinen mikroskopia ja SEM (EDS), kemialliset testit, röntgendiffraktio (XRD), tuhkaus ja röntgenfluoresenssi (XRF), fysikaalinen ja kemiallinen erotus uuttamalla, spektroskopia sekä kromatografia. Optisella mikroskopialla saadaan selville lian rakenne ja koostumuksen monimutkaisuus. Optisella mikroskopialla voidaan käyttää myös polarisaatiota, värjäystä sekä hiukkasten laskemista esim. pihkapartikkelit erikoistekniikkana. Optista mikroskopiaa voidaan käyttää tehtaalla paikan päällä. Pyyhkäisyelektronimikroskoopilla (SEM) saadaan hyvä resoluutio ja suurennos kuivanäytteestä. SEM-laitteiston EDS-analysointilla saadaan selville lian alkuainekoostumus sekä ESEM-optiolla voidaan tarkastella näytteitä alkuperäisessä määrässä tilassa. Kemiallisilla testeillä voidaan todeta ongelmakohdat nopeasti tehtaalla, pai-

kan päällä. Testejä on laaja valikoima tyypillisimpien komponenttien tunnistamiseen. Tuhkaus ja röntgenfluoresenssi (XRF) on menetelmä, jolla saadaan arvioitua epäorgaanisten aineiden kokonaispitoisuutta jäännösoksideina. Röntgendiffraktiolla (XRD) tunnistetaan kiteinen materiaali diffraktiokuvion perusteella. Esimerkiksi kalsiumkarbonaatti ja kalsiumoksaatti ovat tunnistettavissa tällä tavoin. XRD-menetelmällä voidaan tunnistaa aineet myös seoksista. Komponenttien erottaminen fysikaalisesti tai uuttamalla mahdollistaa korkeamman resoluution analyysin myöhempisiin vaiheisiin kuten spektroskopiaan tai kromatografiaan. Spektroskopia (IR) tunnistaa orgaaniset ja jotkin epäorgaaniset komponentit luokkina. IR-menetelmä voidaan yhdistää mikroskooppiin hyvin pienten alueiden tarkastelussa. Kolmea eri kromatografiametodia voidaan käyttää likapartikkeleiden tunnistamiseen. Ioninvaihtokromatografialla voidaan analysoida näytteen ionisia aineita vesiuuttamisen jälkeen. Kaasukromatografialla taas analysoidaan haihtuvia materiaaleja, kuten rasvahappoja liuotinuuttamisen ja derivatisoinnin jälkeen. Korkeamman molekyylipainon omaavien aineiden, esim. pihkan, komponenttien tutkimiseen käytetään geelisuodatuskromatografiaa. (Casper 1998.)

3.3.3 Likaantumisen hallinta paperitehtaalla

Pesu- ja "boil out" -menetelmillä puhdistetaan likakertymiä seisokin yhteydessä. Tällöin lyhyeen kiertoon sekoitetaan hapan tai emäksinen seos, jonka seassa voi olla emulgointiaineita, dispergointiaineita tai muita liuottimia. Likakertymät liukenevat kiertoon lisättyyn seokseen. Likaantumisen ehkäisemiseksi prosessia voidaan muokata asentamalla massanpuhdistuslaitteisto, mikäli sellaista ei ole vielä käytössä. Dispergointiaineen ja kidemodifioijan käyttö lisäaineena voi vähentää epäpuhtauksien kasaantumista ja saostumista. Ruskean massan ja valkaisuainepesurien mekaaniset säädöt vaikuttavat siirtymään. Näissä prosesseissa dispergointi- tai emulgointiaineiden käyttö lisää epäpuhtauksien, esim. pihkan, virtausta talteenottoon ja jäteveteen. Pidätyskyvyn parantaminen järjestelmän epäpuhtauksia kankaalla poistamalla vähentää yleisesti sekä kemiallisia että mikrobiologisia kertymiä märässä päässä. Epäpuhtauksien kertymisen vähentämiseksi viiraan ja rulliin voidaan levittää suihkulla kationista polymeeriä niiden pintojen passivoimiseksi. Talkkia ja tiettyjä orgaanisia polymeerejä voidaan käyttää pien ja tahmojen poistamiseen. (Casper 1998.)

4 Puhdistustavat

4.1 Uusien puhdistustapojen etsiminen benchmarking-analyysillä

Benchmarking-analyysin tarkoituksena on löytää toimeksiantajan ehdottamien menetelmien lisäksi lisää puhdistuskeinoja materiaaleille. Toimeksiantajan oman toiminnan keskeiset mittarit puhdistuksesta määritetään seuraavasti:

1. Pinnanlaatu ja vahingoittuminen
2. Likapartikkeleiden irrotuskyky
3. Laitteen kuljetus ja käyttö, Suomessa sekä ulkomailla
4. Luoksepäästävyys
5. Turvallisuusriskit
6. Puhdistusnopeus ja esivalmistelu
7. Vuokraus- ja alihankintamahdollisuudet
8. Ympäristöhaitat ja jälkipuhdistuksen tarve
9. Hintaluokka

4.1.1 Uusien puhdistustapojen etsiminen

Jo tiedossa olevien ja toimeksiantajan ehdottamien puhdistustapojen lisäksi työssä etsitään myös uusia, olemassa olevia vaihtoehtoja. Löydöksiä soveltuvuutta arvioidaan ja mahdollisesti toimivat ratkaisut otetaan vertailuun painotetussa pistematriisissa. Uusia puhdistustapoja etsitään tämän opinnäytetyön tietoperustan pohjalta. Tietoa haetaan internetistä, käyttämällä tekoälyä sekä haastatteleamalla pinnoitetoimittajan asiantuntijaa.

Laserpuhdistus ja kuivajääpuhallus ovat Sorsan (2024) mielestä hyviä vaihtoehtoja pintojen käsittelyyn, sillä ne eivät vahingoita pintaa liiallisesti. Molempien puhdistusprosessien jälkeen pinnoille kuitenkin jää orgaanisia jäämiä, mikä edellyttää lisäkäsittelyä. Kuivajääpuhallus vapauttaa prosessissa huomattavan määrän hiilidioksidia, mikä vastaa säiliötyöskentelyn vaatimuksia. Soodapuhallus kuluttaa pintaa merkittävästi, mutta sen puhdistusteho on hyvä. Soodapuhallus aiheuttaa myös huomattavaa sotkua, mikä tekee jälkikäsittelystä välttämätöntä. Kelatoivapesu on neutraali menetelmä, jota on käytetty rakenneteräksen puhdistuksessa. Menetelmän soveltuvuus ruostumattomalle teräkselle kuitenkin vaatii lisäselvityksiä. (Sorsa 2024.)

4.1.2 Ideointi tekoälyä käyttäen

Uusien puhdistustapojen etsimiseen käytetään ChatGPT-tekoälysovellusta apuna ideointiin. Tekoälyn ideointiin tuloksiin perehdytään myöhemmin käyttäen luotettavia lähteitä, joiden perusteella tarkastellaan ratkaisun toimivuutta tässä käyttötarkoituksessa. Benchmarkingin idea on etsiä puhdistusratkaisuja myös mahdollisesti muilta toimialoilta, joten hakua ei rajattu liian yksityiskoh- taiseksi kyseiseen puhdistusympäristöön. Tekoälyä pyydetään listaamaan mahdollisimman monta puhdistustapaa likapartikkeleiden irrottamiseen ruostumattoman teräksen pinnalta vahingoitta- matta sitä. Puhdistusympäristön ja -menetelmien tarkennetaan olevan teollisia ja liika määritetään kemialliseksi, mikrobiologiseksi tai näiden yhdistelmäksi, joka voi olla orgaanista tai epäorgaanista.

Tekoäly listasi 19 puhdistustapaa, jotka sisälsivät myös toimeksiantajan ehdottamat korkeapaine- veden, kuivajääpuhalluksen sekä kemikaalit jaoteltuna liottaviin, happopohjaisiin ja emäksisiin puhdistusaineisiin. Listasta karsittiin pois puhdistustavat, joiden käyttö oli mahdotonta tässä koh- teessa ja tavat, jotka eivät suoranaisesti vastanneet kohteen vaatimuksia sekä jo vertailussa olevat menetelmät. Tekoälyn ehdottamista puhdistustavoista jäi jäljelle karsimisen jälkeen seuraavat vaihtoehdot (ChatGPT 2024.):

1. Hankaava puhdistus
2. Höyrypuhdistus
3. Entsyymipuhdistus
4. Biosidinen puhdistus
5. Oksaalihappo

Hankaava puhdistaminen vastaa nykyistä toimintamallia puhdistuksen suhteen, joten sitä ei työssä käsitellä. Sorsa (2024) kertoo, että höyrypuhdistuksen tuottama lämpötila ei yksinkertaisesti ole tarpeeksi korkea lian irrotukseen tässä tarkoituksessa, joten sitä ei tutkita ja oteta mukaan vertai- luun. Entsyymi- ja oksaalihappopohjaiset sekä biosidiset puhdistusaineet ovat potentiaalisia vaih- toehtoja.

4.2 Puhdistusaineet

Puhdistusaineet ovat olennainen osa teollisuuden ja ammattikäytön prosesseja, joissa puhtauden ja hygienian ylläpitäminen on välttämätöntä. Ne voidaan jakaa kolmeen pääryhmään: happamiin,

emäksisiin ja alkoholipohjaisiin puhdistusaineisiin. Näiden aineiden ominaisuudet ja käyttöalueet vaihtelevat merkittävästi, mikä tekee niistä sopivia erilaisiin puhdistustarpeisiin. (The Ultimate Guide to Industrial Cleaners 2023.)

Happamat puhdistusaineet ovat tehokkaita poistamaan epäorgaanisia kerrostumia, kuten kalkkia ja ruostetta. Niiden alhainen pH-taso tekee niistä erityisen hyödyllisiä mineraalipitoisten likojen käsittelyssä, mutta samalla ne voivat olla haitallisia herkille pinnoille, mikä edellyttää huolellista käsittelyä ja suojaustoimenpiteitä. (The Ultimate Guide to Industrial Cleaners 2023.) Emäksiset puhdistusaineet ovat puolestaan erityisen tehokkaita orgaanisen lian, kuten öljyn ja rasvan, poistamisessa. Niitä käytetään yleisesti rasvanpoistoon ja erilaisiin yleispuhdistustehtäviin. Emäksisyytensä ansiosta nämä aineet ovat monikäyttöisiä, mutta niiden käyttö vaatii varovaisuutta, sillä ne voivat olla syövyttäviä tietyille materiaaleille. (Hupp 2024.) Alkoholipohjaiset puhdistusaineet tarjoavat nopean ja tehokkaan desinfiointiratkaisun erityisesti sellaisissa ympäristöissä, joissa pintojen on kuivuttava nopeasti ja jäätävä pesuainejäämättömiksi. Näitä puhdistusaineita käytetään laajasti esimerkiksi terveydenhuollossa ja laboratorioissa, missä hygieniavaatimukset ovat erityisen korkeat. (The Ultimate Guide to Industrial Cleaners 2023.)

