



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

ROOSA-MAARIA MUNKKI

Sisätilan hygieniakonseptin vaikutus mikrobiympäristöön

Mikrobiologisten pintapuhtausnäytteiden
ottaminen ja tulosten luotettavuuden arviointi

HYVINVOINTITEKNOLOGIAN YAMK
TUTKINTO-OHJELMA
2025

TIIVISTELMÄ

Munkki, Roosa-Maaria: Sisätilan hygieniakonseptin vaikutus mikrobiympäristöön - Mikrobiologisten pintapuhtausnäytteiden ottaminen ja tulosten luotettavuuden arviointi
Opinnäytetyö, ylempi AMK
Hyvinvointiteknologia
Marraskuu 2025
Sivumäärä: 62

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin mikrobiologisten pintapuhtausnäytteiden tuloksia interventio- ja verrokkikohteissa osana HEAL-projektia (Healthier life with comprehensive hygiene concept). Projektin tavoitteena on kehittää sisätilahygieniaa kokonaisvaltaisesti hyödyntämällä antimikrobisia materiaaleja, kosketusvapaita ratkaisuja, ilmanpuhdistusteknologioita ja vesijärjestelmien hygienian hallintaa. Opinnäytetyön erityisenä tutkimuskysymyksenä oli arvioida, poikkeavatko konenäön ja manuaalisen laskennan tulokset toisistaan ja millä tekijöillä tulosten luotettavuutta voidaan parantaa.

Opinnäytetyö toteutettiin kvantitatiivisella tutkimusasetelmalla vertaillen interventio- ja verrokkiryhmien näytteiden tuloksia kahdella eri laskentamenetelmällä. Näytteitä kerättiin erilaisilta pinnoilta standardoitujen ohjeiden mukaisesti. Tulokset analysoitiin sekä manuaalisella että konenäköön perustuvalla laskennalla. Luotettavuutta arvioitiin rinnakkaisnäytteillä, laimennoksilla ja kontrollinäytteillä. Tulosten analysoinnissa käytettiin tilastollisia menetelmiä, kuten Wilcoxonin signed-rank testiä sekä Bland–Altman-analyysiä.

Tulokset osoittivat, että konenäkö aliarvioi systemaattisesti manuaalilaskentaa. Laskettavuusalueella 15–150 pmy/malja menetelmien välinen ero pieneni ja vaihteluväli kaventui, mutta ero säilyi tilastollisesti merkitseväenä. Alle 15 pmy/maljalla ja yli 150 pmy/maljalla hajonta kasvoi, mikä lisäsi virheriskiä.

Opinnäytetyön tulosten perusteella voidaan todeta, että konenäkö soveltuu luotettavasti manuaalisen laskennan rinnalle erityisesti laskettavuusalueella, mikä tehostaa mikrobiologisten analyysien toteuttamista. Mikrobiologisten määritysten luotettavuutta voidaan parantaa noudattamalla maljan kokoon suhteutettua laskettavuusaluetta, käyttämällä rinnakkaismaljoja, laimennos-sarjoja, raportoimalla tulokset standardien mukaisesti ja varmistamalla ääriarvot manuaalisella laskennalla.

Avainsanat: antimikrobiset materiaalit, HEAL-projekti, konenäkö, manuaalilaskenta, mikrobiologiset puhtausnäytteet, sisätilahygienia

Abstract

Munkki, Roosa-Maaria: The Impact of Indoor Hygiene Concept on the Microbial Environment - Sampling of microbiological surface-cleanliness and assessment of the reliability of results

Master's thesis

Degree program in Welfare Technology

November 2025

Number of pages: 62

This master's thesis examined microbiological surface-cleanliness samples collected from intervention and control sites within the HEAL project (Healthier life with comprehensive hygiene concept). The aim of the project is to improve indoor hygiene comprehensively by utilizing antimicrobial materials, touch-free solutions, air purification technologies and hygienic water system management. The specific research questions were whether the results produced by computer vision differ from those obtained by manual counting and by which means the reliability of microbiological determinations can be improved.

The study was carried out using a quantitative research design by comparing results from intervention and control groups using two counting methods. Samples were collected from various surfaces using standardized methods. Colony counts were obtained both by manual counting and by a computer-vision-based system. Reliability was assessed using duplicate plates, dilutions and control samples. Statistical analyses included the Wilcoxon signed-rank test and Bland–Altman analysis.

The results showed that computer vision systematically underestimated the manual counts. Within the plate-size–adjusted working count range of 15–150 CFU/plate, the difference between the methods decreased and the limits of agreement narrowed, but the difference remained statistically significant. Below 15 CFU/plate and above 150 CFU/plate, variability increased, which raised the risk of error.

Based on the findings, computer vision can be considered a reliable method alongside manual counting, particularly within the defined working count range, and it can improve the efficiency of microbiological analyses. The reliability of microbiological determinations can be enhanced especially by adhering to the plate-size–adjusted working count range, using replicate plates and dilutions, reporting results according to relevant standards and confirming extreme values by manual counting.

Keywords: antimicrobial materials, HEAL project, computer vision, manual counting, microbiological cleanliness samples, indoor hygiene

ALKUSANAT

Halutessani kehittää sekä kouluttaa itseäni lisää päädyin valitsemaan monien hyvien vaihtoehtojen joukosta koulutusohjelmakseni Hyvinvointiteknologian YAMK-tutkinnon. Hyvinvointiteknologia on kovaa vauhtia kehittyvä teknologian osaamisalue ja tämän tutkinnon koen vahvistavan valmiuksia työskennellä erilaisissa teknologisissa ympäristöissä sekä projekteissa.

YAMK-opinnäytetyössäni pääsin mukaan mielenkiintoiseen tutkimusprojektiin ja sitä kautta näkemään, miten erilaisilla sisätilahygieniaa parantavilla ratkaisuilla voidaan vaikuttaa mikrobiympäristöön erilaisissa tiloissa. Lämmin kiitos tähän tutkimusprojektiin tutustuttamisesta sekä tuesta ja kannustuksesta tässä opinnäytetyöprojektissa; projektipäällikkö sekä johtava tutkija Merja Ahonen, tutkija Meija Kivisaari ja tutkija Jussi Tamminen.

Porissa, marraskuu 2025

Roosa-Maaria Munkki

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	8
2 OPINNÄYTETYÖN TAVOITTEET JA AIHEEN RAJAAMINEN.....	11
3 SISÄTILAN HYGIENIAA TEHOSTAVAT HYVINVOINTITEKNOLOGISET RATKAISUT.....	13
3.1 Kosketuspinnat.....	14
3.2 Sisäilma.....	16
3.3 Vesijärjestelmät.....	16
4 HEAL-PROJEKTI.....	18
4.1 Tutkimuskohteet.....	18
4.2 Kohteisiin asennetut sisätilahygieniaa tukevat ratkaisut.....	19
5 MIKROBIOLOGINEN NÄKÖKULMA	22
5.1 Mikrobiologisten puhtausnäytteiden periaatteet	22
5.2 Laskettavuus ja menetelmien vertailu.....	22
5.3 Mittausepävarmuus ja laadunvarmistus	23
5.4 Kansainväliset ja tulevaisuuden näkökulmat	24
6 OPINNÄYTETYÖSSÄ KÄYTETYT MENETELMÄT JA TOTEUTUS	26
6.1 Tutkimusprosessin suunnittelu	28
6.2 Näytteenotto, näytteiden käsittely ja laadunvarmistus.....	29
6.3 Manuaalilaskennan ja konenäön menetelmävertailu	31
6.4 Tilastolliset analyysit.....	32
7 TULOKSET	34
7.1 Aineiston rajaus.....	34
7.2 Konenäön ja manuaalilaskennan vertailu	35
7.2.1 Kaikki näytteet	35
7.2.2 Laskettavuusalueen näytteet	36
7.2.3 Maljakohtainen tarkastelu	37
7.2.4 Kuvaajien tarkastelu	37
7.3 Tulosten luotettavuuden arviointi.....	40
7.4 Mikrobiologisten määritysten luotettavuuden ja laadun parantaminen	40
7.5 Tulosten yhteenveto	42
8 POHDINTA	44
8.1 Tutkimustulosten tarkastelu.....	44
8.2 Tulosten luotettavuus ja rajoitteet.....	45
8.3 Mikrobiologisten määritysten luotettavuuden parantaminen.....	46
8.4 Tulosten käytännön merkitys.....	47

8.5 Jatkotutkimus- ja kehittämis ehdotukset	47
8.6 Oma oppiminen ja asiantuntijuuden kehittyminen	48
8.7 Opinnäytetyön luotettavuus ja eettinen näkökulma	48
9 JOHTOPÄÄTÖKSET	49
LÄHTEET	51
LIITE 1. NÄYTTEENOTON 4.11.24 TULOKSET	56
LIITE 2. NÄYTTEENOTON 15.4.24 TULOKSET	57
LIITE 3. NÄYTTEENOTON 18.3.24 TULOKSET	58
LIITE 4. NÄYTTEENOTON 12.4.24 TULOKSET	59
LIITE 5. TYÖSSÄ HUOMIOIDUT LAIMENNOSNÄYTTEET	60
LIITE 6. TULOKSIEN YHTEENVETO	61
LIITE 7. KOONTITULOKSET MENETELMÄVERTAILUSTA	62

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Bias = menetelmien keskimääräinen ero (Kone – Manuaali)

CFU = Colony Forming Unit, pesäkkeen muodostava yksikkö (pmy)

HEAL = Healthier life with comprehensive indoor hygiene concept-projekti

ISO = International Organization for Standardization

LoA = limits of agreement, yhdenmukaisuusrajat Bland–Altman-analyysissä

n = havaintojen / mittausparien lukumäärä

p = p-arvo, tilastollisen merkitsevyyden mitta

pmy = pesäkkeen muodostava yksikkö

pmy/cm² = pesäkkeen muodostavaa yksikköä pinta-alaa kohden

SD = standard deviation, keskihajonta

1 JOHDANTO

Organisaatioiden tärkeänä tavoitteena on kustannustehokkuuden saavuttaminen, jotta organisaation strategiaa voidaan toteuttaa parhaalla mahdollisella tavalla. Infektioista johtuvat sairauspoissaolot aiheuttavat merkittäviä kustannuksia työnantajille ja yhteiskunnalle, mutta ne heikentävät myös työntekijöiden hyvinvointia ja organisaatioiden toimivuutta sekä kustannustehokkuutta. (Anderssen, 2010, s. 1587–1588; Asaria ym., 2016; Chadi & Goerke, 2018.) Suuri osa eri alojen työntekijöiden lyhytaikaisista työpoissaoloista johtuu ylähengitystieinfektioista (Hiironen ym., 2020). Sairastamisesta johtuvia poissaoloja pyritään estämään parantamalla sisätilan hygieniaa ja ehkäisemällä infektioiden eli taudinaiheuttajien leviämistä. Kustannustehokkuus ei kuitenkaan saa olla ainoa syy sisätilan hygienian parantamiseen. Terveempi elämä on koko väestön oikeus ja sitä tulee tavoitella ikäryhmästä riippumatta. (Horve ym., 2019 s. 219; RT 103191, 2020, s. 3.)

Infektioiden tartuntareittejä ovat ensisijaisesti kosketus-, pisara- ja ilmanvälitteinen leviäminen. Kosketustartunta tapahtuu usein käsien ja pintojen välityksellä, mikä tekee hyvistä siivouskäytännöistä ja pinta- sekä käsihygieniasta keskeisiä tartuntojen ehkäisykeinoja. Pissartartunta tapahtuu, kun hengitystieeritteitä sisältävät pisarat leviävät lähietäisyydellä esimerkiksi yskäisyn tai aivastuksen yhteydessä. Ilmatartunnassa mikrobit kulkeutuvat pieninä aerosolihiukkasina ilman välityksellä ja voivat pysyä ilmassa pitkiä aikoja, mikä korostaa ilmanvaihdon ja ilmanpuhdistuksen merkitystä (Lounamo ym., 2014, s. 793; Horve ym., 2019, s. 221).

Infektioiden leviämisen ehkäisemisen yksi merkittävimmistä keinoista on mikrobiologisen puhtauden eli hygienian parantaminen sekä ylläpitäminen (Salonen ym., 2022, s. 2, Salonen ym., 2023, s. 2). Hygienia on aiemmin käsitteenä mielletty liittyvän lähinnä terveydenhuoltoon. Hyvää käsihygieniaa ja hyviä

siivouskäytäntöjä noudatetaan kuitenkin kaikkialla. Näiden avulla vähennetään kosketuspintojen välityksellä tarttuvia mikrobeja ja näin ylläpidetään hyvää hygieniatasoa. Sisätilan hygieniaa parantavat hyvinvointiteknologiset ratkaisut ovat puhtauden parantamisen lisäksi järkeviä sekä kustannustehokkuutta lisääviä. Kun infektioiden leviämistä saadaan vähennettyä jo päiväkoissa sekä kouluissa, vähentää tämä lasten sekä henkilökunnan sairauspoissaoloja ja näin myös vanhempien työpoissaoloja sekä infektioiden leviämistä edelleen. (Cassidy ym., 2020, s. 2; RT 103191, 2020, s. 1–2; Salonen ym., 2022; WHO, 2022, Chapter 5.)