Puhdistusaineiden oikea valinta ja käyttö perustuvat paitsi puhdistettavan pinnan ja lian tyyppin tuntemukseen, myös turvallisuuseikkoihin, kuten henkilökohtaisten suojarusteiden käyttöön. Jokainen aine vaatii omanlaisensa käsittelytavat, jotta sen tehokkuus voidaan maksimoida ja samalla taata käyttäjän turvallisuus. (Hupp 2024.)

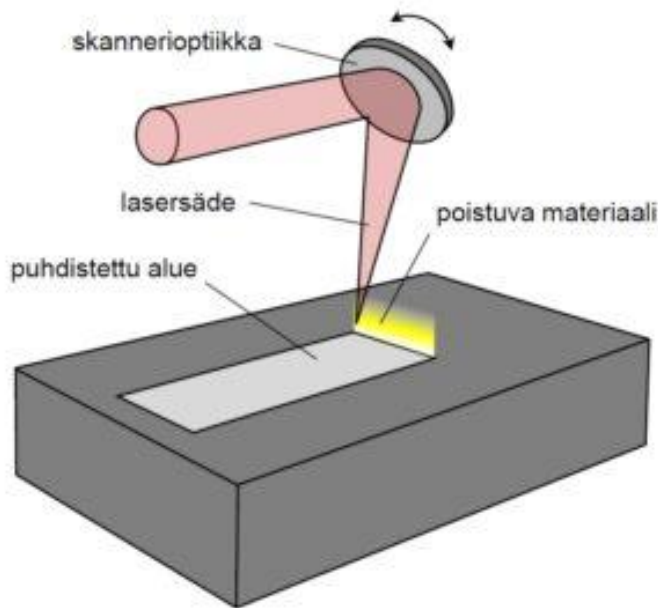
4.3 Korkeapainevesi

Korkeapainepesu on puhdistusmenetelmä, joka tarjoaa ratkaisuja vaativiinkin teollisuuden puhtaanapitohaasteisiin, joihin perinteiset menetelmät eivät välttämättä tehoa. Käyttämällä kohteeseen sopivaa pesurikalustoa, ongelmanratkaisutaitoa ja vankkaa osaamista, haastavatkin pinnat saadaan tehokkaasti puhdistettua. Korkeapainepesusta puhutaan silloin, kun käytössä on kuuma-vesipesuri, joka toimii 500–2500 baarin painealueella. Korkeassa paineessa vesi saavuttaa merkittävän voiman. Noin 2500 baarissa vesi pystyy leikkaamaan jopa 15 sentin paksuisen teräksen. (Korkeapainepesu teollisuuden puhtaanapidossa n.d.)

Korkeapainepesun etuja ovat nopeus, pölyttömyys ja ympäristöystävällisyys, sillä menetelmä tuottaa vain vähän puhdistusjätettä. Lisäksi kalusto on ketterää ja mahdollistaa pääsyn hankaliinkin paikkoihin teollisuusympäristöissä. Tätä menetelmää suositellaan erityisesti pinnoitteiden, kuten maalin, sementtiliiman ja vahan, poistoon. Korkeapainepesu on myös tehokas pinttyneen lian poistamisessa erilaisissa teollisuuden ympäristöissä, ja vedenpaine säädetään aina tilanteen ja tarkoituksen mukaan. (Korkeapainepesu teollisuuden puhtaanapidossa n.d.) Löppönen (2014, 11–15) määrittelee opinnäytetyössään korkeapainepesurin komponentit seuraavasti: painepumppu, automaattiset paineenalennusturvalaitteet, sulkuventtiili, nesteentyhjennysventtiili, korkeapainelietku, suutinputki, suutin, putki- tai viemärisuutin, suihkutuspää ja kiskot, jalkakäyttöinen venttiili, suihkutuspistooli, turvapistooli sekä vaihtoventtiili.

4.4 Laserpuhdistus

Laserpuhdistus on menetelmä, jossa käytetään lasersädettä kontrolloidusti poistamaan epäpuhtauksia tai pinnoitteita työkappaleen pinnalta ilman vaurioita itse työkappaleeseen. Puhdistusprosessissa yleensä pulssitettu lasersäde suunnataan työkappaleen pinnalle. Materiaali poistuu osittain höyrystymisen ja osittain paineaallon vaikutuksesta. Kuvio 7 havainnollistaa laserpuhdistuksen toimintaperiaatetta. Laserpulssin tehoa, kestoa ja taajuutta säädellään, jotta työkappale säilyy vahingoittumattomana. Pieni fokuspisteen halkaisija mahdollistaa tarkan puhdistuksen, ja skanneeroptiikan avulla voidaan säätää puhdistettavaa aluetta leveämmäksi. Laitteisto koostuu laserlähteestä ja työstöpäästä. Laitteisto voi käyttää hiilidioksidi-, kuitu- tai Nd:YAG-lasereita. Tyypillisesti laserteho on 10–1500 W ja tehon kasvaessa saavutetaan parempi työstönopeus. Työstöpäätä voidaan ohjata automaattisesti robotilla tai käsin. (Laserpuhdistus n.d.)



Kuvio 7. Laserpuhdistuksen periaate (Laserpuhdistus n.d.)

Perinteisiä laserpuhdistuksen käyttökohteita ovat mm. pinnoitteiden, epäpuhtauksien tai oksidien poisto esimerkiksi hitsatuilta pinnoilta. Laserpuhdistus soveltuu myös maalikerroksien poistoon. Muita sovelluskohteita ovat muottien, painotelojen ja paistolevyjen puhdistus. Laserpuhdistus ei vahingoita kappaleen pintaa, kun puhdistussyvyys on määritelty oikein. Menetelmä ei käytä minikäänlaisia kemikaaleja tai hionta-aineita, mikä on erittäin käyttäjä- ja ympäristöystävällistä, eikä pinnoille jää pesuainejäämiä prosessista. Laserpuhdistuksessa on myös suhteellisen alhainen melutaso. Laitteiston automatisointi on helposti toteutettavissa. Käyttökustannukset ovat hyvin alhaiset, mutta investointina laserpuhdistin on suuri. (Laserpuhdistus n.d.)

4.4.1 Laserpuhdistusmenetelmät

Kuivalaserpuhdistus (eng. Dry Laser Cleaning, DLC) on menetelmä, jossa hiukkasten poisto perustuu laservalon voimakkaaseen absorptioon joko substraatissa tai hiukkasissa tai niiden molempien toimesta. (Kane 2006, 4.) Hörylaserpuhdistus (eng. Steam Laser Cleaning, SLC) on menetelmä pienien partikkeleiden poistoon kiinteiltä pinnoilta. Menetelmässä puhdistettavalle pinnalle levitetään suuttimella nestekalvo ennen lasersäteen käyttämistä. Nesteessä on tyypillisesti 10–20 % alkoholia, mikä parantaa poistettavien partikkeleiden kastumista. Neste höyrystetään pinnalta pulssitetulla laserilla, mistä syntyy painetta, joka irrottaa partikkelit pinnasta. Puhdistusteho riippuu partikkeleiden koosta ja käytetystä lasertehosta. (Kane 2006, 9–10.)

Nestepohjainen laserpuhdistus (eng. Wet Laser Cleaning, WLC) on menetelmä, joka yhdistää joitakin kuivalaserpuhdistuksen (DLC) ja höyrylaserpuhdistuksen (SLC) etuja ja välttää osan niiden haitoista. WLC:ssä puhdistettava pinta altistetaan korkean suhteellisen kosteuden vesisumulle. Tässä menetelmässä ei tarvita nestekalvon paksuuden hallintaa tai laserpulssin synkronointia vesipilven kanssa. WLC estää nestekalvoon liittyvän pinnan korroosion, koska neste kondensoituu vain hiukkasten ja substraatin väleihin. Hiukkasten ja pinnan väliin kondensoitunut vesi kuumentuu nopeasti laserilla, jolloin lämpölaajentumisen aiheuttama paine irrottaa hiukkaset pinnasta. (Kane 2006, 11–14.)

4.5 Kuivajääpuhallus

Kuivajääpuhallus hiilidioksidipelleteillä on teknologia, jota käytetään teollisuudessa pinnoitteiden ja epäpuhtauksien poistamiseen, sekä esikäsitteilyyn ennen pinnoitusta. Kuivajää valmistetaan nestemäisestä hiilidioksidista, joka voi olla myös tuotantoprosessin sivutuote. Puhalluksessa kuivajää sublimoituu, eli kiinteä aine muuttuu suoraan kaasuksi. Kuivajää on sekä ympäristölle että työntekijöille turvallista. Kuivajääpelletit valmistetaan siihen tarkoitetulla puristinkoneella ja niitä voidaan säilyttää eristetyssä säiliössä muutaman vuorokauden ajan. Prosessissa pelletit kiihdytetään paineilman avulla ja suihkutetaan puhdistettavalle pinnalle. Menetelmän käytöstä ei jää pesuainejäämiä ja prosessi on myrkytön, kuiva, hankaamaton sekä sähköä johtamaton. Kuivajääpuhalluksen jälkeen on imuroitava tai suodatettava pinnoista irronneet likapartikkelit. (Mittal 2003, 151–152.)

Kuivajään alhaista -79 °C lämpötilaa voidaan hyödyntää lämpöenergiana. Kuivajääpuhalluksen toiminnassa käytetään kiihdytetyn väliaineen liikkeeseen liittyvää kineettistä energiaa ja materiaalin alhaista lämpötilaa lisäämään leikkausvoimaa pinnan päällysteen tai epäpuhtauden hajottamiseksi. Lisäksi lämpötilaero epäpuhtauksien ja pinnan välillä voi irrottaa näiden materiaalien välisen sidoksen niiden erilaisten lämpölaajenemiskertoimien ansiosta. Näiden pintamekanismien kyky poistaa päällyste tai epäpuhtaus vaihtelee päällysteestä ja epäpuhtauksista riippuen. Lämpöshokki tekee kuivajääpuhdistuksesta tehokkaan puhdistusmenetelmän eikä se myöskään aiheuta stressiä puhdistettavalle pinnalle. Kuivajääpuhalluksen aiheuttama lämpötilan lasku rajoittuu pinnalle, jossa epäpuhtaus on kiinnittynyt alustaan. Ohjattavia parametrejä kuivajääpuhalluksessa ovat kuivajääpelletin ja paineilman virtausnopeus ja kuivajääpellettien tiheys. (Mittal 2003, 151–152.)