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos määrittelee hyvinvointiteknologiaksi kaikki ei lääkinälliset laitteet, joiden käyttökohteena on ihminen ja käyttötarkoituksena on ehkäistä sairauksia sekä edistää terveyttä. Tähän määritelmään lukeutuvat myös esimerkiksi erilaiset mikrobeja hylkivät materiaalit sekä pinnoitteet. (Lilja, 2017; THL, 2021.) Kari Lilja on vuonna 2017 julkaistussa tutkimuksessaan koonnut konsensuksen eri kirjoittajien lähteistä: ”Hyvinvointiteknologia on teknologiaa, jonka tavoitteena on auttaa ihmisen suoriutumista arjen haasteista.”. Liljan tutkimuksessaan käyttämässä useissa lähteissä hyvinvointiteknologialle liitetään myös termit kehittynyt sekä älykäs, mutta jälkimmäistä ei pidetä ehdottomana edellytyksen termin määritelmälle. Hyvinvointiteknologisten ratkaisuja käyttämisessä ja suunnittelussa tulisi myös aina huomioida käytettävyys, saavutettavuus sekä esteettömyys, jotta hyvinvointiteknologia on tarkoituksensa mukaisesti kohdennettu kaikille ja hyödyttää kaikkia. (Lilja, 2017; THL, 2021.)

Hyvinvointiteknologia kattaa laajan kirjon ratkaisuja, joilla pyritään edistämään väestön terveyttä ja vähentämään sairastavuutta. Suomessa hyvinvointiteknologian kehittäminen on osa kansallisia strategioita, ja sen avulla pyritään vastaamaan ikääntyvän väestön ja terveydenhuollon resurssipulan haasteisiin. (THL, 2021.) Kansainvälisesti erilaiset teknologiset ratkaisut, kuten antimikrobiset materiaalit, kosketusvapaat kalusteet ja ilmanpuhdistusratkaisut, ovat tärkeä osa tartuntatautien hallintaa. Niiden avulla voidaan vähentää sairastavuutta, lisätä väestön terveyttä ja parantaa kustannustehokkuutta esimerkiksi työpoissaolojen vähenemisen kautta. (WHO, 2022, Chapter 5.)

Hyvinvointiteknologisten ratkaisujen vaikutusta mikrobiologiseen puhtauteen eri tutkimusympäristöissä voidaan seurata ottamalla sekä analysoimalla mikrobiologisia puhtausnäytteitä. Puhtausnäytteitä voidaan ottaa suorilla tai epäsuorilla metodeilla erilaisilta pinnoilta, ilmasta sekä vesijärjestelmistä. Suoria metodeja ovat suoraan viljelymaljoille, filmeille tai muille kasvatuspinnoille kasvatettavaksi kerättävät näytteet. Epäsuorassa metodissa käytetään esimerkiksi vanutikkuja, sieniä tai muita pyyhkimisen mahdollistavia välineitä näytteiden ottamiseen. Epäsuorassa metodissa näyte pitää toisessa vaiheessa eristää näytteenottovälineestä, jotta se saadaan analysoitua. (Rawlinson ym., 2019, s. 364–365.) Puhtausnäytteiden analysointiin voidaan käyttää manuaalisia laskentatekniikoita sekä konenäön avulla suoritettavia analyyseja (Hogekamp ym. 2020, s. 1–3).

Tämä tutkimuksellinen opinnäytetyö toteutettiin osana Satakunnan ammattikorkeakoulun tutkimuskeskus WANDER:in Healthier life with comprehensive hygiene concept (HEAL) -projektia. Projektin tavoitteena on terveempi elämä ja sairastuvuuden vähentäminen kokonaisvaltaisen sisätilan hygieniakonseptin avulla. (Tutkimuskeskus WANDER, n.d.) Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin erityisesti sitä, miten konenäön ja manuaalilaskennan tulokset erosivat toisistaan mikrobiologisissa pintapuhtausnäytteissä ja miten tulosten luotettavuutta voidaan parantaa

2 OPINNÄYTETYÖN TAVOITTEET JA AIHEEN RAJAAMINEN

HEAL-projektin tarkoitus on tuottaa uutta tutkimustietoa terveysturvalliseen sisätilan hygienian konseptiin ottaen huomioon sisäilman, pinnat sekä vesijärjestelmät. Projektia rahoittaa Opetus- ja kulttuuriministeriö, ja sen kesto on 01/2022–12/2025. Projektin tavoitteena on vähentää sairastuvuutta ehkäisemällä infektioautien leviämistä sisätiloissa ja tätä kautta vähentää sairauspäiviä. Lisäksi halutaan laajentaa konseptia hyödyntävien yritysten liiketoimintaa sekä vientiä ja luoda uusia liiketoimintamahdollisuuksia. Apuna käytetään uusia monitoroinnin, koneäön sekä data-analytiikan työkaluja. (Tutkimuskeskus WANDER, n.d.; HEAL - Healthier life with comprehensive indoor hygiene concept, 2021.)

Projektissa on toteutettu Living Lab-tutkimuskohteet, päiväkotien sekä vanhusten palveluasumisen yksiköihin, yhteistyössä eri sisätilan hygienian lisääviä ratkaisuja tarjoavien yritysten kanssa. Kohteita tutkitaan ottamalla mikrobiologisia pintapuhtausnäytteitä sekä keräämällä sairastuvuustietoja, joiden avulla saadaan näyttöä konseptin vaikutuksesta sairauspoissaoloihin. (Tutkimuskeskus WANDER, n.d.; HEAL - Healthier life with comprehensive indoor hygiene concept, 2021.)

Tämän opinnäytetyön tarkoitus projektissa oli osallistua mikrobiologisten pintapuhtausnäytteiden ottamiseen, näytteiden käsittelyyn ja tulosten analysoimiseen sekä laadunarviointiin. Projektin kokonaisuuden ymmärtäminen oli tärkeää, jotta näytteiden tuloksia sekä niiden laatua sekä luotettavuutta oli mahdollista arvioida. Opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa aineistoa, jota hyödynnetään HEAL-projektin tavoitteiden saavuttamisessa.

Näytteet otettiin mikrobiologisina pintapuhtausnäytteinä HEAL-projektin tutkimuskohteiden testi- eli interventio sekä kontrolliyksiköistä. Interventioyksiköillä tarkoitetaan niitä kohteita, joihin asennettiin sisätilahygenian tukevia ratkaisuja, kuten antimikrobisia pintamateriaaleja, kosketusvapaita vesikalusteita ja ilmanpuhdistusteknologioita. Kontrolliyksiköt puolestaan toimivat

vertailuryhmänä, eikä niihin tehty vastaavia asennuksia, vaan niissä käytettiin vastaavia tavanomaisia ratkaisuja ja materiaaleja. Interventio–kontrolliasetelma mahdollistaa sen arvioinnin, liittyvätkö havaitut erot juuri toteutettuihin ratkaisuihin eikä esimerkiksi ympäristöolosuhteiden luonnolliseen vaihteluun (Tietoarkisto, n.d.; (LoBiondo-Wood, Haber & Berry 2018, s. 64–67.) Kohteiden näytteidenottopaikat oli määritelty HEAL-projektin tarkoitusten mukaisesti. Näytteet viljeltiin sekä tulokset tulkittiin laaditun protokollan ohjeiden mukaan. (Tutkimuskeskus WANDER, n.d.; HEAL - Healthier life with comprehensive indoor hygiene concept, 2021.)

Opinnäytetyön avulla pyrittiin vastaamaan tutkimuskysymyksiin:

1. Onko mikrobiologisten pintapuhtausnäytteiden tuloksilla eroavaisuutta konenäön sekä manuaalilaskennan menetelmien välillä?
2. Millä tekijöillä voidaan parantaa mikrobiologisten pintapuhtausnäytteiden tulosten luotettavuutta sekä laadukkuutta?

Opinnäytetyön tavoitteena oli arvioida otettujen pintapuhtausnäytteiden tulosten laatua ja luotettavuutta. Tavoitteena oli myös löytää keinoja parantaa mitaustulosten tarkkuutta ja näin auttaa parantamaan tutkimustulosten luotettavuutta. Tuotettua tietoa voidaan hyödyntää HEAL-projektin tavoitteiden saavuttamisessa sekä tulevissa WANDER:in projekteissa. (Tutkimuskeskus WANDER, n.d.)

3 SISÄTILAN HYGIENIAA TEHOSTAVAT HYVINVOINTITEKNOLOGISET RATKAISUT

Ihmiset viettävät suuren osan elämästään erilaisissa sisätiloissa, joten pintojen, sisäilman ja vesijärjestelmien hallittu kokonaisuus vaikuttaa ratkaisevasti tartuntatautien ehkäisyyn (Horve ym., 2019, s. 219; RT 103191, 2020, s. 5; Salonen ym., 2022, s. 2). Sisätila koostuu kolmesta eri elementistä; pinnoista, sisäilmasta ja kiinteistön vesijärjestelmästä. Hygieeninen sisätila on paikka, jossa tilan terveellisyyttä ja puhtautta pyritään edistämään näitä tukevilla hyvinvointiteknologisilla ratkaisuilla sekä tuotteilla, kuitenkin samalla huolehtien toimivista puhdistus- ja ylläpitokäytännöistä. (RT 103191, 2020, s. 2–5.; Salonen ym., 2023, s. 3.) Sisätilan hygieniaan vaikuttavat monet eri asiat. Tilojen materiaalivalinnat, millaisia pintoja tiloista löytyy, miten paljon tilaa käytetään, ovatko olosuhteet otolliset mikrobien kasvamiselle sekä tartuntakykyisinä säilymiselle ja miten tilaa huolletaan sekä ylläpidetään, tulisi ottaa huomioon jo tilojen suunnittelu- sekä rakennusvaiheessa (Horve ym., 2019, s. 221–222; RT 103191, 2020, s. 3, Salonen ym., 2023, s. 6).

Mikrobien kykyyn aiheuttaa infektioita vaikuttavat useat eri tekijät, kuten mikrobien määrä suhteessa infektiiviseen annokseen, mikrobin kyky säilyä elävänä erilaisissa ympäristöissä, etäisyys tartuttajaan, tartuntareitti ja erilaiset erikoispiirteet. Eri mikrobien tartuttavuus vaihtelee huomattavasti. Infektioiden leviämisen estämiseksi on myös syytä tietää siirtyvätkö mikrobit kosketuksen, pisaroiden, ilman vai veden välityksellä ympäristöstä ihmiseen ja ihmisten välillä. (Lounamo ym., 2014, s. 793.)

Sisätiloissa olevia ihmisen terveydelle haitallisia tekijöitä, kuten patogeenisia eli sairauksia aiheuttavia mikrobeja pyritään estämään hyvällä toiminnallisella sekä kokonaissuunnittelulla, tarkoituksenmukaisella siivoamisella sekä ylläpidolla, antimikrobisilla materiaaleilla ja erilaisilla muilla hyvinvointiteknologisilla ratkaisuilla. Antimikrobisella tarkoitetaan asiaa tai ainetta, jolla on mikrobien kasvua, lisääntymistä tai kiinnittymistä estävä tai tuhoava vaikutus. (Cassidy ym., 2020, s. 3; RT 103191, 2020, s. 4.) Olemassa olevat sisätilan

hygieniaratkaisut keskittyvät yleensä vain yhteen osaan sisätilan kolmesta osa-alueesta. Kun halutaan päästä parhaaseen mahdolliseen lopputulokseen sisätilan hygieniassa, on keskityttävä kaikkiin kolmeen osa-alueeseen ja mietittävä parhaat yhdessä toimivat hyvinvointiteknologiset ratkaisut. (Salonen ym., 2022, s. 5.)

Tutkimukset ovat kuitenkin painottaneet, että teknisten ratkaisujen hyödyt realisoituvat vasta, kun ne yhdistetään oikeisiin käyttö- ja ylläpitokäytäntöihin. Näiden ratkaisujen käyttöönotto vaatii huolellista suunnittelua ja ohjeistusta, jotta niiden hyödyt saadaan realisoitua käytännön ympäristöissä. (Dunne ym., 2018, s. 251; Blomberg ym., 2022, s. 16–17)

3.1 Kosketuspinnat

Kosketuspintojen kautta tapahtuu herkästi mikrobien tarttumista (Salonen ym., 2022, s. 3). Tätä voidaan vähentää noudattamalla hyviä siivouskäytäntöjä ja lisäksi poistamalla tiloista pintoja, joihin kosketaan. Automatisoituja ratkaisuja on olemassa esimerkiksi ovien toimintamekanismeihin sekä valaistukseen liittyen. Erityisesti julkisissa tiloissa sekä korkean hygieniavaatimuksen tiloissa kosketusvapaat ratkaisut, kuten kosketusvapaat hanat sekä wc-istuinten kosketusvapaa huuhtelu ovat hygieniaa tehostavia hyvinvointiteknologiasia ratkaisuja. Automaattikkaan perustuvien tuotteiden toimintaa ajatellen on tärkeää aina suunnitella sekä toteuttaa huolto- ja ylläpito, jotta ratkaisujen toimivuuden ja turvallisuuden varmistamiseksi. (RT 103191, 2020, s. 5.)

Myös antimikrobisia materiaaleja käyttämällä voidaan pyrkiä vähentämään kosketuspintojen välityksellä tarttuvia mikrobeja. Antimikrobiset materiaalit eivät korvaa säännöllistä puhtaana pitoa, vaan toimivat parhaiten puhtaalla pinnalla. Hyvät siivouskäytännöt estävät likakerrosten kertymisen ja parantavat näin antimikrobisten materiaalien toimintaa. (Cassidy ym., 2020, s. 2; Adlhart ym., 2018, s. 243–244; Blomberg ym., 2022, s. 14–16.) Antimikrobisia pintoja

sekä pinnoitteita on tutkittu paljon, mutta tutkimuksia niiden käytöstä julkisissa tiloissa osana rakennusteknisiä ratkaisuja on vain vähän. Suurin osa näistä tutkimuksista on toteutettu vain vakioiduissa laboratorio-olosuhteissa, joten käytännönoolosuhteista tarvitaan vielä lisää tutkimusnäyttöä. (RT 103191, 2020, s. 4.; Dunne ym., 2018, s. 251; Bäumlner ym., 2021, s. 546–547.)

Tutkituin, tunnetuin ja tehokkain antimikrobinen pinnoilla käytettävä aine on kupari (Cu) (Bäumlner ym., 2021, s. 546; Colin ym., 2018, s. 7–9; Inkinen ym., 2016, s. 20–23). Kuparin tehoa ja ominaisuuksia metallisena kuparina, erilaisina seoksina ja erilaisina yhdisteinä käytettynä antimikrobisena materiaalina on tutkittu jo pitkään. Kuparin ioneilla on kyky tappaa useita eri mikrobeja solukalvoa vahingoittamalla. (Colin ym., 2018, s. 2.; Inkinen ym., 2016, s. 20–23.)

Muita tunnettuja, mutta vähemmän tutkittuja, antimikrobisia materiaaleja ovat hopea (Ag), muiden metallien seokset tai ionit, puu, erilaiset lääketieteessä sekä elintarviketeollisuudessa käytettävät orgaaniset yhdisteet ja nanomateriaalit (RT 103191, 2020, s. 4). Hopeaa hyödynnetään monissa arkipäiväisissä tavaroissa, kuten laastareissa tai erilaisissa pinnoitteissa. Hopea toimii tehokkaimmin erilaisina yhdisteinä. (Blomberg ym., 2022, s.16–17; RT 103191, 2020, s. 4.) Erilaiset nanomateriaalit, joita voidaan käyttää pinnoilla, tekstiileissä tai filttareissa, koostuvat usein hopean, sinkin, kuparin tai titaanin erilaisista yhdisteistä (Ivask ym., 2022, s. 1–2).

Nanokokoisten metallien oksidien antimikrobinen teho perustuu lämpö- tai valokatalyysipinnoitukseen. Lämpökatalyysi tarvitsee toimintansa aktivoitumiseen erittäin korkeita lämpötiloja, kun taas valokatalyysipinnoituksen toiminnan aktivoitumiseen riittää herkistimen lisäksi tyypillisesti esimerkiksi uv-valo. (Shah & Wenxin, 2019, s. 2; McEvoy & Zhang, 2014, s. 63–64.)

3.2 Sisäilma

Ilman välityksellä mikrobirtartuntoja tapahtuu erityisesti sisätiloissa, joissa on huono ilmanvaihto. Ilmanvaihtojärjestelmien oikeanlaisella käytöllä, säännöllisellä puhdistamisella sekä huollolla varmistetaan sisäilman parempi hygienia (RT 103191, 2020, s. 5). Ilman kautta leviävien tautien hallitsemiseksi tulisi kehittää edistyneitä sekä energiatehokkaita ilmanpuhdistuslaitteita. Ilmanpuhdistuslaitteet on tutkimuksissa todettu tehokkaiksi sisäilman epäpuhtauksien poistamisessa. (Feng ym., 2021, s. 1–2; Salonen ym., 2022, s. 4)

Ilmanpuhdistuslaitteet jaetaan kahteen kategoriaan niiden toimintaperiaatteidensa perusteella: fysikaaliskemiallisiin sekä biokemiallisiin. Fysikaaliskemiallisien teknologioiden toiminta perustuu esimerkiksi suodattamiseen, lämpökäsittelyyn, ultraviolettivaloon tai otsonaatioon. Biokemiallisissa ilmanpuhdistusratkaisuissa käytettävät aineet voidaan jakaa kahteen ryhmään: entsyymeihin ja kasviperäisiin antimikrobisiin yhdisteisiin. Entsyymipohjaisissa liuoksissa hyödynnetään tyypillisesti proteaaseja, lipaaseja ja amylaaseja sekä orgaanisia happoja (esimerkiksi etikka- ja sitruunahappo). Nämä hajottavat mikrobien solukalvoja ja biofilmejä ja tehostavat näin desinfioivaa vaikutusta (Vidalia ym. 2023). Kasviperäisissä ilmanpuhdistusratkaisuissa taas käytetään usein eteerisiä öljyjä tai kasviuutteita, kuten teepuu-, eukalyptus-, rosmariini- ja sitrusuutteita. Niiden haihtuvat yhdisteet (terpeenit ja fenoliset yhdisteet) sitoutuvat suodatinmateriaaliin ja vähentävät ilmassa kulkeutuvien bakteerien määrää sekä epämiellyttäviä hajuja (Byun ym. 2020). Aktiivihiihkeräimen sisältävät ilmanpuhdistimet poistavat ilmasta myös kaasut sekä hajut. (Song ym., 2022; Genano® 525, nd.)

3.3 Vesijärjestelmät

Vesijärjestelmissä mikrobiologisia ongelmia aiheuttavat erityisesti putkien sisäpinnoille muodostuvat saostumat eli biofilmit sekä veden seisominen eli stagnaatio putkistoissa. Biofilmit ovat usein tiukasti pintaan kiinnittyviä ja vaikeasti tuhottavia mikrobikertymiä, jotka voivat toimia kasvualustana

patogeenisille bakteereille ja lisätä tartuntariskiä. Näiden kertymien hallinta edellyttää sekä teknisiä ratkaisuja että käyttö- ja huoltokäytäntöjen optimointia. Keskeisiä keinoja ovat veden lämpötilan ja virtausolosuhteiden säätely sekä putkistojen ikääntymiseen liittyvien ongelmakohtien ennakoiva kunnossapito (RT 103191, 2020, s. 5; Salonen ym., 2022, s. 4–5). Legionellabakteerin kasvun ehkäisemiseksi suositellaan, että kuuman veden lämpötila pidetään yli 60 °C:ssa ja kylmävesi alle 20 °C:ssa. Lisäksi vesijärjestelmien säännöllinen veden juoksutus ehkäisee seisovan veden muodostumista ja hillitsee mikrobien lisääntymistä, mikä on erityisen tärkeää tiloissa, joissa käyttöaste vaihtelee, kuten päiväkodeissa ja hoivayksiköissä (Rawlinson ym., 2019, s. 364–365; WHO, 2022, Chapter 4–5). Yhdessä nämä ratkaisut tukevat vesijärjestelmien turvallisuutta ja vähentävät sisäympäristöön liittyviä terveystriskejä.

Hygieniaa voidaan parantaa useilla hyvinvointiteknologisilla ja teknisillä ratkaisuilla. Kosketusvapaat hanat vähentävät kosketuspintojen kautta välittyvien mikrobien leviämistä ja tukevat veden vaihtuvuutta erityisesti, jos ne sisältävät automaattisen hygieeni flush-toiminnon, joka estää veden stagnaation. Lattia-kaivojen rakenteella on merkitystä veden poistumisen tehokkuudessa: helposti puhdistettavat ja itsestään virtausta edistävät mallit, voivat vähentää epäpuhdistusten kertymistä ja mikrobiologisia riskejä. (Oras, 2025; Chicago Faucets, 2023).

4 HEAL-PROJEKTI

SAMKin tutkimuskeskus WANDER on tehnyt sisätilojen hygienian tutkimusta yli 10 vuoden ajan. Tutkimusvuosien aikana WANDER on luonut yhdessä sidosryhmien kanssa uudenlaisen sisätilojen hygienian (Indoor Hygiene, IH) konseptin (Salonen ym., 2022; Salonen ym., 2023). Tutkimuksissa on hyödynnetty Living Lab-tutkimuskohteiden käyttöä ja yhteistyötä yritysten sekä kansainvälisten kumppaneiden kanssa.

HEAL-hanke rakentuu WANDER:in pitkäaikaisen asiantuntemuksen ja edistyneiden teknologioiden, kuten antimikrobisten pinnoitteiden ja tekoälyratkaisujen, pohjalle. HEAL-hanke tukee SAMK:n strategisia painopisteitä, joita ovat automaatio, robotiikka, tekoäly ja hyvinvointiteknologia. Projekti asemoituu osaksi SAMK:n visiota toimia yhteistyön keskipisteenä työmarkkinoilla, tutkimuksessa ja koulutuksessa. (HEAL - Healthier life with comprehensive indoor hygiene concept, 2021.)

4.1 Tutkimuskohteet

Tutkimuskohteina olivat Satakunnassa sijaitsevat vanhustenpalveluasumisen yksiköt ja päiväkotiympäristö, joissa arvioitiin sisätilahygieniakonseptin ratkaisuja ja niiden vaikutuksia mikrobiologiseen puhtauteen. Kohteet jaettiin interventio- ja verrokkiryhmiin HEAL-projektin tutkimusohjeiden mukaisesti (HEAL-projekti, 2022).

Interventiokohteissa oli toteutettu useita hygieniaa tukevia ratkaisuja, jotka pohjautuivat HEAL-projektin sisätilahygienia-konseptiin. Vesijärjestelmien hygienian parantamiseksi otettiin käyttöön automaattijuoksuotteiset hanat. Pintahygieniaa vahvistettiin vesikalusteiden kosketusvapailta ratkaisuilla ja antimikrobisella pinnoitteella, joka aktivoituu valon avulla. Lisäksi kohteisiin sijoitettiin siirrettäviä ilmanpuhdistimia ja ilmanlaatusensoreita sisäilman laadun seuramiseksi. Päiväkotikohteessa toteutettiin pinnoituksia ja ilmanlaadun seuranta, mutta lattiakaivoasennuksia ei tehty. Verrokkikohteissa puolestaan

käytössä olivat tavanomaiset pintamateriaalit, vesikalusteet ja ilmanpuhdistusratkaisut ilman hygieniaa parantavia lisäasennuksia. (HEAL, 2021; HEAL-projekti, 2022).

Interventio- ja verrokkikohteet olivat rakenteellisesti samanlaisia. Kohteiden pohjaratkaisut, kalustukset sekä käytöt vastasivat toisiaan ja lisäksi tiloja käytti sama määrä suunnilleen saman ikäluokan henkilöitä, kohteen mukaan lapsia tai aikuisia. Näiden avulla mahdollistettiin vertailu interventiokohteiden kanssa ja voitiin arvioida, miten konseptin mukaiset ratkaisut vaikuttavat mikrobiologiseen puhtauteen ja sisäympäristön terveysturvallisuuteen (HEAL, 2021; HEAL-projekti, 2022).