4.6 Soodapuhallus

Soodapuhallus on menetelmä, jota käytetään maalin ja epäpuhtauksien poistamiseen herkillä pinoilla. Oikein suoritettuna soodapuhallus vaikuttaa hyvin vähän alkuperäiseen pintaan ja ainoastaan maalit tai lika poistuvat säilyttäen pohjan alkuperäisen tilan. Prosessin perustana on ilman ja soodan seos, joka suihkutetaan kohteeseen yleensä noin 3–10 baarin paineella. Soodapartikkelit hajoavat osuessaan kovaan pintaan vapauttaen energiaa, joka poistaa maalin tai lian. Soodapuhallus on erittäin hellävarainen eikä aiheuta lämpenemistä tai venymistä ohutlevylle. Hajoaminen tapahtuu alhaisessa lämpötilassa, koska sooda sulaa jo 50 °C asteen lämpötilassa, jolloin se hajoaa. (Tietoa soodapuhalluksesta n.d.)

Soodan kemiallinen nimi on natriumvetykarbonaatti. Sooda on jauhetta, joka liukenee hyvin veteen. Osuessaan puhallettavaan kohteeseen natriumvetykarbonaatti hajoaa natriumkarbonaatiksi, hiilidioksidiksi ja vedeksi. Puhallussooda on käytännössä samaa ainetta kuin ruokakaupoissa myytävä ruokasooda, ainoastaan raekoko on suurempi. Puhallussoodan pH-arvo on 8,6 eli lähes neutraali happamuudeltaan ja puhdistusaineena se on erittäin ympäristöystävällinen. Sooda ei aiheuta vaurioita esimerkiksi alumiinille, teräkselle, tiilelle, kivelle, lasille, lasikuidulle, kuparille, puulle, muoville, tiivisteille, laakereille, jäähdyttimenkennoille tai venttiileille. (Tietoa soodapuhalluksesta n.d.)

5 Laitetoimittajien ja puhdistuspalveluntarjoajien haastattelut

Tutkimusta puhdistusmenetelmien vertailusta ja arvioinnista toteutetaan teemahaastatteluilla. Haastattelujen teemat perustuvat benchmarkingissa määritettyihin keskeisiin mittareihin, jotka toimivat myöhemmin menetelmien arvioinnin vertailuperustana. Haastattelut kohdistetaan yrityksiin, jotka tarjoavat laitteita, tuotteita tai palveluita puhdistusmenetelmien alalla. Kaikkien vertailussa mukana olevien puhdistusmenetelmien edustajia haastatellaan. Tarkoituksena on tarkastella kunkin puhdistustavan ominaisuuksia ja toimivuutta suhteessa näihin teemoihin. Haastattelujen avoimet kysymykset laaditaan kyseisen menetelmän aiempaan kirjallisuuskatsaukseen perustuen niin, että arviointi voidaan suorittaa painotetun pistematriisin avulla haastattelujen perusteella. Haastattelurunko on esitetty tarkemmin liitteessä 1.

5.1 Teemahaastattelujen yhteenveto

5.1.1 Kuivajääpuhallus

Kuivajää on hellävarainen metallipinnoille, eikä aiheuta vaurioita tai pinnanlaadun muutoksia oikein säädettynä. Laitteella on mahdollista saada vahinkoa aikaan muoviosille, letkuille ja toimilaitteille, mikäli koneen säätöjä ei ole asetettu oikein. Kuivajää irrottaa hyvin kaikenlaiset kasaantummat ja saostumat pinnoilta, mutta puhdistusteho on heikko ohuille likafilmeille, joten menetelmän käyttö ei välttämättä puhdistaa orgaanisia jäämiä tai vanhaa pinnoitetta. Ruostetta kuivajää ei puhdistaa.

Perälaatikon pesukäyttöön soveltuva kuivajääpuhalluslaite painaa noin 80 kiloa ja se on siirreltävissä kahden ihmisen voimin perälaatikon viereen. Laite vaatii 8–10 baarin paineen ja riittävän ilmantuoton kompressorilta sekä paksun paineilmaletkun toimiakseen. Pesupään ja laitteen välillä on käytössä 8 metrin letku ja erikoistapauksissa on mahdollisuus myös pidempään letkuun, joten kuivajääpuhalluksella yletetään huuliaukon puhdistukseen hyvin. Laitteeseen on saatavilla 90 asteen suuttimia, joilla huuliaukon seinämien puhdistus on helppoa toteuttaa ja pesupää mahtuu huuliaukkoon 80 mm välistä. Ohuiden putkimaisien rakenteiden puhdistamiseen ei ole oikein sopivaa suutinta.

Hiilidioksidipellettien saatavuus on Suomessa ja Euroopan isoissa teollisuusmaissa hyvä, mutta kylmäketjun järjestäminen muissa maissa voi olla ongelmallista. Tietyt kuivajääpuhalluslaitteet pystyvät itse tuottamaan kuivajääpellettejä, mutta kyseisten laitteiden puhdistusteho ei ole riittävä tälle kohteelle. Itse laitteen kuljettamisessa ei ole ongelmaa. Hiilidioksidijää on tuotannon sivutuote ja siinä mielessä hyvin ympäristöystävällinen, mutta joissakin maissa, kuten Saksassa, on käytäntö, jossa toissijainen jätteen käyttäjä on vastuussa yhtä lailla ympäristöpäästöistä.

Kuivajääpuhalluksessa irronnut lika on siivottava pois, esim. imuroimalla ja siihen ei kulu merkittävästi aikaa, mutta kalvomainen lika vaatii vielä puhalluksen jälkeen jonkinlaisen jälkipuhdistustavan. Laite on helppokäyttöinen eikä sen käyttö luo merkittäviä turvallisuusriskejä. Käyttäjällä on oltava perus suojavälineet, kuten kuulosuojaimet, suojalasit ja hanskat kylmälle. Säiliömäisissä tiloissa vapautunut hiilidioksidi aiheuttaa hengittämiskaavan ja näissä tapauksissa on käytettävä hiilidioksidimittaria sekä ilmanvaihtoimuria tarvittaessa. Puhdistusnopeus voisi olla noin 5–15 ne-

liötä tunnissa, mutta se on hyvin tapauskohtaista. Laitteen kuljetus ympäristöön ja varustautuminen eivät vie paljoa aikaa. Suomeen ja Euroopan alueelle on saatavilla hyvä verkosto kuivajääpuhalluspalveluille. Muihin maihin on selvitettävä kylmäketjun saatavuus ja fiksumpaa voisi näissä tapauksissa olla oman laitteen hankinta alueiden paikallisiin huoltoyksiköihin. Laiteinvestoinnin hinta tässä tapauksessa asettunee 15–20 tuhannen euron väliin, sekä kuivajääpelletit maksavat n. 1–2 euroa per kilo. Kuivajään kulutus on suurin piirtein 50 kg tunnissa.

5.1.2 Laserpuhdistus

Kovemmat seostumat, kuten savi ja talkki, eivät puhdistu laserilla. Laserpuhdistuksessa valon absorbointikyky pinnassa on tärkeä tekijä, mikä tarkoittaa, että paksu valkoinen lika ei irtoa kovin tehokkaasti. Laser sopii kuitenkin täydellisesti pinnan viimeistelyyn ja ohuen likakalvon poistamiseen. Pahimmat saostumat kannattaa siis ensin poistaa esim. kuivajääpuhalluksella, jonka jälkeen laserilla poistetaan ohuemmat likakalvot ja viimeistellään pinta. Laserilla saadaan haluttu pinnanlaatu valitsemalla oikeanlainen optiikka käyttökohteeseen. Laserilla on mahdollista saavuttaa täydellinen pinnanlaatu vahingoittamatta elektrolyyttisesti kiillotettua pintaa.

Laserpuhdistusyksikkö liikkuu pyörien päällä ja tähän käyttökohteeseen sopiva laite painaa noin 400 kiloa. Laite voi siis olla vaikeasti siirrettävissä perälaatikon viereen, mutta pesupäälle voidaan käyttää esim. 50 metrin letkuja, joten luokse päästävyys ei ole ongelma. Huuliaukon puhdistukseen on mahdollista kehittää käsin työnnettävä kelkka tai kärry, mikä puhdistaa huulikanavan pinnat. Putkimaisien rakenteiden laserpuhdistukseen ei oikein ole sopivaa ratkaisua.

Optimaalisessa tilanteessa laserpuhdistusta pitäisi tehdä suljetussa tilassa. Tämä voidaan toteuttaa paperikoneympäristössä suojaverhoin. Työntekijällä pitää olla asianmukaiset suojavarusteet ja koulutus. Laserpuhdistuksessa on kiinnitettävä turvallisuuteen erityisesti huomiota. Laitteen käyttäjät on koulutettava kunnolla ja organisaatioon on nimitettävä laserturvallisuusvastaava. Laserpuhdistusprosessissa irtoava lika ja kaasut imetään suoraan imuriin, joten jälkipuhdistustarvetta ei ole. Esivalmisteluihin kuluu noin 30–60 minuuttia ja puhdistusnopeus voisi olla noin 16 neliötä tunnissa.

Laserpuhdistusta on saatavilla Suomessa ja muualla Euroopassa sekä tietyissä muissa maissa kohtuullisen hyvin. Laserin käyttökustannukset ovat hyvin edulliset, noin 3–4 euroa per tunti, mutta

laiteinvestointi on melko kallis. Tähän kohteeseen soveltuvan laserpuhdistuskaluston hintaluokka on noin 200–300 tuhatta euroa ja liikuteltavan puhdistuspään tuotekehitys maksaisi vielä joitakin kymmeniä tuhansia.

5.1.3 Soodapuhallus

Soodapuhallus ei karhenna tai kuluta pintaa ja se on täysin neutraali menetelmä. Soodalla voidaan puhdistaa sekä metalli- että muovipintoja hyvin. Kaikenlainen lika irtoaa menetelmällä hyvin, mutta suurempien kertymien ja ruosteen kanssa voi olla ongelmia. Lian irtoamisen kannalta ei voida sanoa tarkemmin ennen käytännön testaamista.

Soodapuhallus vaatii paineilmakompressorilta paljon ominaisuuksia ja siksi laitteen mukana usein kuljetetaan omaa kompressoria. Paperitehtailla paineilmaa on toki yleensä hyvin saatavilla. Menetelmä vaatii 6–8 baarin paineen ja mielellään 8000–10000 l/min ilmantuoton. Laite painaa itsessään noin 70 kiloa ja on kahden ihmisen voimin siirrettävissä perälaatikon läheisyyteen. Laitteen letkut ovat 30 metriä pitkiä, eli luoksepäästävydessä ei ole sen suhteen ongelmia. Letkun ja puhalluspään paksuus on noin 38 mm, joten huuliaukkoon päästään käsiksi hyvin. Putkimaisien rakenteiden sisään ei pääse pesemään hyvin, mutta putken suuaukolta voidaan pestä se, mikä on mahdollista.

Sooda tulisi kuljettaa ja säilyttää kuivassa ja sitä on saatavilla hyvin. Soodapuhallus on ympäristöystävällistä mutta se aiheuttaa paljon sotkua ja pölyä. Ympäröivää aluetta tulisi siis suojata jonkin verran ennen pesua. Puhalluksen aiheuttaman sotkun voi siivota vedellä huuhtelemalla, tai jotenkin muuten keräämällä. Soodapuhalluksessa ei ole huomattavia turvallisuusriskejä ja suojava-rusteiksi riittävät perussuojavarusteet ja hengityssuojain. Lopullista puhdistusnopeutta on vaikea sanoa ilman kokeilua, mutta 10–12 tuntia voisi olla riittävä aika esivalmisteluun, suojuuksille ja soodapuhallukselle. Soodapuhallusta tehdään ainakin Suomessa hyvin palveluna, sekä laitteisto ei vaadi erityistä koulutusta ja on helppo käyttää. Tähän käyttökohteeseen sopiva soodapuhalluslaite lisäosineen maksaa noin 25 tuhatta euroa ja lisäksi tarvittaessa on hankittava oma kompressori laitteelle. Puhdistussooda itsessään on edullista ja maksaa noin 1 euroa per kilo.

5.1.4 Korkeapainepesu

Korkeapainepesu ei vahingoita metallipintaa tai huononna pinnanlaatua. Irtoavat osat ja toimilaitteet on kuitenkin suojattava vahingoittumisen varalta. Korkeapainepesurin pää on metallinen ja sillä on mahdollista naarmuttaa puhdistuspintoja, mutta metallinen pää on mahdollista suojata pehmusteilla. Korkeapainepesulla kaikenlaisen lian kuuluisi irrota todella hyvin, mutta sitä ei voida varmistaa ennen käytännön testejä. Pahimpien likakertymien kanssa korkeapainepesun voisi hyvin yhdistää kemikaalikäsittelyyn, jotta irrotettava lika pehmentyisi ennen pesua.

Liikuteltava laite siirtyy pyörien päällä ja kaksi ihmistä jaksaa nostaa sen. Korkeapaineyksiköitä voidaan asentaa paperitehtailla kiinteäksi myös puhdistuskohteen läheisyyteen. Pesuyksikön lisäksi siirreltävänä ovat myös mahdolliset pesujohteet, kelkat tai kuljettimet, jos kohteessa niitä käytetään. Pesurin letkujen pituudessa ei ole rajoitteita, mutta korkeapaineletkut on suojattava ihmisiltä turvallisuussyistä. Huuliaukolle on mahdollista tehdä jonkinlainen kuljetin tai kelkka, jossa on pyörivät suuttimet, jolloin pesu ylettää huuliaukon joka seinämälle.

Menetelmä ei vaadi jälkipuhdistusta tai siivousta, mikäli lika saadaan irti. Irronnut lika huuhtoutuu veden mukana pois, joten jonkinlainen suojaus voisi olla tarpeen. Korkeapaineletkujen läheisyydessä ihmisillä on suuri turvallisuusriski ja siksi letkujen läheisyyteen ei saisi olla pääsyä. Käsi pesurin käyttäjällä on oltava asianmukainen korkeapainesuojapuku ja siksi sitä ei lähtökohtaisesti suositella, jos työn saa hoidettua muulla tavalla. Korkeapainepuhdistus vedellä on hyvin nopea puhdistusmenetelmä. Alkuvalmisteluihin ja suojaamiseen pitää kuitenkin varata riittävästi aikaa, jotta ne saadaan tehtyä huolellisesti. Korkeapainepesua tehdään Suomessa palveluna erittäin laajasti, ja tapauskohtaisesti myös tiettyihin lähimaihin. Laitteinvestointina korkeapainepesuri maksaisi tähän käyttöön noin 28 tuhatta euroa ja tämän lisäksi on hankittava lisävarusteita sekä käyttökohteeseen soveltuva kuljetin tai kelkka, joka voi vaatia vähän tuotekehitystä.

5.1.5 Kemikaalipesu

Kemikaalipesu ei vahingoita puhdistettavia pintoja lainkaan ja se jättää pinnan neutraaliksi. Liiallisella liottamisella voidaan saada vahinkoa aikaan, mutta se on käytännössä mahdotonta käytössä olevassa aikaikkunassa. Paras tapa kemikaalipesuun on ensin käyttää alkalisia pesuaineita, minkä jälkeen voidaan pestä happamilla pesuaineilla. Liuottavien ja alkoholipohjaisten pesuaineiden

käyttö on useissa paperitehtaissa kiellettyä viiran läheisyydessä. Vahvempien pesuaineiden käytöstä on aina sovittava tehtaan kemikaali- ja jätevesivastaavan kanssa. Kemikaaleilla lika irtoaa hyvin, mutta isommat saostumat eivät välttämättä lähde ja ne joudutaan poistamaan vielä mekaanisesti, tai muilla keinoin. Puhdistustehoa voitaisiin parantaa vaatimalla asiakkaalta perälaatikon ylitäyttöä tai liottamista ennen itse puhdistusta. Kemikaalipuhdistukseen olisi hyvä olla muutama erilainen pesuaine käytössä sekä jonkinlainen levitin. Kemikaalit kannattaa levittää painepullolla. Pesuaineiden vaahdotuksen hyöty jää pieneksi, sillä vaahtokaan ei pysy pinnoilla loputtomasti. Parhaiten lika saadaan liottumaan levittämällä pesuainetta esim. 10 minuutin välein, niin kauan kuin on tarve.

Pesuainetta on helppo levittää joka paikkaan, joten luoksepäästävyys ei ole ongelma. Kemikaalien kuljetus on ongelmatonta niin Suomessa kuin ulkomaillakin, ja ne vievät vähemmän tilaa kuin muut puhdistuslaitteistot. Voimakkaiden pesuaineiden kuljetukseen voi liittyä lisäselvittämistä ja ylimääräisiä kustannuksia. Pesuaineen käyttö tehdään aina asiakkaan ympäristösääntöjen ja -vaatimusten mukaisesti. Kemikaalien huuhtelu vedellä riittää jälkikäsittelyksi. Puhtaiden happojen käyttö voisi olla ihmisille haitallista ja vaarallista. Pesuun käytetään aina kuitenkin seostettuja pesuaineita, jolloin niiden kanssa ei ole turvallisuusriskejä. Pesun suorittajalle riittää perussuojavälineet, kuten hanskat, pesupuku ja visiiri. Pahasti seostunut ja kertynyt lika vaatii mahdollisimman pitkän kemikaalien vaikutusajan. Pahimpia saostumia kannattaa liottaa pesuaineessa useita tunteja ennen huuhtelua tai pesua. Kemikaaleilla pesua suoritetaan Suomen alueella hyvin palveluna. Ulkomaille kannattaisi hankkia omat pesuaineet ja toteuttaa kemikaalipesu itse. Puhdistuskalusto ei ole kovinkaan suuri investointi ja suurin osa kuluista tulee käytettävistä aineista ja itse työstä.

6 Arviointi painotetulla pistematriisilla

6.1 Pisteytys

Toiminnan keskeiset mittarit arvioidaan asteikolla 0–5 jokaisen vertailukohteen kohdalla erikseen. Jos vertailukohde saa 0 pistettä, se johtaa ratkaisun hylkäämiseen. Arvosanojen merkitys kullekin mittarille määriteltiin yhteistyössä toimeksiantajayrityksen asiantuntijan kanssa ja se on esitetty liitteen 2 taulukossa. Mikäli tiettyä puhdistusmenetelmää ei voida luokitella arviointitaulukon mukaisesti joltakin osin, arvioinnissa sovelletaan pisteytystä, jossa 5 pistettä edustaa täydellistä rat-

kaisua ja 0 pistettä käyttökelvotonta ratkaisua. Tällöin välipisteet määritellään tapauskohtaisesti kerätyn tiedon perusteella.

6.2 Painokertoimet

Vertailtavat ominaisuudet eivät ole samanarvoisia, joten pisteytyksille on määriteltävä painokertoimet. Ominaisuudet kilpailevat tärkeydessä toisiaan vastaan ja ne pisteytetään sen mukaisesti. Painoarvokerroin on yhden ominaisuuden osuus kokonaispisteistä. Liitteen 3 taulukossa on esitetty arviointikriteerien painoarvojen määrittely, joka tehtiin yhteistyössä toimeksiantajayrityksen asiantuntijan kanssa. Pisteytys ja painoarvot on esitetty tärkeysjärjestyksessä taulukossa 1.

Taulukko 1. Arviointikriteerien painoarvot

Kriteerit	Osuus kokonaispisteistä	Painoarvo
Pinnanlaatu & vahingoittuminen	15/72	0,21
Turvallisuusriskit	14/72	0,19
Likapartikkeleiden irrotuskyky	12/72	0,17
Luoksepäästävyys	8/72	0,11
Ympäristöhaitat & jälkipuhdistuksen tarve	7/72	0,10
Laitteen kuljetus & käyttö, Suomessa sekä ulkomailla	7/72	0,10
Puhdistusnopeus & esivalmistelu	5/72	0,07
Vuokraus & alihankinta	2/72	0,03
Hintaluokka	2/72	0,03

Painokertoimien määrittelyssä ”Pinnanlaatu & vahingoittuminen” sai korkeimmat yhteispisteet, eli se on vertailussa tärkein arviointikriteeri. Tämä johtuu siitä, että puhdistuksella yritetään parantaa pinnanlaatua ja huonompi tai vahingoittunut pinta vain huonontaisi sitä. Toiseksi eniten pisteitä sai ”Turvallisuusriskit”, koska toimeksiantaja suhtautuu turvallisuusriskeihin hyvin vakavasti. Kol-

manneksi tärkeimmäksi kriteeriksi osoittautui ”Likapartikkeleiden irrotuskyky”, koska se on yksi tämän tutkimuksen päätavoitteista.

”Luoksepäästävyys” määritettiin arvioinnissa neljänneksi ja ”Ympäristöhaitat & jälkipuhdistuksen tarve” sekä ”Laitteen kuljetus & käyttö, Suomessa sekä ulkomailla” saivat arvioinnissa yhtä ison painoarvon ja ovat samanvertaisia. Nämä kolme kriteeriä ovat suuria haasteita yleisesti kohteen puhdistamisessa. ”Puhdistusnopeus & esivalmistelu” sekä ”Vuokraus & alihankinta” ovat molemmat olennaisia tekijöitä puhdistuksessa paperikoneympäristössä, mutta aiemmat kriteerit ovat kuitenkin tärkeämpiä seikkoja. ”Hintaluokka” sai alhaisimman painoarvon, koska liian kallis puhdistustapa rajautuu joka tapauksessa pois ja toimeksiantajalle on tärkeää löytää oikeasti toimiva ratkaisu.