4.2 Kohteisiin asennetut sisätilahygieniaa tukevat ratkaisut

HEAL-projektissa asennetut sisätilahygieniaa tukevat ratkaisut on kuvattu taulukossa 1. Asennukset kattoivat kosketuspinnat, vesikalusteet sekä sisäilman hallinnan. Ratkaisujen luokittelu pohjautui Salonen ym. (2023) esittämään viitekehukseen, ja kohdekohtaiset kokoonpanot määriteltiin HEAL-projektin asennusdokumentaation perusteella (HEAL, 2021). Vaikutusten varmentamiseksi laadittiin näytteiden keräykseen sekä analysointiin tarkat käytännöt, joissa korostettiin laskettavuusalueen noudattamista, rinnakkaismaljoja, laimennusten tekemistä ja kontrollien käyttöä (ISO 19036:2019; ISO 7218:2024; Rawlinson ym., 2019, s. 364–365). Kohteisiin toteutetut ratkaisut on esitetty tiivistetysti taulukossa 1, jossa VPA:lla tarkoitetaan vanhustenpalveluasumisen yksikköjä ja PK:lla päiväkotia

Ratkaisu / teknologia	Tuotetyyppi	Aktiivinen komponentti	VPA	PK
Antimikrobiset pinnat	Ovenkahvat (antimikrobinen maali)	Ag	58	26
	Pöydät (antimikrobinen pinnoite)	Ag	16	0
Valokatalyyttiset antimikrobiset pinnoitteet	TiO ₂ -pinnoite (coating)	TiO ₂	kyllä	kyllä
Kosketusvapaa ratkaisut	Hanat (infrapunaohjaus, automaattijuoksutus)	—	17	6
Sisäilma-ratkaisut	ESP-ilmanpuhdistimet	Sähköstaattinen suodatin	4	1
	Ilmanlaatusensorit	—	kyllä	kyllä
	Sinivaloteknologia	Valaisinratkaisu	0	1

Taulukko 1. Valitut ja asennetut sisätilahygieniaa tukevat ratkaisut Living Lab –kohteissa. Luvut ilmaisevat asennettujen ratkaisujen määrät. (luokittelu Salonon ym. 2023).

Kosketuspintoihin liittyvät ratkaisut sisälsivät sekä aktiivisesti antimikrobisia materiaaleja että valokatalyyttisiä pinnoitteita. Alkuvaiheessa kaikki kosketuspinnat käsiteltiin titaanidioksidipohjaisella (TiO₂) valokatalyyttisellä pinnoitteella, minkä jälkeen valitut pinnat, kuten ovenkahvat ja pöydät, korvattiin erikseen suunnitelluilla antimikrobisilla ratkaisuilla. Näillä pyrittiin varmistamaan sekä laaja-alainen suoja että kohdennettu vaikutus erityisesti usein kosketeltaviin pintoihin. (Inkinen ym., 2016, s. 20–23; Adlhart ym., 2018., s. 240–244.) Aiemmat kansainväliset tutkimukset tukevat tätä lähestymistapaa. Esimerkiksi kuparipintojen on todettu vähentävän mikrobikuormaa sairaalaympäristöissä ja hopeayhdisteiden estävän mikrobien kasvua pinnoilla ja tekstiileissä. Mutta toimiakseen tutkituilla tavoilla, nämä ratkaisut vaativat hyvien huolto- sekä siivouskäytäntöjen noudattamista. (Bäumler ym., 2021, s. 546–547; Blomberg ym., 2022, s. 16–17; Ivask ym., 2022, s. 1–2.)

Vesikalusteissa otettiin käyttöön kosketusvapaita hanoja, joissa on automaattijuoksutuksen mahdollistava ominaisuus. Tavoitteena oli vähentää mikrobien leviämistä veden välityksellä ja kosketuksen kautta, erityisesti riskialttiissa tiloissa. (Rawlinson ym., 2019, s. 367; WHO 2011.) Kokemusten mukaan

näiden ratkaisujen toimivuus edellyttää säännöllistä huoltoa, ylläpitoa ja käyttäjien perehdyttämistä, jotta esimerkiksi automaattiset huuhtelutoiminnot pysyvät käytössä ja laitteistojen tekninen toimivuus varmistuu (Dunne ym., 2018, s. 251).

Sisäilman hallintaan asennettiin siirrettäviä ilmanpuhdistuslaitteita, sähköstaattisia hiukkaskeräimiä (ESP) sekä ilmanlaatusensoreita. Näiden avulla pyrittiin parantamaan hengitysilman laatua ja vähentämään sekä hiukkas- että mikrobipitoisuuksia. Lisäksi päiväkodin tarvikevarastoon asennettiin sinivaloteknologiaa hyödyntävä ratkaisu, joka tukee mikrobikuorman vähentämistä valaistuksen avulla. (Morawska ym., 2021; Dai & Zhao, 2020.)

Aiemmat tutkimukset ovat osoittaneet, että hyvinvointiteknologialla voidaan pienentää mikrobipitoisuuksia, mutta niiden teho riippuu ympäristön erityispiirteistä, tilojen käytöstä sekä ylläpitokäytännöistä; erityisesti puhtaana pidosta. (Feng ym., 2021, s. 1–2; Song ym., 2022). Päiväkotiympäristössä esimerkiksi runsas käyttäjien liike ja pintojen kuormitus voivat heikentää pinnoitteiden kestävyyttä nopeammin kuin hoivakodeissa, mikä on tärkeä huomio kohdekohtaisessa arvioinnissa.

Kokonaisuutena ratkaisut muodostivat monikerroksisen sisätilahygieniaa tukevan kokonaisuuden, joka vastaa kansainvälisiä suosituksia yhdistää tekniset ratkaisut riskiperusteiseen seurantaan ja käyttäjäkeskeisiin käytäntöihin (Adlhart ym., 2018., s. 245–246; Morawska ym., 2021). Tämä kokonaisuus tukee HEAL-projektin tavoitteita parantaa terveyttä ja vähentää infektioista aiheutuvia riskejä erityisesti korkean altistumisen ympäristöissä, kuten vanhuspalveluasumisen yksiköissä ja päiväkodeissa.

5 MIKROBIOLOGINEN NÄKÖKULMA

5.1 Mikrobiologisten puhtausnäytteiden periaatteet

Mikrobiologisten puhtausnäytteiden avulla voidaan arvioida sisäympäristöjen hygieenisyyttä ja tartuntatautien leviämiskä. Näytteitä voidaan kerätä pinnoilta, ilmasta ja vesijärjestelmistä joko suorilla tai epäsuorilla menetelmillä. Suorissa menetelmissä mikrobit kerätään suoraan viljelymaljoille, kun taas epäsuorat menetelmät, kuten pyyhintänäytteet, edellyttävät näytteen siirtämistä analysoitavaksi toisessa vaiheessa. (Rawlinson ym., 2019, s. 364–365)

Tutkimuksessa hyödynnetään usein kokonaisbakteerimäärän lisäksi myös indikaattorimikrobeja, kuten *Escherichia coli*, suolistoperäiset enterokokit ja *Pseudomonas aeruginosa*. Näiden esiintyminen voi viitata ulosteperäiseen tai vesijärjestelmästä peräisin olevaan kontaminaatioon, mikä nostaa infektioriskiä. Puhtausnäytteiden avulla saadaan näin sekä yleiskuva hygienian tasosta että tarkempaa tietoa erityisistä riskitekijöistä. (Salonen ym., 2023, s. 4; WHO, 2011, s. 95–99.)

5.2 Laskettavuus ja menetelmien vertailu

Puhtausnäytteiden tulkinta perustuu viljelymaljalle muodostuvien pesäkkeiden (pmy) laskentaan. Tulos ei ole luotettava, jos pesäkkeitä on hyvin vähän tai erittäin paljon, koska laskentatarkkuus heikkenee äärialueilla. Puhtausnäytteiden luotettavan tulkinnan kannalta viljelymaljoille ilmoitettu laskettavuusalue perustuu maljan kokoon. Kansainvälisesti käytetty standardialue 30–300 pmy/malja on määritelty 90 mm halkaisijan maljalle. (ISO 7218:2024; ISO 19036:2019).

Tässä opinnäytetyössä käytettiin 50 mm halkaisijan Compact Dry -maljoja. Tämän vuoksi laskettavuusalue skaalattiin suhteessa maljan kokoon. Kun standardialue skaalattiin pienemmälle maljalle, vastaavana laskettavuusalueena

voitiin käyttää 15–150 pmy/malja. Standardin *ISO 7218:2024* mukaisesti jopa matalampi laskettavuusalue olisi voinut tulla kyseeseen, mutta ei ollut tarkkuuden vuoksi tarpeen.

Maljan kokoon verratulla laskettavuusalueella sekä manuaalinen että konenäköön perustuva laskenta tuottavat luotettavimpia tuloksia. Alhaisissa alle 15 tai 30 pmy/malja tuloksissa satunnaisvaihtelu korostuu, ja yli 150 tai 300 pmy:n kohdalla pesäkkeiden erottaminen toisistaan muuttuu epävarmaksi mahdollisen pesäkkeiden limittymisen vuoksi. (ISO 19036:2019; ISO 7218:2024; FDA 2025.)

Konenäkömenetelmät tarjoavat laskentaan nopeutta ja toistettavuutta, mutta niiden luotettavuus voi heiketä äärialueilla. Manuaalinen laskenta puolestaan on altis inhimillisille virheille, kuten laskentavirheille ja tulkitsijan kokemuksesta riippuvalle vaihtelulle. (Hogekamp ym., 2020, s. 13–16.) Menetelmien vertailua varten käytettäviä tilastollisia menetelmiä, ovat esimerkiksi Bland–Altman-analyysi ja Wilcoxonin testi. Näiden avulla voidaan arvioida systemaattisia eroja ja menetelmien yhtäpitävyyttä. (Giavarina, 2015, s. 143–144.)

Käytännön sovelluksissa on havaittu, että yhdistämällä manuaalinen laskenta ja automaattinen konenäkö saadaan kattavampi kuva, sillä automaatio voi ohittaa pieniä tai epäsäännöllisiä pesäkkeitä tai limittyneitä alueita, kun taas manuaalinen laskenta on altis käyttäjien vaihtelulle ja kuormituksesta johtuville virheille. (Hogekamp ym., 2020; ISO 7218:2024; ISO 19036:2019.)

5.3 Mittausepävarmuus ja laadunvarmistus

Mikrobiologisten analyysien luotettavuuteen liittyy aina mittausepävarmuutta, joka voi johtua näytteenoton, viljelyn, laskennan tai ympäristöolosuhteiden vaihtelusta. Mittausepävarmuuden arviointi perustuu sekä satunnaiseen että systemaattiseen vaihteluun, ja se voidaan ilmaista esimerkiksi luottamusväleinä tulosten yhteydessä. (ISO 19036:2019.)

Tulosten luotettavuuden parantamiseksi käytetään rinnakkaisia näytteitä, laimennossarjoja ja kontrollimaljoja, joiden avulla voidaan tunnistaa mahdollisia virhelähteitä (Rawlinson ym., 2019, s. 365). Lisäksi yhdenmukaisten ohjeiden ja standardoitujen menetelmien käyttö, esimerkiksi *ISO 7218:2024* tai *ISO 4833-1:2013*, lisäävät validiteettia ja reliabiliteettia (Creswell & Creswell, 2018, s. 199).

Manuaalisen ja konenäön laskennan yhdistäminen voi myös toimia laadunvarmistuksena, koska se mahdollistaa menetelmien välisten erojen tunnistamisen ja hallinnan Kansainvälisissä tutkimuksissa on myös raportoitu, että laboratoriodien väliset erot voivat olla suuria, ellei standardointia ja säännöllistä kalibrointia tehdä. (Hogekamp ym., 2020, s. 13–16.)

5.4 Kansainväliset ja tulevaisuuden näkökulmat

Kansainvälisesti laskettavuusalue ja standardoidut menetelmät on otettu käyttöön erityisesti elintarvike- ja vesinäytteiden tutkimuksessa, mutta periaatteita voidaan soveltaa myös sisäympäristöjen hygieniaseurantaan (ISO 19036:2019). WHO:n ohjeistus (2011, s. 103–104) korostaa, että laskettavuusrajat ja kontrollimenetelmät ovat välttämättömiä erityisesti vesijärjestelmien turvallisuuden arvioinnissa.

Tulevaisuudessa konenäköön perustuvia ratkaisuja voidaan täydentää tekoälypohjaisilla algoritmeilla, jotka parantavat automaattisen laskennan tarkkuutta ja vähentävät manuaalisen tarkistuksen tarvetta (Hogekamp ym., 2020, s. 13–16). Erityisesti syväoppimiseen perustuvat kuvantamismallit ovat lupaavia, koska ne kykenevät tunnistamaan myös epäsäännöllisiä ja päällekkäisiä pesäkkeitä (Liu ym., 2022).