6.3 Pistematriisi

Painotetussa pistematriisissa vertailtiin kuivajääpuhalluksen, laserpuhdistuksen, soodapuhalluksen, korkeapainepesun ja kemikaalipesun ominaisuuksia pisteyttämällä jokainen vertailtava kriteeri. Painotettu pisteytys saadaan kertomalla annettu arvosana sille määritellyllä painoarvolla. Vertailu painotetulla pistematriisilla on esitetty liitteessä 4. Vertailun lopputuloksina käytetään kunkin puhdistusmenetelmän kokonaispisteitä ilman painoarvoa sekä painotettuja kokonaispisteitä. Painotetun pistematriisin tulokset on esitetty tärkeysjärjestyksessä taulukossa 2.

Taulukko 2. Painotetun pistematriisin tulokset

Painotetun pistematriisin tulokset			
Tärkeysjärjestys	Ilman painoarvoa	Painotettu	Pisteet
1.	Kemikaalipesu		34
		Kemikaalipesu	3,82
2.	Korkeapainepesu		33
		Soodapuhallus	3,81
3.	Soodapuhallus		32
		Korkeapainepesu	3,53
4.	Kuivajääpuhallus		32
		Kuivajääpuhallus	3,44
5.	Laserpuhdistus		30
		Laserpuhdistus	3,39

Puhdistusmenetelmien vertailu painotetulla pistematriisilla tuotti hyvin tasavertaiset tulokset, eikä kokonaispisteissä ilmaantunut suurempia poikkeamia menetelmien välillä. Vertailulla saatiin kuitenkin selkeä tärkeysjärjestys, mistä voidaan tehdä johtopäätöksiä. Kemikaalipesu arvioitiin parhaaksi vaihtoehdoksi vähäisten turvallisuusriskien sekä hyvän luoksepäästävyuden ansiosta. Toiseksi parhaaksi puhdistusmenetelmäksi arvioitiin soodapuhallus, joka arvioinnin perusteella vaikuttaa tasaisen hyvältä arviointikriteerien suhteen. Korkeapainepesu oli kolmanneksi paras vaihtoehto, koska työturvallisuus kyseisellä menetelmällä oli vertailtavien keskuudessa huonoin. Neljänneksi arvioinnissa tuli kuivajääpuhallus, jonka arvosanat olivat tasaisen keskivertaisia. Vertailun huonoimmaksi puhdistusmenetelmäksi osoittautui laserpuhdistus heikon työturvallisuuden ja korkean hintaluokkansa takia.

7 Työn tulokset

Kaikki vertailtavat menetelmät ovat lupaavia ja mahdollisesti hyviä puhdistusratkaisuja toimeksiantajan suorittamaan perälaatikon puhdistukseen. Teemahaastattelujen perusteella likapartikkeleiden irrotuskyvyssä on huomattavia käytännön eroja eri menetelmien välillä. Vertailtavat kohteet voidaankin jakaa kolmeen kategoriaan lianpoistokyvyn mukaan seuraavasti:

1. Menetelmä poistaa isompia likakertymiä ja saostumia.
2. Menetelmä poistaa yleisen likafilmin ja orgaanisen lian.
3. Menetelmä poistaa kaikkea likaa kohtalaisesti. Pinttynyt lika ei välttämättä irtoa kokonaan.

Taulukko 3. Puhdistusmenetelmät lianpoistokyvyn mukaan

1. Isot kertymät ja saostumat	2. Orgaaninen ja ohut likafilmi	3. Kohtalaisen hyvä yleisesti
Kuivajääpuhallus	Laserpuhdistus	Soodapuhallus
	Kemikaalipesu	Korkeapainepesu

Menetelmien jako kategorioihin on esitetty taulukossa 3. Kuivajääpuhallus kuuluu ensimmäiseen kategoriaan, koska se poistaa isompia kertymiä ja saostumia erinomaisesti. Kuivajääpuhallus ei kuitenkaan toimi ohuiden likakalvojen poistoon ja vaatii siksi jälkipuhdistuksen pesuaineilla tai jollakin muulla puhdistusmenetelmällä. Toiseen kategoriaan kuuluvat laserpuhdistus ja kemikaali-

pesu. Nämä menetelmät eivät poista pinttynyttä likakertymää ja saostumia, ja sen takia saattavat vaatia lisäksi mekaanisen puhdistuksen tai jonkin toisen puhdistusmenetelmän. Soodapuhallus ja korkeapainepesu kuuluvat puolestaan kolmanteen kategoriaan, koska ne poistavat kaikenlaista likaa hyvin. Nämä menetelmät eivät välttämättä kuitenkaan poista pahiten pinttynyttä likaa ja niiden toimivuus saadaan selville ainoastaan testaamalla. Todennäköisesti parhaaseen lopputulokseen päästään yhdistämällä ensimmäisen kategorian kuivajääpuhallus toisen tai kolmannen kategorian puhdistusmenetelmiin. Näin saadaan ensin poistettua pahimmat likakertymät, minkä jälkeen irrotetaan jäljellejääneet likakalvot ja orgaaniset liat sekä viimeistellään pinta. Ajallisesti menetelmien yhdistäminen on mahdollista, koska kuivajääpuhalluksen arvioitiin vievän aikaa 4–8 tuntia ja se pienentäisi mahdollisesti jatkopuhdistusmenetelmän vaatimaa aikaa, sillä lian määrä olisi pienempi. Sekä laserpuhdistuksen että korkeapainepesun arvioitiin vievän aikaa alle 4 tuntia, joten yhdistämällä jompikumpi menetelmistä kuivajääpuhallukseen, voitaisiin yhdistetty pesu suorittaa alle 12 tunnin työpäivän aikana.

Mikään vertailussa ollut menetelmä ei vahingoita puhdistettavia pintoja, mutta mm. korkeapainepesussa on mahdollista naarmuttaa pintoja pesupäällä huolimattomuuden takia. Laserpuhdistus ja soodapuhallus sopivat erityisen hyvin pinnan viimeistelyyn ennen pinnoitusta, jopa elektrolyytisesti kiillotetuille pinnoille. Soodapuhalluksen jälkeen on toki pestävä vielä puhdistussoodajäämät. Oikein valitulla laserpuhdistusoptiikalla saadaan aikaiseksi suoraan käyttövalmis pinta.

7.1 Yhteenveto puhdistusmenetelmien ominaisuuksista

Kuivajääpuhalluksessa on otettava huomioon hiilidioksidipellettien saatavuus ja kylmäketjun järjestäminen. Lisäksi hiilidioksidin käytön ympäristövastuisiin on varauduttava lainsäädäntöjen muuttuessa. Ongelmakohta voi myös olla riittävän paineilman saanti paperikoneympäristöön ja se on selvitettävä asiakkaan kanssa etukäteen. Laitteisto on helppokäyttöinen ja investointina suhteellisen edullinen, joten niin laitehankinta kuin puhdistuspalvelun ostaminenkin ovat molemmat mahdollisia toteutusvaihtoehtoja.

Laserpuhdistus on hyvin ympäristöystävällinen ja nopea menetelmä likafilmin ja orgaanisen lian poistoon sekä pinnan viimeistelyyn. Laserpuhdistuksessa on kiinnitettävä huomiota työturvallisuuteen ja koulutettava organisaatioon laserturvallisuusvastaava. Laitteisto on investointina huomattavasti muita vertailtavia menetelmiä kalliimpi, mutta käyttökustannukset ovat hyvin alhaisia. Jär-

kevin tapa suorittaa laserpuhdistusta perälaatikon huulikanavaan on käyttötarkoitukseen suunniteltu käsin työnnettävä matala kelkka.

Soodapuhallus osoittautui haastattelujen ja vertailun perusteella hyväksi menetelmäksi sijoittuen tasaisen vahvasti lähes kaikkien arviointikriteerien kohdalla. Se voikin riittää itsessään puhdistamiseen muita menetelmiä käyttämättä, mikäli lika ei ole todella pinttynyttä. Soodapuhalluksen heikkous on hidas puhdistusnopeus, joka johtuu mm. ympäristön suojaustoista ja jälkipuhdistuksesta. Soodapuhalluksessa on myös kiinnitettävä huomiota riittävän paineilman saantiin.

Korkeapainepesu on ympäristöystävällinen, nopea ja tehokas puhdistusmenetelmä. Korkeapainepesun heikkoutena ovat työturvallisuusriskit korkeapaineletkujen ja pesupään lähistöllä. Työturvallisuusriskejä ja luoksepäästävyyttä voidaan parantaa hyödyntämällä käyttötarkoitukseen suunniteltuja johteita tai muunlaista pesupään kuljetinta. Laitteisto voi olla pyörien päällä liikuteltava tai paperitehtaaseen kiinteästi asennettu.

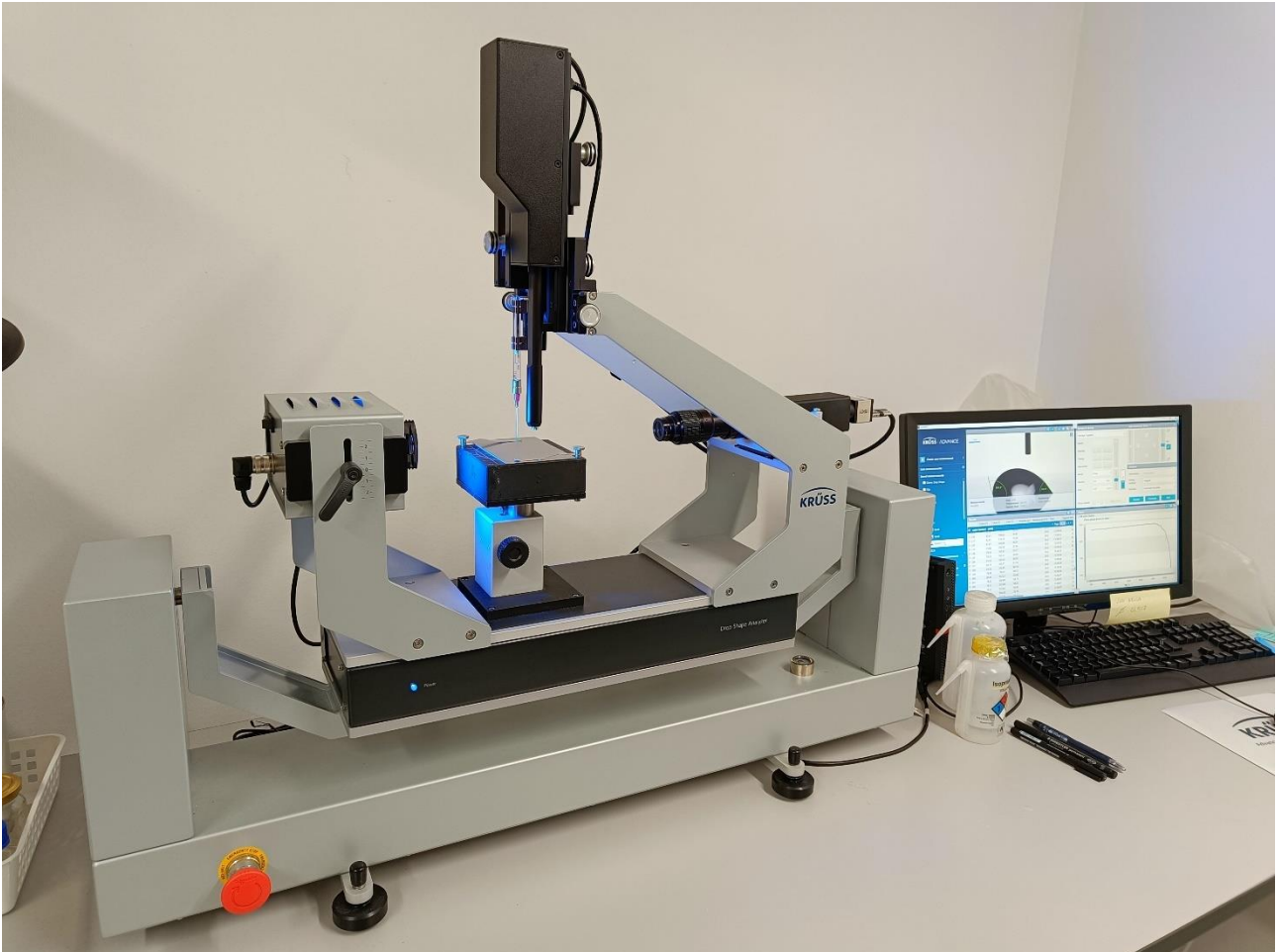
Kemikaalipesun vahvuutena on paras luoksepäästävyys, koska pesuaineita saa levitettyä ahtaisiin väleihin. Laitteisto on minimalistinen ja kevyt, eli se on helppo kuljettaa ja kantaa, ja laiteinvestointina menetelmä on hyvin edullinen. Voimakkaiden kemikaalien ulkomaille lähettämiseen voi kuitenkin liittyä lisätoimenpiteitä ja kustannuksia turvallisuussyistä. Kemikaalipesua voidaan ostaa palveluna Suomessa ja suositeltavaa olisi ostaa muutamia erilaisia pesuaineita kemikaalitoimittajalta ainakin ulkomailta suoritettaviin pesuihin.

7.2 Pinnan puhtauden arviointi

Opinnäytetyövierailulla Millidyne Oy:llä heräsi ajatus pinnan puhtauden tarkistamisesta puhdistuksen jälkeen. Tällä hetkellä kyseistä toimenpidettä ei ole käytössä, vaikka puhtauden todentaminen olisi tärkeää pinnoituksen kannalta. Tarkistaminen voisi varmistaa, että lopputulos vastaa toimeksiantajan vaatimuksia. Ehdotankin, että tarkistusvaihe sisällytettäisiin osaksi puhdistusprosessia.

Pinnan puhtaus voidaan määrittää pintaenergian mittauksella. Millidyne Oy:llä oli käytössään KRÜSS Drop Shape Analyzer -laite, joka mittaa pintaenergiaa mittaamalla pisaran kontaktikulmaa optisesti. (Ks. kuvio 8.) Kontaktikulma on kulma, jonka nestepisara muodostaa kiinnittyessään pin-

taan. Suurempi kontaktikulma osoittaa, että pinta hylkii nestettä, kun taas pienempi kontaktikulma osoittaa, että pinta houkuttelee nestettä. Tätä kulmaa voidaan mitata esimerkiksi pisaran puotamiskokeen avulla.



Kuvio 8. KRÜSS Drop Shape Analyzer

Laitteeseen asennetaan tutkittavaa pintaa kuvaava levy, jonka päälle pudotetaan tarkasti määritellyn kokoinen pisara. Pisaran kontaktikulmaa mitataan kameralla valoa vasten ja laitetta kallistamalla nähdään, missä vaiheessa pisara alkaa liikkua ja lopulta valuu pois mittauslevyltä. Mittaukset suoritetaan polaarisella ja dispersioisella pisaralla, joita vertaamalla saadaan mitattua pintaenergiaa.

Pisaran kontaktikulman mittalaite vaatii laboratorio-olosuhteet ja siksi pinnan puhtautta ei voida mitata perälaatikon puhdistettavista pinnoista sen avulla. Paperitehdasympäristössä pintaenergia

voidaan kuitenkin määrittää riittävän tarkasti käyttämällä joko tussilla levitettävää testimustetta, eli niin sanottua pintaenergiakynää, tai yksinkertaisesti levittämällä vettä puhdistetulle pinnalle ja tarkkailemalla veden kontaktikulmaa. Nämä menetelmät vaativat harjoittelua, testaamista ja kokemusta käyttäjältä, jotta pinnan puhtaus voidaan määrittää riittävän tarkasti. Puhtaan pinnan tulisi olla hydrofiilinen vedelle, että pinnoiteaine voisi tarttua hyvin. Pinnoittaminen tekee materiaalista hydrofobisen. Puhdistuksessa hydrofobinen pinta voi tarkoittaa joko likaisuutta tai vanhan pinnoitteen jäämiä.

7.3 Asiakkaan vastuut

Vaikeissa likaantumistapauksissa olisi tärkeää analysoida likatyyppi sen poistamisen kannalta. Usein likatyyppin analysointi on tehtävä laboratoriossa, perälaatikosta otetusta näytteestä. Tämänkaltaista palvelua ei ole kannattavaa järjestää puhdistusyriksen kautta, koska se on vain ylimääräinen välikäsi etenkin, jos puhdistuskohde sijaitsee toisessa maassa kuin palveluntarjoaja. Tämän vuoksi ehdottaisinkin, että vaikeissa likaantumistapauksissa vaadittaisiin asiakasta teettämään liikanalyysi paikallisella taholla, ennen kuin puhdistuspalvelua tarjotaan.

Vaikeissa tapauksissa asiakasta voitaisiin pyytää tekemään perälaatikon ylitäyttö tai liottaminen, eli "boil out" -käsittely. Kyseinen prosessi vie kuitenkin aikaa ja siinä käytettävät kemikaalit voivat olla hyvinkin voimakkaita, mistä aiheutuu ongelmia. Tämän vuoksi asiakkaalta ei voida vaatia kyseistä toimenpidettä, mutta pahimmissa likaantumistapauksissa siitä olisi suuri hyöty lopputuloksen ja tehokkuuden kannalta.

8 Johtopäätökset ja pohdinta

Työn tavoitteena oli tutustua paperi- ja kartonkikoneen perälaatikon huulialueella esiintyvään liikaan tarkemmin ja löytää parempia keinoja liian poistamiseen. Tutkimuksessa selvisi, että kohteessa esiintyvä lika voidaan jakaa kemialliseen, mikrobiologiseen liikaan tai niiden yhdistelmään. Lika voidaan toisaalta jakaa myös sen esiintymän ja koon perusteella ohueksi kalvomaiseksi liaksi tai suuremmiksi saostumiksi ja kertymiksi. Happamien ja emäksisten pesuaineiden käytössä tulisi huomioida prosessin pH-arvo ja pyrkiä käyttämään prosessin vastakkaista pH-arvoa puhdistusaineissa. Tutkimuksen tulokset osoittivat, että eri puhdistusmenetelmien tehokkuus vaihtelee mer-

kittävästi eri likatyypin kohdalla, mikä on esitetty taulukossa 3. Tämä vaihtelu tulee ottaa huomioon menetelmää valittaessa, jotta voidaan varmistaa optimaalinen puhdistustulos.

Tutkimuksessa vertailukohteena olleet puhdistusmenetelmät osoittautuivat kaikki käyttökelpoiksi läpäistessään painotettu pistematriisi -vertailun. Yksikään menetelmä ei kuitenkaan ole täydellinen ratkaisu käyttökohteeseen ja jokaisessa menetelmässä on heikkouksia ja vahvuuksia eri kriteereissä. Kuivajääpuhallus on tutkimuksen perusteella paras vaihtoehto isojen kertymien ja saostumien poistoon, kun taas orgaaniseen likaan ja ohueen likafilmiin toimivat laserpuhdistus ja kemikaalipesu. Laserpuhdistamalla saadaan aikaan juuri haluttu pinnanviimeistely, kun taas kemikaalipesu on edullinen ja tehokas vaihtoehto. Korkeapainepesu ja soodapuhallus ovat yleisesti hyviä menetelmiä, joilla saadaan saostunutta sekä kalvomaista likaa irrotettua, mutta pahimpien kerrostumien täyttä puhdistamista tai käyttövalmista pinnan viimeistelyä ei ole taattu. Voidaan siis olettaa, että nämä menetelmät vaativat viimeistelyä muilla keinoin hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi.

Valittaessa vertailtuja puhdistusmenetelmiä käyttöönotettavaksi on myös otettava huomioon kunkin menetelmään liittyvät haasteet. Kuivajääpuhalluksessa tulee huomioida kylmäketjun järjestäminen, ympäristöhaitat ja siihen liittyvät lakimuutokset sekä tehtaalla riittävän paineilman järjestäminen. Laserpuhdistuksen osalla on tärkeää panostaa työturvallisuuteen ja ympäristön suojaamiseen siihen liittyen. Soodapuhalluksesta aiheutuva sotku lisää valmistelu- ja viimeistelyaika, koska soodajäämät täytyy kerätä pois. Korkeapainepesussa on otettava huomioon erityisesti työturvallisuus. Sen lisäksi suurella paineella on mahdollista vahingoittaa ympärillä olevia komponentteja epähuomiossa. Kemikaalipesun haasteena ovat ympäristölainsäädökset eri maissa. Voimakkaita pesuaineita käyttäessä on siis suunniteltava paperitehtaan kanssa, minkälaisia pesuaineita voidaan kohteessa käyttää. Lisäksi voimakkaiden pesuaineiden kuljetukseen saattaa liittyä selvittämistyötä sekä kustannuksia.

Tavanomaisessa kenttähuoltotilanteessa tulisi ottaa käyttöön pintaenergian mittaus joko pintaenergiakynää käyttämällä tai veden pintajännitystä tulkitseamalla. Lisäksi ongelmallisissa likaantumistapauksissa asiakasta tulisi kehottaa tekemään likatyypianalyysi ennen puhdistamiseen lähtemistä, jotta voitaisiin valita oikeat menetelmät ja välineet työn hoitamiseksi.