Automaattiset menetelmät nopeuttavat suurten näytemäärien käsittelyä, mutta vaativat investointeja ohjelmistoihin sekä validointiin. Parhaan lopputuloksen

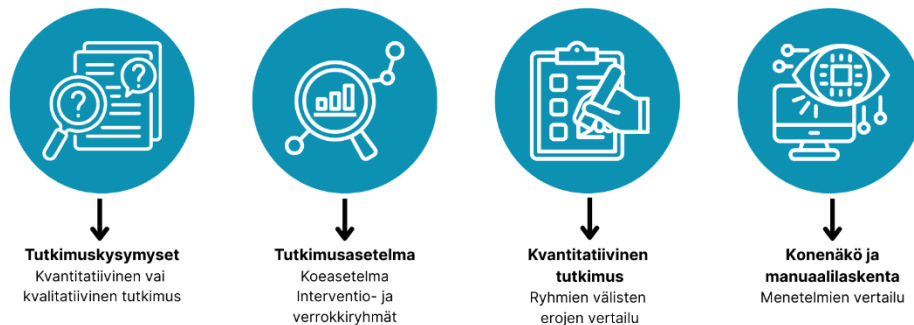
saavuttaa yhdistämällä konenäön tehokkuus ja manuaalisen laskennan tarkkuus ääritapauksissa. Rinnakkaisnäytteiden ja tilastollisten vertailujen avulla voidaan varmistaa sekä tieteellinen luotettavuus että käytännön hyöty. (Creswell & Creswell, 2018, s. 199; Hoge Kamp ym., 2020, s. 13–16; ISO 19036:2019.)

6 OPINNÄYTETYÖSSÄ KÄYTETYT MENETELMÄT JA TOTEUTUS

Ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyöprosessissa on tärkeää valita tutkimuskysymyksiin, työn tavoitteisiin sekä työelämän kehittämistarpeisiin sopivat menetelmät (Vilkkä, 2015, s. 77). Kvantitatiivinen lähestymistapa soveltuu erityisesti asioiden mittaamiseen, vertailemiseen sekä numeeriseen analysointiin, ja se mahdollistaa tilastollisten menetelmien käytön ryhmien välisten erojen arvioimisessa. Jos työn tavoitteena on arvioida ratkaisujen vaikuttavuutta, kvantitatiivinen tutkimus on tarkoituksenmukainen valinta. (Creswell & Plano Clark, 2011, s. 7–9; Creswell & Creswell, 2018, s. 3–4; Field, 2018, s. 12–15.) Tässä opinnäytetyössä tutkimus toteutettiin kvantitatiivisella lähestymistavalla. Asetelma koostui interventio- ja verrokkiryhmien näytteiden tulosten menetelmävertailusta konenäön ja manuaalisen pesäkelaskennan välillä.

Klassisessa koeasetelmassa havaintoyksiköt jaetaan interventio- ja kontrolliryhmiin, joista kerätään mitattavia muuttujia tutkimusprosessin aikana (Tietoarkisto, n.d.). Interventiokohteissa otettiin käyttöön sisätilahygieniaa tukevia ratkaisuja (esim. antimikrobiset pintamateriaalit, kosketusvapaat vesikalusteet), kun taas verrokkikohteissa säilytettiin tavanomaiset ratkaisut. Aiemman näytön perusteella tällaisella asetelmalla voidaan arvioida ratkaisujen vaikuttavuutta ja käytännön hyötyjä. (Inkinen ym., 2016, s. 20–23; Bäumlér ym., 2021, s. 546; Cassidy ym., 2020, s. 2.) Tutkimusasetelma on esitetty kuviossa 1. Kuvio havainnollistaa interventio-verrokkiryhmät sekä konenäköön ja manuaaliseen laskentaan perustuvan menetelmävertailun.

Tutkimusmenetelmät ja -suunnittelu



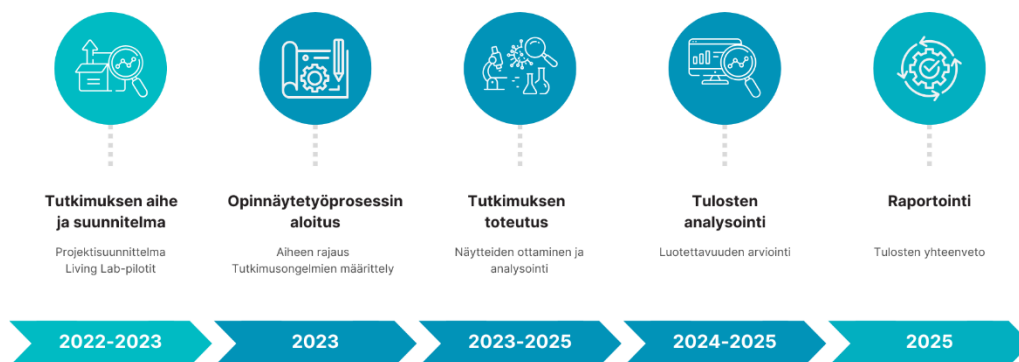
Kuvio 1. Tutkimusmenetelmien valinta ja tutkimusasetelma (mukailien Creswell & Creswell 2018; Hoge Kamp ym. 2020; Giavarina 2015).

Opinnäytetyössä tarkasteltiin konenäköön perustuvan pesäkelaskennan ja perinteisen manuaalisen laskennan menetelmien vastaavuutta. Menetelmävertailun avulla voitiin arvioida, kuinka hyvin automatisoitu laskenta tuottaa samoja tuloksia kuin ihmissilmään perustuva arviointi. Aiemmat tutkimukset osoittivat, että täysin automaattinen laskenta voi tuottaa merkittävää vaihtelua erityisesti maljoilla, joilla pesäkkeitä on hyvin vähän tai erittäin paljon, kun taas visuaalisella varmistuksella tarkkuutta voitiin parantaa. (Hoge Kamp ym., 2020, s.13–16)

Luotettavimpia tuloksia saadaan yleensä tilanteissa, joissa pesäkkeiden määrä on maljan kokoon suhteutetulla laskenta-alueella, esimerkiksi 90 mm maljalla noin 30–300 pmy/malja tai 50 mm maljalla 15–150 pmy/malja tai jopa vähemmän. Tämän laskettavuusalueen ulkopuolella sekä manuaaliseen että automaattiseen laskentaan liittyy kohonnut virheriski. (ISO 7218:2024.) Menetelmien vertailussa voidaan hyödyntää tilastollisia menetelmiä, kuten Bland–Altman-analyysiä ja Wilcoxonin signed-rank testiä, joilla arvioidaan systemaattista eroa ja mittausmenetelmien yhtäpitävyyttä (Giavarina, 2015, s. 143–144).

6.1 Tutkimusprosessin suunnittelu

Tutkimusprosessi eteni aiheen ja suunnitelman määrittelystä opinnäytetyöprosessin aloitukseen, näytteenoton ja analyysien toteutukseen sekä tulosten analysointiin ja raportointiin. Prosessin eteneminen esitelty lyhyesti kuviossa 2. Tässä opinnäytetyössä suunnitteluvaiheessa keskeiseksi nousi sisätilahygienia-konseptin kokonaisvaltainen tarkastelu, jossa huomioidaan samanaikaisesti sisäilman laatu, kosketuspintojen hygienia sekä vesijärjestelmien mikrobiologinen turvallisuus sekä mikrobiologisten pintapuhtausnäytteiden ottaminen. (Salonen ym., 2022; Salonen ym., 2023.) Kokonaisuudessaan tutkimusprosessin suunnittelussa pyrittiin yhdistämään tieteellinen luotettavuus ja työelämälähtöisyys.



Kuvio 2. Tutkimusprosessin eteneminen.

Tutkimusprosessin suunnittelussa huomioitiin myös eettiset näkökohdat ja tutkimusluvut. Ammattikorkeakoulujen opinnäytetöiden eettisten suositusten (Arene, 2019) mukaan tutkimuksessa tulee noudattaa hyvää tieteellistä käytäntöä, varmistaa aineiston käsittely luottamuksellisesti sekä minimoida osallistujille ja organisaatiolle aiheutuvat riskit. Tässä tutkimuksessa eettisyys varmistettiin HEAL-projektin eettisen ennakoarvioinnin mukaisesti (HEAL-projekti, 2022).

6.2 Näytteenotto, näytteiden käsittely ja laadunvarmistus

Näytteet kerättiin sekä interventio- että verrokkikohteista samoissa ajanjaksoissa, jotta ympäristötekijöiden vaikutusta voitiin minimoida. Näytteenotto suunniteltiin eri vuodenaikoihin, sillä lämpötila ja ilmankosteus voivat vaikuttaa sisäympäristön mikrobimääriin (Horve ym., 2019, s. 219–221). Näytteenotto-paikat valittiin HEAL-projektin suunnitelman mukaan korkean riskin kohteista, kuten usein kosketettavilta pinnoilta ja vesijärjestelmien kriittisistä kohdista, joissa mikrobien kasvu on todennäköistä (Rawlinson ym. 2019; Salonen ym. 2022). Verrokkiryhmässä käytössä olivat tavanomaiset materiaalit ja järjestelmät, kun taas interventioryhmässä otettiin käyttöön antimikrobisia pintamateriaaleja ja tehostettuja hygieniaratkaisuja, nämä koottu aiemmin esiteltyyn taulukkoon 1 (Blomberg ym., 2022, s. 10–14; Bäumlner ym., 2021, s. 546).

Näytteenotto, viljely ja tulosten laskeminen toteutettiin standardoitujen ohjeiden mukaan, jotka perustuvat standardiin *ISO 7218:2024* (Kivisaari, n.d.). Näytteenotossa käytettiin näytteenoton pinta-alan määrittämiseen sabluunaa, näytteen ottamiseen pumpulipuikkoa ja näytteet laitettiin ottamisen jälkeen neutralointipuskuriin. Neutralointipuskuria käytettiin lopettamaan antimikrobinen vaikutus siten, etteivät mikrobit kuolisi näytteenoton jälkeen ennen maljaviljelyä. Neutralointipuskurina käytettiin: D/E neutralizing solution (Dey/Engel, BioTrading Benelux B.V. and Liofilchem S.r.l. Italy).

Viljely tehtiin 50 mm Compact Dry -maljoille (Compact Dry TC, n.d.; ISO 4833-1:2013), jossa kokonaisbakteerimäärät saatiin laskemalla pesäkkeet viiden vuorokauden (22 °C) inkubaation jälkeen. Suurten pesäkelukumäärien varalta näytteistä valmistettiin myös 1:19 laimennokset rinnakkaismaljoille, jotka inkubointiin samalla tavalla. Laimennokset tehtiin, jotta korkeat tulokset saataisiin luotettavasti laskettua maljakoon mukaisella laskettavuusalueella. (ISO 7218:2024; ISO 19036:2019; ISO 4833-1:2013.) Näytteet myös rikastettiin Brain Heart Infusion, BHI, rikastusliemessä ja viljeltiin selektiivisille maljoille. Kontaminaation minimoimiseksi käytettiin steriilejä välineitä, negatiivisia kontrollinäytteitä ja rinnakkaisia maljoja. Näytteenoton ja analyysin

yhdenmukaisuus varmistettiin standardoiduilla työohjeilla ja toistomittauksilla. (Rawlinson ym. 2019; Bäumlner ym. 2021.)

Selektiivisille indikaattorimaljoille viljelyn avulla voitiin tunnistaa erityyppistä kontaminaatioita ja hygieniariskejä. Tutkimuksessa käytettiin Compact Dry EC-, ETC- ja XSA-maljoja. EC-maljat on tarkoitettu koliformien ja *Escherichia coli* -bakteerien osoittamiseen ja ne toimivat yleisesti ulosteperäisen kontaminaation ja vesi- ja elintarvikehygienian indikaattoreina. ETC-maljat (*Enterococcus* spp) kuvaavat ulosteperäistä ja vesijärjestelmiin liittyvää kontaminaatiota, ja niitä hyödynnetään erityisesti juoma- ja uimavesien hygienian arvioinnissa. (Compact Dry, n.d.; WHO, 2011). XSA-maljat (*Staphylococcus aureus*) puolestaan osoittavat ihoperäistä kosketuskontaminaatiota ja ovat siten käyttökelpoisia pintojen ja käsihygienian arvioinnissa (Compact Dry, n.d.; Rawlinson ym., 2019).

Kokonaisbakteerien pitoisuus raportoitiin yksikössä pmy/cm² käyttäen kaavaa, jossa on huomioitu näytteenottoliuoksen tilavuus, sivelty pinta-ala, pesäkelukumäärien summa ja laimennoskerroin (ISO 7218:2024). Raportoinnissa noudatettiin laskettavuusaluetta (≈15–150 pmy/malja) ja käsiteltiin alueen ulkopuoliset havainnot poikkeavina, koska niiden epävarmuus on suurempi (ISO 7218:2024; ISO 19036:2019; Hoge Kamp ym., 2020). Prosessin keskeiset vaiheet on esitetty kuviossa 3.

Antimikrobisten puhtausnäytteiden käsittelyprosessi



Kuvio 3. Pintojen puhtausnäytteiden käsittelyprosessin päävaiheet. (mukailen Kivisaari, n.d., perustuen standardiin *ISO 7218:2024*).