Puhdistusmenetelmien yhdistämistä voidaan harkita niin, että kuivajääpuhalluksella poistetaan

isot likakertymät ja saostumat, minkä jälkeen työ viimeistellään laserpuhdistamalla tai kemikaalipesulla. Näin saadaan tutkimuksen mukaan paras mahdollinen puhdistuminen aikaiseksi. Menetelmien yhdistämisessä ongelmaksi voi koitua työnkesto. Käytännön testeillä saadaan selvitettyä todellinen työaika.

ChatGPT-tekoälysovelluksen antamat tulokset eivät tuoneet työlle merkittävää lisäarvoa, koska parhaat sovelluksen tarjoamat tulokset olivat tiedossa jo etukäteen muiden lähteiden avulla. Mikäli aiheesta ei olisi ollut ennakkotietoa, ChatGPT:n antamat tulokset olisivat voineet toimia hyvänä lähtökohtana analyysille. Uusia puhdistusmenetelmiä kartoittaessa esiin nousivat myös kelatoiva-pesu, entsyymipuhdistus, biosidinen puhdistus ja oksaalihapon käyttö. Näitä menetelmiä ei kuitenkaan tutkittu syvällisemmin, koska ne luokitellaan puhdistusaineiksi, joita tässä työssä käsiteltiin vain yleisellä tasolla. Yksittäisiin kemikaaleihin perehtyminen olisi vaatinut merkittävästi aikaa, joten tämä osa-alue jätettiin työn ulkopuolelle, vaikka se olisi antanut työlle lisäarvoa.

8.1 Pohdinta

8.1.1 Työn luotettavuuden arviointi

Tämän opinnäytetyön luotettavuus perustuu useisiin erilaisiin lähteisiin ja menetelmiin, joita on käytetty tutkimuksen ja arvioinnin tukena. Keskeinen osa työtä on vertailu, joka on toteutettu painotetulla pistematriisilla. On kuitenkin tärkeää huomioida, että vaikka pistematriisi perustuu sekä haastatteluihin että teoreettisiin lähteisiin, tulokset ja pisteytykset voivat muuttua käytännön elämässä. Tämä johtuu siitä, että pistematriisi on luonteeltaan enemmänkin arvioiva kuin absoluuttinen mittari, eikä sen tuloksia ole validoitu laajamittaisilla testauksilla. Teemahaastattelussa haastateltiin 1–2 kunkin vertailukohteen laite- tai tuotetoimittajaa. Useammalla haastattelulla olisi voitu kasvattaa tutkimuksen luotettavuutta, mutta ajallisista syistä haastattelut rajattiin yhteen tai kahteen haastatteluun puhdistusmenetelmää kohden.

Työssä käytetyt lähteet ovat monipuolisia, mutta niiden luotettavuus vaihtelee. Lähde "Pulp and paper mill deposits" on toimeksiantajan sisäisesti jakama koulutusmateriaali, joka on yrityksessä laajasti arvostettu ja käytetty. Vaikka kyseistä materiaalia ei ole saatavilla julkisesti, sen käyttö tässä työssä on perusteltua. Lähde tarjoaa yrityskohtaisia näkemyksiä ja tietoa, jotka ovat olennaisia työn kannalta eikä lähteen tieto ei ole salattua.

Puhdistusmenetelmiin liittyvissä osioissa käytetyt lähteet ovat suurimmaksi osaksi laitetoimittajien tarjoamaa materiaalia. Lähteet ovat yleisesti asiallisia, mutta niiden käytössä on huomioitu mahdollinen kaupallinen painotus. Tämän vuoksi tarjottuun tietoon on suhtauduttu kriittisesti ja sitä on täydennetty muilla, vähemmän kaupallisesti sitoutuneilla lähteillä. Työssä on hyödynnetty myös toista opinnäytetyötä tietolähteenä, korkeapainepesulaitteiston komponenttien kartoituksessa. Vaikka laitteiston komponentit voivat vaihdella eri laitetoimittajien välillä, tämä ei merkittävästi vaikuta työn luotettavuuteen, koska tavoitteena oli ensisijaisesti saada yleinen ymmärrys laitteiston rakenteesta. Tämän tiedon avulla pystyttiin muodostamaan kokonaiskuva laitteistosta.

Työssä käytetyt henkilökohtaiset tiedonannot ovat peräisin pitkään osaamisalansa parissa työskennelleiltä ammattilaisilta. Näiden ammattilaisten kokemukseen ja asiantuntemukseen voidaan luottaa, mikä lisää työn luotettavuutta merkittävästi. Muu kirjallisuus, jota on käytetty työn pohjana, on pääosin ajantasaista ja relevanttia aihealueen kannalta. Vaikka osa lähteistä onkin vanhempia, niiden sisältämä tieto on edelleen ajankohtaista ja sovellettavissa nykytilanteeseen. Näin ollen, vaikka työn luotettavuuteen liittyy tiettyjä rajoitteita, kokonaisuus muodostaa luotettavan perustan esitettyjen johtopäätösten tueksi.

8.2 Suositukset ja tulosten hyödyntäminen

Tämä tutkimus ei anna varmaa vastausta yhdenkään uuden puhdistusmenetelmän toimivuudesta rajatussa kohteessa. Voidaan kuitenkin todeta, että menetelmien käytöstä on saavutettu hyvä ymmärrys ja pohja käytännön jatkotutkimuksiin. Kirjallisuuskatsauksen ja haastattelujen perusteella ei voida todeta toimivuutta käytännössä paperikoneen perälaatikon ympäristössä, eli jatkotestauksille on tarvetta. Teemahaastatteluissa jokaisen laitteita ja palveluja tarjoavan yrityksen edustaja oli halukas yhteistyöhön ja kaikkia puhdistusmenetelmiä päästään testaamaan joko testiympäristössä tai itse paperikoneessa. Jatkotestauksien perusteella voidaan valita parhaiten sopivat menetelmät.

Kaikkien menetelmien testaaminen ennen käyttöönottamisen harkitsemista on suositeltavaa. Kemikaalipesu ei välttämättä vaadi testausta, sillä tuoteinvestointi on hyvin edullinen ja toimivuus voidaan todeta käytössä. Puhdistusaineiden osalta työssä ei juurikaan paneuduttu yksittäisiin kemikaaleihin, vaan keskityttiin kemikaalien ja puhdistusaineiden luonteeseen yleisemmällä tasolla, joten perehtyminen yksittäisiin puhdistusaineisiin olisi suositeltavaa. Myös oikeiden pesuaineiden

valintayhdessä kemikaalitoimittajan kanssa on suositeltavaa. Laserpuhdistuksen osalta kannattaa suosia puhdistuksen toteuttamista alihankintana, koska laitteisto on investointina kallis. Alihankkijan kanssa yhteistyössä voidaan kuitenkin kehittää toimeksiantajan käyttötarkoitukseen sopiva laserpuhdistuslaitteisto. Muiden tutkimuksessa vertailtujen puhdistusmenetelmien kohdalla voidaan valita puhdistuksen toteutus joko alihankintana tai investoimalla omaan laitteistoon ja tekemällä puhdistukset itse.

Opinnäytetyö vastasi kaikkiin tutkimuskysymyksiin ja saavutti asetetut tavoitteet. Oli odotettavissa, että työssä ei kehitetty käyttövalmista ratkaisua, sillä käytännön testaus ja tuotekehitys rajattiin opinnäytetyön ulkopuolelle. Näiden vaiheiden sisällyttäminen olisi laajentanut työn laajuuden liian suureksi opinnäytetyöksi. Kuitenkin työssä luotiin vahva pohja, jonka perusteella puhdistusmenetelmien testausta ja tuotekehitystä voidaan jatkossa edistää hyvin. Vertailtujen menetelmien testaaminen jatkotutkimuksena olisi erinomainen aihe tulevalle konetekniikan opinnäytetyölle. Myös korkeapainepesun tai laserpuhdistuksen osalta pesulaitteen kuljettimen tuotekehitys tarjoaisi kiinnostavan opinnäytetyön aiheen, mikäli kyseiset menetelmät halutaan ottaa käyttöön testauksien perusteella.

Lähteet

Brereton, J. 2022. A Comprehensive Guide to Using a Weighted Decision Matrix for Prioritization. Artikkele LaunchNotes -sivustolla. Viitattu 28.8.2024. <https://www.launchnotes.com/blog/a-comprehensive-guide-to-using-a-weighted-decision-matrix-for-prioritization>.

Cecchini, J. 2023. Kehityspäällikkö. Valmet Technologies Oy. Haastattelu 20.11.2023.

ChatGPT. 2024. OpenAI kielimalli. Viitattu 6.3.2024. <https://chat.openai.com/>.

Cosper, D. 1998. Pulp and Paper Mill Deposits and their Control. Valmet Technologies Oy - koulutusmateriaali. Naperville, Illinois: Nalco Chemical Company.

Hannus, J. 1994. Prosessijohtaminen: ydinprosessien uudistaminen ja yrityksen suorituskyky. Viides painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino.

Hupp, B. 2024. Understanding the Differences: Alkaline vs. Acidic Cleaners in Industrial Use. Artikkele S&N Armor -sivustolla. Viitattu 24.8.2024. <https://www.snarmor.com/2024/03/22/understanding-the-differences-alkaline-vs-acidic-cleaners-in-industrial-use/>.

Isotalo, K. 2004. Puu- ja sellukemia. Kolmas, uudistettu painos. Helsinki: Opetushallitus.

Johdatus paperinvalmistukseen. 2023. AEL. KnowPap -tietokanta v.25.0. Viitattu 25.8.2024. <https://janet.finna.fi/>, KnowPap.

Kananen J. 2012. Kehittämistutkimus opinnäytetyönä: kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Tampere: Suomen Yliopistopaino – Juvenes Print.

Kane, D. 2006. Laser Cleaning II. Singapore: World Scientific Publishing. Viitattu 20.8.2024. <https://janet.finna.fi/>, ProQuest Ebook Central.

Kuituraaka-aineet. 2023. AEL. KnowPap -tietokanta v.25.0. Viitattu 25.8.2024. <https://janet.finna.fi/>, KnowPap.

Korkeapainepesu teollisuuden puhtaanapidossa. N.d. Pohjolan Pintamestarit Oy kotisivut. Viitattu 12.2.2024. <https://www.pintamestarit.fi/korkeapainepesut/>.

Laserpuhdistus. N.d. Ionix Oy kotisivut. Viitattu 20.8.2024. <https://www.ionix.fi/teknologiat/lasertyosto/laserpuhdistus/>.

Löppönen, J. 2014. Työturvallisuuden parantaminen korkeapainelaitteilla työskenneltäessä: Korkeapainelaitteiden vuosittainen kuntotarkastus. Opinnäytetyö, AMK. Metropolia Ammattikorkeakoulu, Auto- ja kuljetustekniikan tutkinto-ohjelma. Viitattu 12.2.2024. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2014120218052>.

Mittal, K. L. 2003. Surface Contamination and Cleaning: Volume 1. Boston: VSP. Viitattu 20.8.2024. <https://janet.finna.fi>, ProQuest Ebook Central.