6.3 Manuaalilaskennan ja konenäön menetelmävertailu

HEAL-projektissa käytetty konenäköön perustuva automaattisen laskennan sovellus on tutkimuskeskus WANDER:in kehittämä. Sovellus on ImageJ:n ohjelmistoon rakennettu makro, joka se perustuu Hoge Kamp ym. esittämään automaattisen laskennan menetelmään. (Hoge Kamp ym., 2020; Schindelin ym., 2012.)

Konenäköön perustuvan laskennan luotettavuus arvioitiin vertaamalla tuloksia manuaalilaskentaan Interscience Scan 50 -pesäkelaskuria käyttäen. Aiemman

näytön perusteella täysin automaattinen laskenta voi menettää tarkkuutta maljoilla, joilla pesäkkeitä on hyvin vähän tai erittäin paljon. Näissä tapauksissa visuaalinen varmistus, laskettavuusalueen noudattaminen ja korkeissa tapauksissa laimennokset parantavat tuloksen käyttökelpoisuutta (Hogekamp ym., 2020).

Vertailu tehtiin kahdella tasolla: rinnakkaismaljojen keskiarvoihin perustuva näytekohtainen vertailu sekä maljakohtainen vertailu (manual1 vs. kone1; manual2 vs. kone2). Ensisijaisena oli erotus (Kone – Manuaali) sekä sen bias eli keskimääräinen ero ja suhteellinen ero prosenteissa. Menetelmävertailun havainnollistamisessa käytettiin scatter-kuvioita ($y=x$) ja Bland–Altman-analyysijä, jotka raportoivat biasin ja 95 %:n yhdenmukaisuusrajat ($LoA = bias \pm 1,96 \times SD$) (Giavarina 2015).

6.4 Tilastolliset analyysit

Tulosten analysoinnissa hyödynnettiin useita tilastollisia menetelmiä manuaalisen ja konenäköön perustuvan pesäkelaskennan yhtäpitävyyden arvioimiseksi. Menetelmien välinen ero arvioitiin ensisijaisesti erojen (Kone – Manuaali) avulla. Ennen testivalintaa tarkistettiin erotusten normaalisuus Shapiro–Wilk-testillä. Normaalisesti jakautuneelle aineistolle käytettäisiin parittaista t-testiä ja ei-normaalille Wilcoxonin signed-rank-testiä (Field 2018, s. 15–16; Kärkkäinen & Högmander 2009). Tilastollinen merkitsevyys raportoitiin p-arvona ($\alpha=0,05$), mutta korostettiin, että $p>0,05$ ei todista yhtäpitävyyttä, vaan osoittaa ettei aineistossa ole riittävää näyttöä erolle (Field 2018, s. 15–16).

Bias kuvaa systemaattista eroa menetelmien välillä ja määritellään keskimääräisenä erotuksena (Kone – Manuaali). Positiivinen bias viittaa konenäön tuottavan manuaalia suurempia arvoja ja negatiivinen bias päinvastaista. Raportoinnissa on suositeltavaa ilmoittaa myös biasin 95 % luottamusväli sekä suhteellinen bias (esim. mediaani %-ero) menetelmien käytännön eron tulkinnan tueksi (Giavarina 2015; Bland & Altman 1999).

Menetelmien yhtäpitävyyttä havainnollistettiin Bland–Altman-analyysillä, jossa piirretään erot (Kone – Manuaali) parikeskiarvoa vasten. Analyysin ydinluvut ovat bias ja 95 %:n yhdenmukaisuusrajat eli limits of agreement, LoA, jotka lasketaan kaavalla $\text{bias} \pm 1,96 \times \text{SD}(\text{eroista})$. LoA kuvaa vaihteluväliä, johon noin 95 % yksittäisten mittausparien eroista sijoittuu. Mitä kapeampi LoA-alue, sitä yhdenmukaisempia tulokset ovat. Lisäksi voidaan raportoida LoA-rajojen luottamusvälit, jotka kertovat rajojen arvioinnin epävarmuudesta (Bland & Altman 1999; Giavarina 2015).

Tilastolliset analyysit toteutettiin Satakunnan ammattikorkeakoulussa käytössä olevalla Statgraphics Centurion 19 -ohjelmistolla. Ohjelmisto mahdollisti normaalisuustestien, menetelmien välisten vertailujen sekä Bland–Altman-analyysien suorittamisen luotettavasti ja yhdenmukaisesti.

7 TULOKSET

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli arvioida mikrobiologisten pintapuhtausnäytteiden tuloksia vertaamalla konenäön ja manuaalilaskennan menetelmiä.

Tutkimuskysymykset olivat:

1. Onko konenäön ja manuaalilaskennan tuloksissa eroja?
2. Millä tekijöillä voidaan parantaa mikrobiologisten määritysten luotettavuutta ja laadukkuutta?

Tulosten analysoinnissa hyödynnettiin tilastollisia menetelmiä, joilla arvioitiin menetelmien yhtäpitävyyttä. Normaali jakauman toteutumista tarkasteltiin Shapiro–Wilk-testillä, jonka tulosten perusteella valittiin sopiva vertailutesti. Mikäli erot olivat normaalisti jakautuneita, käytettiin parittaista t-testiä; ei-normaalien jakauman tapauksessa sovellettiin Wilcoxon signed-rank-testiä (Field 2018, s. 15–16).

Menetelmien yhtäpitävyyttä havainnollistettiin scatter-kuvioilla ja Bland–Altman-analyysillä. Scatter-kuvioissa konenäön tulokset asetettiin manuaalista laskentaa vastaan, ja täydellinen yhtäpitävyys kuvattiin $y=x$ -viivalla. Bland–Altman-analyysi puolestaan toi esiin systemaattisen eron (bias) ja satunnaisvaihtelun rajat (limits of agreement, LoA), jotka määritellään kaavalla $\text{bias} \pm 1,96 \times \text{keskihajonta}$ (Giavarina, 2015).

7.1 Aineiston rajaus

Tutkimusaineisto koostui neljästä erillisestä näytteenottokerrasta, joissa näytteitä otettiin sekä interventio- että verrokkikohteista. Näytteitä kerättiin yhteensä 140, joista yksi poistettiin homekasvuston vuoksi. Lopullinen analyysi kattoi siis 139 näytettä. Jokaisesta näytteestä valmistettiin rinnakkaiset maljat, jotka laskettiin sekä manuaalisesti (manual1, manual2) että konenäöllä (kone1, kone2). Näistä muodostettiin näytekohtaiset keskiarvot. Suurten

pesäkelukumäärien varalta näytteistä valmistettiin lisäksi 1:19 laimennokset rinnakkaismaljoille, jotta tulokset voitiin laskea maljan kokoon suhteutetulla laskettavuusalueella, 15–150 pmy/malja. Myös laimennossarjojen maljat laskettiin sekä manuaalisesti (manuall1, manuall2) että konenäöllä (kone11, kone12). Näiden keskiarvot otettiin mukaan analyysiin, mikäli tulokset sijoittuivat laskettavuusalueelle. Laskettavuusalueen alittaville arvoille, alle 15 pmy/malja, ei ollut vastaavaa korjauskeinoa. Tämän vuoksi niitä ei voitu laskettavuusalueella raportoida.

Analyysit tehtiin sekä koko aineistolle että rajattuna opinnäytetyön kannalta järkevälle laskettavuusalueelle, mikä määriteltiin HEAL-projektin ohjeiden sekä standardiin *ISO 7218:2024* perustuen. Laskettavuusalueelle rajatessa mukaan otettiin vain ne näytteet, joissa sekä manuaalisen että konenäön tulokset sijoittuivat, 15–150 pmy/malja, alueelle. Rajauksen taustalla on kansainvälinen standardi, jonka mukaan luotettavin laskenta tapahtuu tällä alueella pienemmillä maljoilla. (ISO 7218:2024; ISO 19036:2019; Hoge Kamp ym., 2020.) Laskettavuusalueella analysoitavia näytteitä oli yhteensä 78. Lisäksi laimennossarjojen avulla saatiin mukaan 7 näytettä lisää, jolloin lopullinen otos oli 85 näytettä. Laskettavuusalueen ulkopuolelle jäi 54 näytettä, joissa sekä manuaalinen että konenäkö jäivät alle 15 pmy/malja, sekä 2 näytettä, joissa vain toisen menetelmän tulos oli laskettavuusalueella. Yhtään näytettä ei jäänyt laskettavuusalueen yläpuolelle laimennosten huomioimisen jälkeen. (ISO 7218:2024; ISO 19036:2019; Hoge Kamp ym., 2020.)

7.2 Konenäön ja manuaalilaskennan vertailu

7.2.1 Kaikki näytteet

Kaikki näytteet kattava analyysi osoitti, että menetelmien erot eivät noudattaneet normaalijakaumaa (Shapiro–Wilk $p < 0,001$). Menetelmien välistä eroa arvioitiin siksi Wilcoxonin signed-rank-testillä, jonka tulos oli tilastollisesti

merkitsevä, $p \approx 4,4 \times 10^{-14}$. Tämä merkitsi sitä, että konenäön ja manuaalilaskennan välillä oli systemaattinen ero koko aineistossa.

Bland–Altman-analyysissä bias oli -19 pmy/cm^2 , mikä osoitti konenäön tuottavan keskimäärin pienempiä pesäkelukuja kuin manuaalinen laskenta. 95 %:n yhdenmukaisuusrajat (LoA) olivat $-135 \dots +97 \text{ pmy/cm}^2$, mikä kertoo laajasta vaihtelusta erityisesti äärialueilla, joissa laskenta on epävarmempaa. Näin ollen, vaikka menetelmät olivat keskimäärin johdonmukaisia, yksittäisten näytteiden kohdalla ero voi olla huomattava.

7.2.2 Laskettavuusalueen näytteet

Kun analyysi rajattiin laskettavuusalueelle 15-150 pmy/malja ja mukaan otettiin korkeiden pesäkelukujen kohdalla laimennosmaljat, Shapiro–Wilk-testi osoitti jälleen, ettei normaalisuusoletus täytynyt ($p < 0.001$). Näin ollen käytettiin Wilcoxon signed-rank -testiä, jossa p-arvo, $p \approx 7,7 \times 10^{-14}$, viittasi tilastollisesti merkitsevään menetelmäeroon. Tämä viittasi siihen, että myös laskettavuusalueella konenäön ja manuaalilaskennan välillä oli systemaattinen ero. (Giavarina, 2015.)

Laskettavuusalueella bias oli -10 pmy/cm^2 , mikä tarkoitti, että konenäkö aliarvioi manuaalilaskentaa keskimäärin noin 10 pmy/cm^2 . Yhdenmukaisuusrajat (LoA) olivat $-32 \dots +12 \text{ pmy/cm}^2$, eli yksittäisten mittausten vaihteluväli oli selvästi kapeampi kuin koko aineistossa. Toisin sanoen, vaikka ero ei täysin poistunut, konenäkö ja manuaali olivat huomattavasti vertailukelpoisempia laskettavuusalueen sisällä, kuin koko aineistossa.

Rajaus 15–150 pmy/malja pienensi systemaattista eroa ja kavensi LoA-aluetta verrattuna koko aineistoon. Tämä oli linjassa standardien ja aiemman kirjallisuuden kanssa: alle $\sim 15 \text{ pmy}$ satunnaisvaihtelu korostuu, ja yli $\sim 150 \text{ pmy}$ pesäkkeet limittyvät, mikä heikentää sekä manuaalisen laskennan että konenäön tarkkuutta (ISO 19036:2019; Hoge Kamp ym., 2020).

7.2.3 Maljakohtainen tarkastelu

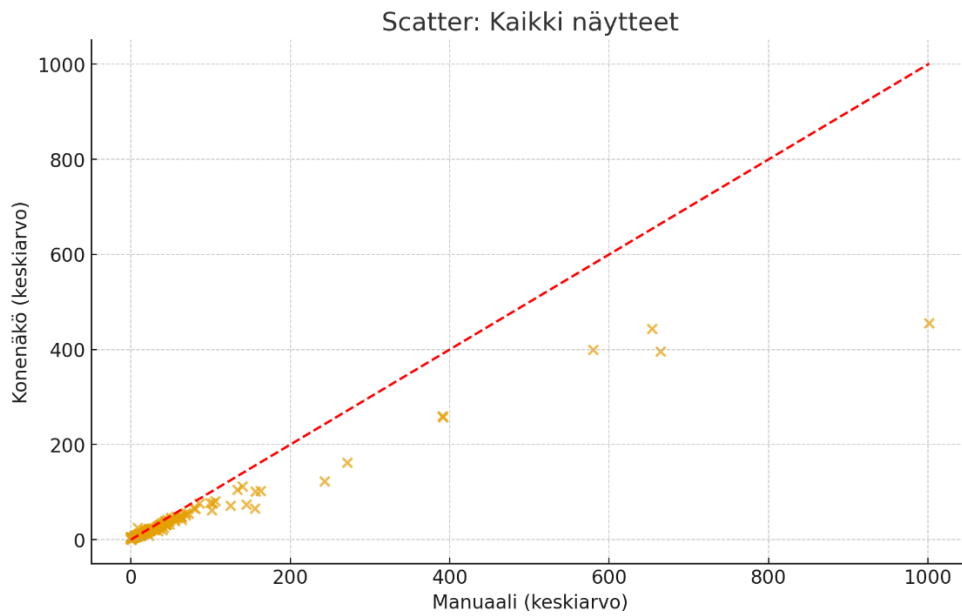
Tuloksia tarkasteltiin myös maljakohtaisesti vertaamalla rinnakkaisia manuaalisesti laskettujen maljojen tuloksia rinnakkaisiin konenäön avulla saatuihin tuloksiin. Maljakohtainen vertailu lisäsi datapisteiden määrää, mutta toi myös esiin suurempaa satunnaisvaihtelua kuin näytekohtainen keskiarvovertailu. Tämä näkyi leveämpinä yhdenmukaisuusrajoina (LoA), mikä kertoi siitä, että yksittäisten maljojen tulokset voivat poiketa enemmän menetelmien välillä.

Bias pysyi kuitenkin negatiivisena myös maljatasolla, mikä tarkoitti, että konenäkö tuotti systemaattisesti manuaalilaskentaa pienempiä pesäkelukuja. Tämä ilmiö oli odotettavissa, koska konenäkö voi jättää tunnistamatta pieniä, heikkokonstrastisia tai päällekkäisiä pesäkkeitä, kun taas manuaalinen laskenta mahdollisti tulkinnan visuaalisesti.

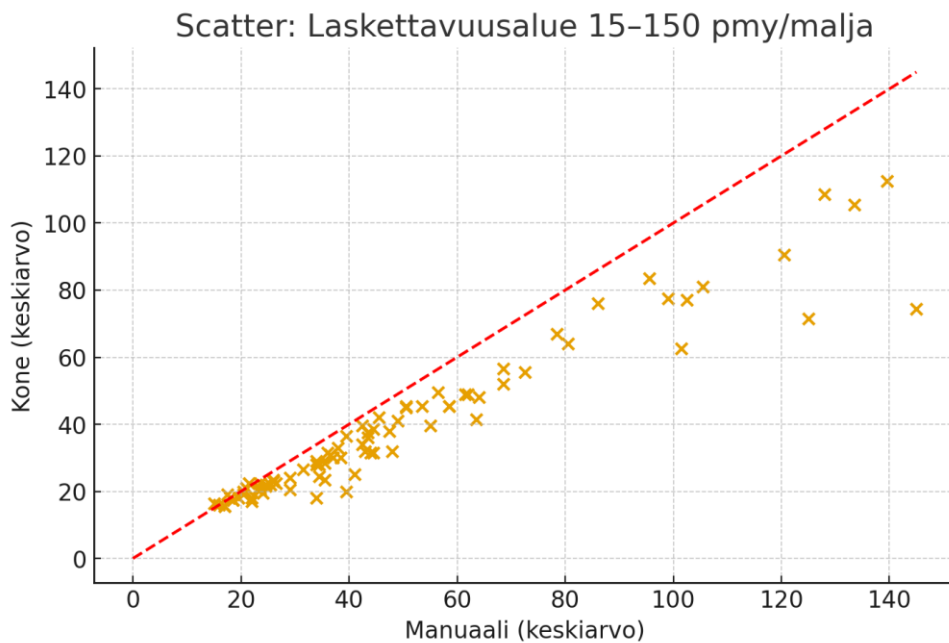
Keskiarvojen käyttäminen näytekohtaisessa vertailussa tasoitti tätä vaihtelua ja antoi luotettavamman arvion todellisesta mikrobimäärästä. Tämä tuki aiempaa näyttöä siitä, että rinnakkaismaljojen keskiarvo parantaa mittausten reliabiliteettia ja vähentää yksittäisiin havaintoihin liittyvää satunnaisvirhettä. (Giavarina, 2015.)

7.2.4 Kuvaajien tarkastelu

Konenäön ja manuaalin tulosten vertailu havainnollistettiin scatter-kuvioilla, kuvio 4 ja kuvio 5, joissa X-akselilla on manuaalinen ja Y-akselilla konenäön keskiarvo. Punainen katkoviiva osoittaa täydellisen yhtäpitävyyden ($y=x$).

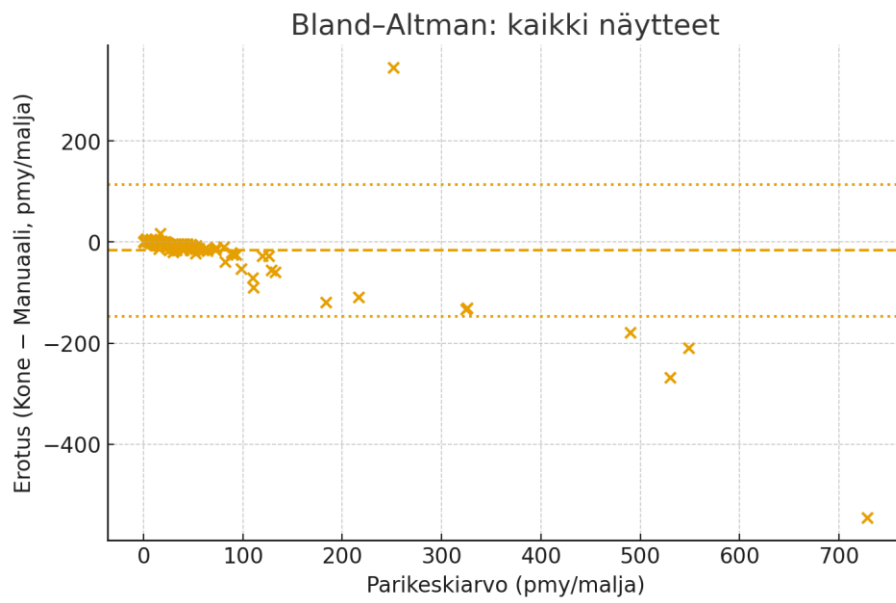


Kuvio 4. Manuaalisen ja konenäön välinen yhteys kaikissa näytteissä. Punainen katkoviiva osoittaa täydellisen yhtäpitävyyden menetelmien välillä.

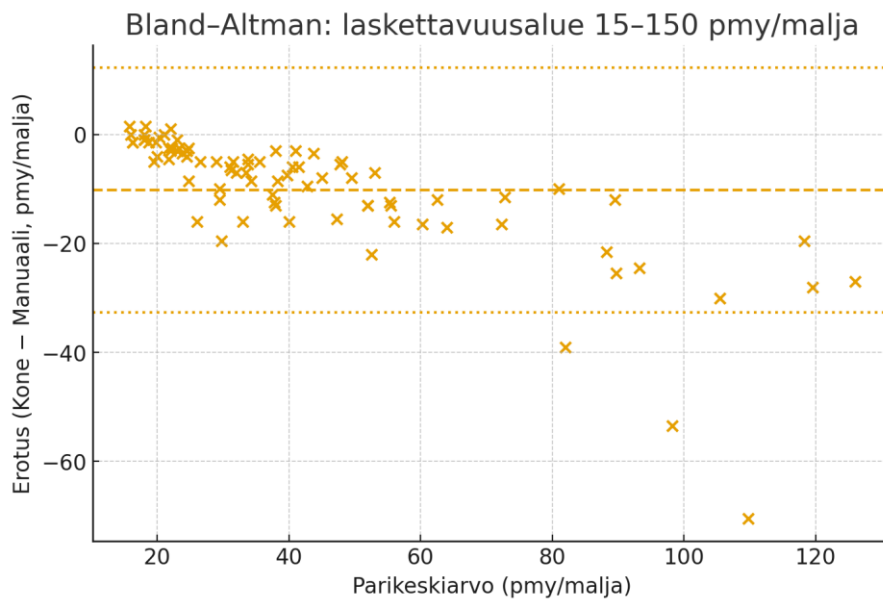


Kuvio 5. Manuaalisen ja konenäön välinen yhteys laskettavuusalueella 15–150 pmy/malja. Punainen katkoviiva osoittaa täydellisen yhtäpitävyyden menetelmien välillä.

Menetelmien välisiä eroja tarkasteltiin myös Bland–Altman-kuvion avulla, kuvio 6 ja kuvio 7, joka havainnollistaa menetelmien erotusta suhteessa parikeskiarvoon. Kuvio osoittaa, että bias oli laskettavuusalueella lähellä nollaa, mutta hajonta kasvoi sekä hyvin alhaisilla että korkeilla pesäkeluvuilla.



Kuvio 6. Bland–Altman-kuvio konenäön ja manuaalin eroista kaikkien näytteiden otannassa.



Kuvio 7. Bland–Altman-kuvio konenäön ja manuaalin eroista laskettavuusalueella.

7.3 Tulosten luotettavuuden arviointi

Tulosten luotettavuutta vahvistivat rinnakkaisviljelyt, laimennokset, kontrollit ja standardoidut työohjeet. Nämä auttoivat minimoimaan satunnaisvaihtelua ja tunnistamaan mahdollisia virhelähteitä. Laskettavuusalueelle rajaaminen vähensi epävarmuutta, koska sekä liian pienet että liian suuret pesäkeluvut lisäsivät virheriskiä. Tämä havainto on linjassa aiemman kirjallisuuden kanssa. (ISO 19036:2019; Hoge Kamp ym., 2020)

Maljakohtainen tarkastelu osoitti yksittäisten havaintojen vaihtelua, mikä korosti rinnakkaismaljojen käyttöä ja manuaalisen tarkastuksen merkitystä laadunvarmistuksessa. Käytännössä tämä tarkoitti, että automaattisen laskennan rinnalla manuaalinen varmistus on suositeltavaa erityisesti poikkeavissa tuloksissa (Hoge Kamp ym., 2020).

7.4 Mikrobiologisten määritysten luotettavuuden ja laadun parantaminen

Tämän opinnäytetyön toisena tutkimuskysymyksenä oli selvittää, millä tekijöillä mikrobiologisten määritysten luotettavuutta ja laadukkuutta voidaan parantaa. Tulosten ja kansainvälisten standardien perusteella luotettavuuteen vaikuttavat erityisesti näytteenoton ja analytiikan standardointi, laskettavuusalueen noudattaminen, rinnakkaisnäytteiden ja laimennosten käyttö sekä mitausepävarmuuden hallinta (ISO 7218:2024; ISO 19036:2019; ISO 4833-1:2013).

Oikein suunniteltu ja toteutettu näytteenotto on keskeinen edellytys luotettaville tuloksille. *ISO 7218* standardi korostaa näytteiden edustavuutta, riittävää näytemäärää, aseptista työskentelyä ja viiveen minimointia näytteenoton ja viljelyn välillä. HEAL-projektissa näytteenottoaikoja valittiin riskiperusteisesti (usein kosketetut pinnat, kriittiset vesijärjestelmien kohdat), käytettiin vakiokoisia sabluunoita, neutralointipuskuria ja steriilejä välineitä sekä noudatettiin yhtenäistä työohjetta, mikä pienensi näytteenoton aiheuttamaa vaihtelua (Rawlinson ym. 2019; Kivisaari, n.d.; ISO 7218:2024).

Laskettavuusalueen noudattaminen ja maljakoon huomiointi osoittautuivat tärkeiksi. Standardit *ISO 4833-1* ja *ISO 19036* suosittelevat 30–300 pmy:n laskettavuusaluetta 90 mm maljoille, kun taas standardissa *ISO 7218* tarkennetaan, että alue skaalautuu maljakoon pienentyessä. 50 mm maljoilla perusteltu alue on noin 15–150 pmy/malja tai jopa pienempi. Tässä opinnäytetyössä havaittiin, että kun analyysi rajattiin tälle 15–150 pmy/malja -alueelle, menetelmien välinen bias pieneni ja LoA-alue kaventui, eli konenäön ja manuaalilaskennan yhtäpitävyys parani selvästi verrattuna koko aineistoon. Standardin mukaisesti vieläkin kapempi laskettavuusalue voisi edelleen lisätä menetelmien yhtäpitävyyttä, mutta tämä vaatisi suuremmat näytemäärät tarkasteluun. (ISO 19036:2019; ISO 7218:2024; Hoge Kamp ym. 2020.)