OptiFlo Fourdrinier headbox. N.d. Valmet Oyj kotisivut. Viitattu 1.8.2024. <https://www.valmet.com/board-and-paper/board-and-paper-machines/headbox/optiflo-fourdrinier-headbox/>.

Paulapuro, H. (toim.) 2008. Papermaking Science and Technology. Book 8, Papermaking: Part 1: Stock Preparation and Wet End. Toinen, uudistettu painos. Helsinki: Finnish Paper Engineers' Association – Paperi ja puu.

Perälaatikkojen rakenteet ja tehtävät. 2023. AEL. KnowPap -tietokanta v.25.0. Viitattu 25.8.2024. <https://janet.finna.fi/>, KnowPap.

Sellun valmistus. 2023. AEL. KnowPap -tietokanta v.25.0. Viitattu 25.8.2024. <https://janet.finna.fi/>, KnowPap.

Sorsa, P. 2024. Toimitusjohtaja. Millidyne Oy. Haastattelu 22.2.2024.

The Ultimate Guide to Industrial Cleaners. 2023. Artikkelit Zavenir Daubert -sivustolla. Viitattu 21.8.2024. <https://www.zavenir.com/insight-category/general-articles/the-ultimate-guide-to-industrial-cleaning-solutions>.

Tietoa soodapuhalluksesta. N.d. Nordblast Oy kotisivut. Viitattu 21.8.2024. <https://nordblast.com/fi/tietoa-soodapuhalluksesta/>.

Valmet yrityksenä. N.d. Valmet Oyj kotisivut. Viitattu 20.8.2024. <https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/?language=fi>.

Liitteet

Liite 1. Haastattelurunko

Teemahaastattelun runko

Liite

Opinnäytetyön haastattelu

Haastattelut toteutetaan yksilöhaastatteluina. Haastattelu ei etene ennalta määritettyinä kysymyksinä, vaan keskustelemalla teemoista yleisesti, minkä jälkeen edetään yksityiskohtiin. Keskustelu on avointa ja vapaalle puheelle jätetään tilaa. Haastateltavat yritykset sekä haastateltavien henkilötiedot pidetään anonyyminä.

Haastateltavat

- Kemikaalipesu, palvelu- ja tuotetoimittaja
- Kuivajääpuhallus ja korkeapainepesu, laitetoimittaja
- Laserpuhdistus ja kuivajääpuhallus, palvelu- ja laitetoimittaja
- Soodapuhallus, laitetoimittaja

Teemat

- Pinnanlaatu ja vahingoittuminen
- Likapartikkeleiden irrotuskyky
- Laitteen kuljetus ja käyttö, Suomessa sekä ulkomailla
- Luoksepäästävyys
- Turvallisuusriskit
- Puhdistusnopeus ja esivalmistelu
- Vuokraus ja alihankinta
- Ympäristöhaitat ja jälkipuhdistuksen tarve
- Hintaluokka

Teemat arvioidaan ja kullekin teemalle on määritetty pisteytys asteikolla 0–5 ennalta valituin perustein (Liite 2). Haastattelun tavoitteena on saada jokainen teema arvioitua kyseisen menetelmän kohdalla.

Liite 2. Toiminnan keskeisten mittareiden pisteytys

Pinnanlaatu & vahingoittuminen:	
0 =	Pinnanlaatu huonontuu käyttökelvottomaksi
1 =	Pinnanlaatu huonontuu merkittävästi, korroosionkesto huonontuu merkittävästi
2 =	Pinnanlaatu tai korroosionkesto huonontuu hieman
3 =	Pinnanlaatu pysyy kohtuullisella tasolla, pinta pysyy neutraalina
4 =	Pinnankarheus ei muutu ja pinta pysyy neutraalina
5 =	Pinnankarheus paranee ja pinta pysyy neutraalina
Turvallisuusriskit:	
0 =	Puhdistusmenetelmän käyttö kohteessa ei ole turvallista
1 =	Turvallisuusriskejä, jotka vaativat erityistä huomiointia ja valmistelua
2 =	Puhdistaminen vaatii suojavälineet sekä erityiskoulutuksen
3 =	Puhdistamalla suojavälineiden kanssa, on olemassa pieniä turvallisuusriskejä
4 =	Puhdistaminen suojavälineiden kanssa on turvallista
5 =	Puhdistaminen on täysin turvallista, ilman erityistä suojautumista
Likapartikkeleiden irrotuskyky:	
0 =	Lika ei puhdistu
1 =	Kaikki lika puhdistuu heikosti
2 =	Kaikki lika puhdistuu osittain
3 =	Menetelmä ei puhdistu tietynlaista likaa
4 =	Menetelmä ei puhdistu täysin tietynlaista likaa
5 =	Kaikki lika irtoaa
Laitteen kuljetus & käyttö, Suomessa sekä ulkomailla:	
0 =	Laitteen kuljettaminen paperitehtaalle ei onnistu
1 =	Laitetta voidaan kuljettaa vain Suomessa, rajoitetusti
2 =	Laitetta voidaan kuljettaa vain Suomessa
3 =	Laitteen kuljetus ulkomaille aiheuttaa huomattavasti lisätöitä
4 =	Laitteen kuljetus ulkomaille aiheuttaa hieman lisätöitä
5 =	Laitteen kuljetus autossa ja lentokoneessa ei tuota mitään ongelmia
Luoksepäästävyys:	
0 =	Laitetta ei saa kuljetettua paperikoneympäristöön
1 =	Laitteen kuljettaminen perälaatikon läheisyyteen vaatii lisätoimenpiteitä
2 =	Laitteella yletetään vain perälaatikon suuaukole ja päälypinnoille
3 =	Huulikanavan ja kammioiden puhdistus onnistuvat
4 =	Vaikeasti luoksepäästävät rakenteet onnistuvat
5 =	Vaikeasti luoksepäästävät rakenteet, sekä putkimaiset kennorakenteet onnistuvat
Ympäristöhaitat & jälkipuhdistuksen tarve:	
0 =	Menetelmää ei voida käyttää ympäristöhaittojen takia
1 =	Vaatii mekaanista jälkipuhdistusta, erikoisvalmisteluja ympäristön suojaamiseen
2 =	Vaatii mekaanista jälkipuhdistusta ja/tai henkilön erikoissuojautumista

3 =	Vaatii jälkipuhdistuksen kemikaaleilla
4 =	Ei ympäristöhaittoja, huuhtelu vedellä riittää
5 =	Ei ympäristöhaittoja tai jälkipuhdistuksen tarvetta
Vuokraus & alihankinta:	
0 =	Laitetta tai puhdistuspalvelua ei voida vuokrata tai ostaa
1 =	Puhdistusta voidaan ostaa palveluna vain Suomessa, rajoitetusti
2 =	Puhdistusta voidaan ostaa palveluna vain Suomessa
3 =	Puhdistusta voidaan ostaa palveluna Suomessa ja tietyissä maissa rajoitetusti
4 =	Puhdistusta voidaan ostaa palveluna Suomessa ja yleisimmissä maissa
5 =	Puhdistusta voidaan ostaa palveluna Suomessa ja ulkomailla
Hintaluokka:	
0 =	>100 k€
1 =	<100 k€
2 =	<75 k€
3 =	<50 k€
4 =	<25 k€
5 =	<15 k€
Puhdistusnopeus & esivalmistelu:	
0 =	>24h
1 =	<24 h
2 =	<12 h
3 =	<10 h
4 =	<8 h
5 =	<4 h

Liite 3. Arviointikriteerien painoarvot

Kriteerien painoarvot										Yhteis- pisteet	Osuus kokonais- pisteistä	Painoarvo
1. Pinnanlaatu & vahingoittuminen	2. Likapartikkelien irrotuskyky	3. Laitteen kuljetus & käyttö, Suomessa sekä ulkomalla	4. Luoksepäästävyys	5. Turvallisuusriskit	6. Puhdistusnopeus & esivalmistelu	7. Vuokraus & alihankinta	8. Ympäristöhaitat & jälkipuhdistuksen tarve	9. Hintaluokka				
0	2	2	2	1	2	2	2	2		15	15/72	0,21
0	0	2	1	1	2	2	2	2		12	12/72	0,17
0	0	0	2	0	2	1	1	1		7	7/72	0,10
0	1	0	0	0	2	2	1	2		8	8/72	0,11
1	1	2	2	0	2	2	2	2		14	14/72	0,19
0	0	0	0	0	0	2	1	2		5	5/72	0,07
0	0	1	0	0	0	0	0	1		2	2/72	0,03
0	0	1	1	0	1	2	0	2		7	7/72	0,10
0	0	1	0	0	0	1	0	0		2	2/72	0,03
Samanväriset laatikot =>										72		1,00
yhteissumma = 2												
1-1 = tasapeli, vaatimukset ovat yhtä tärkeitä												
2-0 = pystysarakeen vaatimus voittaa vaakasarakeen												
0-2 = vaakasarakeen vaatimus voittaa pystysarakeen												
0 = keskeille ei syötetä arvoja												

Liite 4. Painotettu pistematriisi

Kriteerit	Painoarvo	Kuivajääpuhallus		Laserpuhdistus		Soodapuhallus		Korkeapaineesu		Kemikaalipesu	
		Ilman painoarvoa	Painotettu	Ilman painoarvoa	Painotettu	Ilman painoarvoa	Painotettu	Ilman painoarvoa	Painotettu	Ilman painoarvoa	Painotettu
1. Pinnanlaatu & vahingoittuminen	0,21	4	0,83	4	0,83	4	0,83	4	0,83	4	0,83
2. Likapartikkeleiden irrotuskyky	0,17	3	0,50	3	0,50	4	0,67	4	0,67	3	0,50
3. Laitteen kuljetus & käyttö, Suomessa sekä ulkomaillla	0,10	3	0,29	4	0,39	4	0,39	4	0,39	4	0,39
4. Luoksepäästävyys	0,11	4	0,44	3	0,33	4	0,44	4	0,44	5	0,56
5. Turvallisuusriskit	0,19	3	0,58	2	0,39	4	0,78	1	0,19	4	0,78
6. Puhdistusnopeus & esivalmistelu	0,07	4	0,28	5	0,35	2	0,14	5	0,35	4	0,28
7. Vuokraus & alihankinta	0,03	4	0,11	3	0,08	3	0,08	3	0,08	2	0,06
8. Ympäristöhaitat & jälkipuhdistuksen tarve	0,10	3	0,29	5	0,49	4	0,39	5	0,49	3	0,29
9. Hintaluokka	0,03	4	0,11	1	0,03	3	0,08	3	0,08	5	0,14
Kokonaispisteet		32,00		30,00		32,00		33,00		34,00	
Painotetut kokonaispisteet			3,44		3,39		3,81		3,53		3,82