Tulokset korostivat rinnakkaisnäytteiden, laimennosten ja kontrollien merkitystä. *ISO 19036* suosittelee rinnakkaisviljelyä ja kontrollimaljoja mittausepävarmuuden arvioimiseksi. Tässä työssä jokaisesta näytteestä viljeltiin rinnakkaiset maljat sekä laimennokset, ja tulokset esitettiin keskiarvoina. Tämä taasoitti satunnaisvaihtelua ja antoi luotettavamman arvion todellisesta mikrobipitoisuudesta. Laimennosten avulla korkean pesäkemäärän maljat saatiin mukaan laskettavuusalueelle. Pesäkemääriltään alle laskettavuusalueen jääville maljoille vastaavaa keinoa ei kuitenkaan löydy. Negatiiviset kontrollit ja rikastusvaiheiden käyttö puolestaan auttoivat tunnistamaan mahdollisia kontaminaatiolähteitä ja varmistamaan, että havaittu kasvu oli peräisin varsinaisesta näytteestä. (ISO 7218:2024; ISO 19036:2019.)

Luotettavuutta voidaan parantaa menetelmävertailuilla. Tässä tutkimuksessa konenäön ja manuaalilaskennan vertaaminen Bland–Altman-analyysillä ja Wilcoxonin testillä mahdollisti systemaattisen biasin ja satunnaisvaihtelun kvantifiointin. Tulokset osoittivat, että konenäkö aliarvioi manuaalilaskentaa systemaattisesti, mutta toimi hyvin trendien seurannassa ja suurten aineistojen käsittelyssä, kun taas manuaalilaskenta soveltui erityisesti rajatapauksien ja ääriarvojen varmistamiseen. Tämä tuki käytäntöä, jossa automaattinen laskenta toimii ensisijaisena menetelmänä ja manuaalinen laskenta

laadunvarmistuksena erityisesti laskettavuusalueen ulkopuolella. (Giavarina 2015; Hoge Kamp ym. 2020; ISO 19036:2019.)

Laadukkuutta vahvistavat selkeä dokumentointi, henkilöstön riittävä koulutus ja laboratorion sisäinen laadunhallinta. Standardi *ISO 7218* edellyttää, että näytteenoton, viljelyn, inkubaation ja tulosten laskennan vaiheet sekä poikkeamat ja uusintamittaukset dokumentoidaan johdonmukaisesti. HEAL-projektissa käytettiin standardoituja työohjeita, yhtenäisiä inkubaatiolämpötiloja ja –aikoja. Tässä opinnäytetyössä tulosten vertailuun käytettiin Satakunnan ammattikorkeakoulun käytössä olevaa Statgraphics-ohjelmistoa tilastolliseen analyysiin, mikä vähensi tulkinnanvaraa ja paransi tulosten vertailtavuutta. (ISO 7218:2024; Creswell & Creswell 2018.)

Yhteenvedona voidaan todeta, että mikrobiologisten määritysten luotettavuutta ja laatua voidaan parantaa yhdistämällä standardien mukainen näytteenotto ja viljely, maljakokoon suhteutettu laskettavuusalue, rinnakkaisnäytteet, laimennokset, kontrollit, menetelmävertailut sekä systemaattinen laadunhallinta. Näiden periaatteiden noudattaminen vähentää sekä satunnaista että systemaattista virhettä ja tukee sisätilahygieniaa koskevien johtopäätösten luotettavuutta.

7.5 Tulosten yhteenvedo

Tutkimuksen tulokset osoittivat, että konenäköä voidaan käyttää tehokkaana apuvälineenä mikrobiologisten puhtausnäytteiden laskennassa, mutta sen tuottama bias tulee huomioida tulkinnassa. Kokonaisuutena konenäkö tuotti systemaattisesti manuaalilaskentaa pienempiä tuloksia. Ero oli tilastollisesti merkitsevä sekä koko aineistossa että laskettavuusalueella. Laskettavuusalueelle rajaaminen kavensi vaihtelua ja paransi yhtäpitävyyttä, mutta ei poistanut systemaattista eroa.

Käytännössä tämä merkitsee sitä, että konenäköä voidaan hyödyntää rutiininomaisessa analysoinnissa erityisesti silloin, kun halutaan nopeutta sekä yhdenmukaisuutta ja koko aineisto analysoidaan samalla vakioidulla menetelmällä. Laskettavuusalueella tulokset olivat hyvin vertailukelpoisia ja systemaattisesti samansuuntaisia, joten konenäkö soveltuu hygieniatason seurantaan. Kuitenkin ääriarvojen kohdalla manuaalinen tarkastus on tarpeellinen.

8 POHDINTA

8.1 Tutkimustulosten tarkastelu

Tämän tutkimuksen päätavoitteena oli selvittää, onko mikrobiologisten puh-
tausnäytteiden tuloksissa eroavaisuuksia konenäön ja manuaalilaskennan
menetelmien välillä sekä arvioida, millä tekijöillä tulosten luotettavuutta ja laa-
dukkuutta voidaan parantaa. Tulokset osoittivat, että konenäkö aliarvioi manu-
aalilaskentaa systemaattisesti: koko aineistossa keskimääräinen ero eli bias
oli negatiivinen ja tilastollisesti merkitsevä, ja sama suunta säilyi myös lasket-
tavuusalueella 15–150 pmy/malja. Tämä kertoi, että menetelmät eivät ole täy-
sin yhtäpitäviä, vaikka niiden välillä on selkeä yhteys. Samanlaisia havaintoja
on raportoitu myös kansainvälisissä tutkimuksissa, joissa automaattiset las-
kentamenetelmät aliarvioivat systemaattisesti manuaalituloksia erityisesti ää-
riarvoalueilla (Liu ym., 2022).

Laskettavuusalueella menetelmien yhtäpitävyys kuitenkin parani: 95 %:n yh-
teensopivuusrajat (LoA) kaventuivat, mikä pienensi yksittäisten näytteiden tul-
kinnan epävarmuutta. Käytännössä tämä tukee konenäön hyödyntämistä ru-
tiiniseurannassa ja trendien tunnistamisessa, kunhan rajatapaukset varmistea-
taan manuaalisesti. (Giavarina, 2015; ISO 19036:2019.) Tämä havainto on lin-
jassa aiemman tutkimusnäytön kanssa. Esimerkiksi Hoge Kamp, Hoge Kamp ja
Stahl (2020) havaitsivat, että automaattinen laskenta on erityisen epäluotetta-
vaa matalilla ja erittäin korkeilla pesäkeluvuilla, mutta laskettavuusalueella yh-
täpitävyys paranee.

Opinnäytetyössä havaittu konenäön systemaattinen aliarviointi oli todennäköi-
sesti seurausta useista toisiinsa liittyvistä tekijöistä. Ensinnäkin suurilla pesä-
keluvuilla pesäkkeiden limittyminen heikentää sekä automaattisen segmen-
toinnin että manuaalisen erottelun tarkkuutta. Automaatio voi jättää erityisesti
pienet tai epäsäännölliset pesäkkeet havaitsematta useammin kuin ihmis-
silmä. Toiseksi kuvaamisen tekniset olosuhteet, kuten valaistus, tarkennus,
kontrasti ja heijastukset, vaikuttavat konenäön suorituskykyyn enemmän kuin

manuaaliseen laskentaan. Kolmanneksi alhaisilla pesäkeluvuilla satunnaisvaihtelu on suhteellisesti suurta, jolloin yksittäisten maljojen väliset erot kasvavat ja menetelmien välinen hajonta korostuu. Nämä mekanismit selittävät, miksi ero kaventui laskettavuusalueella ja kasvoi sen ulkopuolella. Tämän vuoksi ääripäissä on perusteltua käyttää varmistavaa manuaalista tarkastusta virhetulkintojen välttämiseksi (Hogekamp ym., 2020; ISO 19036:2019).

8.2 Tulosten luotettavuus ja rajoitteet

HEAL-projektissa vahvuutena oli se, että näytteitä otettiin interventio- ja verrokkiryhmien useista kohteista samanaikaisesti, mikä vähensi ympäristötekijöiden vaikutusta. Näytteiden rinnakkaisviljelyt, laimennokset ja kontrollit paransivat tulosten toistettavuutta. Lisäksi konenäköä ja manuaalilaskentaa verrattiin systemaattisesti tilastollisilla menetelmillä, kuten Bland–Altman-analyysillä ja Wilcoxonin signed-rank testillä, mikä mahdollisti menetelmien yhtäpitävyyden arvioinnin luotettavasti. Tilastollisten menetelmien yhdistäminen oli tärkeää, sillä parittainen t-testi on tehokas normaalisti jakautuneessa aineistossa, mutta altis poikkeaville arvoille, kun taas Wilcoxonin signed-rank testi soveltuu ei-normaalisti jakautuneelle aineistolle, mutta sen teho on heikompi normaalilla datalla. Bland–Altman-analyysi puolestaan havainnollisti selkeästi systemaattisen biasin ja satunnaisvaihtelun, mutta ei itsessään testannut merkittävyyttä. Yhdessä nämä menetelmät tarjosivat kattavan näkökulman tulosten luotettavuuteen.

Tuloksiin liittyi kuitenkin myös rajoitteita. Ensinnäkin suuri osa näytteistä, 54 kpl, sijoittui laskettavuusalueen ulkopuolelle matalina arvoina, jolloin tulosten epävarmuus kasvoi. Toiseksi manuaalilaskenta on altis inhimillisille virheille. Kolmanneksi konenäkö voi olla herkkä teknisille tekijöille, kuten valaistukselle tai kuvanlaadulle, mikä voi vaikuttaa tulosten luotettavuuteen. Lisäksi käytettiin vain yhtä konenäköön perustuvaa laitetta, joten eri laitteiden ja algoritmien vertailu voisi antaa laajemman kuvan menetelmän luotettavuudesta. Näistä rajoitteista huolimatta kokonaiskuva tuki konenäön käyttökelpoisuutta manuaalilaskennan rinnalla.

Vaikka tässä työssä ei laskettu standardin *ISO 19036:2019* mukaista numeerista mittausepävarmuutta, tulokset osoittivat epävarmuuden olevan merkittävä erityisesti laskettavuusalueen ulkopuolella. Rinnakkaismaaljat, laskettavuusalueen raja (15–150 pmy/malja) ja konenäön sekä manuaalilaskennan rinnakkainen käyttö pienensivät satunnaisvaihtelua, mutta Bland–Altman-yhdenmukaisuusrajat olivat edelleen melko leveät. Jatkossa systemaattinen epävarmuuslaskenta standardien *ISO 19036:2019* ja *ISO 7218:2024* mukaisesti vahvistaisi tulosten tulkintaa ja mahdollistaisi tarkemman vertailun eri kohteiden ja tutkimusten välillä.

8.3 Mikrobiologisten määritysten luotettavuuden parantaminen

Tutkimuskysymyksen kannalta keskeistä on pohtia, mitä lisätoimia voitaisiin jatkossa tehdä luotettavuuden edelleen parantamiseksi. Yksi tärkeä kehittämiskohde on mittausepävarmuuden systemaattinen arviointi standardien *ISO 19036:2019* ja *ISO 7218:2024* mukaisesti. Tämä vahvistaisi tulosten tulkintaa ja mahdollistaisi tarkemman vertailun eri kohteiden sekä tutkimusten välillä. Lisäksi laboratorioden väliset vertailumittaukset ja säännöllinen laitteiden, kuten pesäkelaskurin, kalibrointi vähentäisivät menetelmäkohtaista vaihtelua sekä tukisivat tulosten vertailukelpoisuutta.

Käytännön tasolla luotettavuutta voidaan vahvistaa myös prosessien yhdenmukaistamisella ja henkilökunnan osaamisen ylläpidolla. Selkeästi dokumentoidut työohjeet, standardien mukaiset inkubaatio-olosuhteet ja näiden seuranta tasaisin välein tehtävin mittauksin, näytteenoton ja käsittelyn auditoinnit sekä säännöllinen perehdytys vähentäisivät inhimillisiä virheitä. Konenäön osalta algoritmien jatkokehitys, parametrien hienosäätö, esimerkiksi pesäkkeen koon ja kontrastin raja-arvot sekä validointi erilaisilla näytematriiseilla ja mikrobimäärillä parantaisivat automaattisen laskennan tarkkuutta erityisesti ääriarvoalueiden ulkopuolella. Yhdistämällä nämä toimenpiteet voidaan

mikrobiologisten määrittysten luotettavuutta ja laadukkuutta parantaa järjestelmällisesti sekä tutkimus- että käytännön työympäristöissä.

8.4 Tulosten käytännön merkitys

Konenäön vahvuuksia ovat nopeus, skaalautuvuus ja toistettavuus. Se soveltuu erityisesti tilanteisiin, joissa analysoidaan suuria määriä näytteitä ja halutaan yhtenäinen käsittelytapa. Manuaalilaskennan etuna on joustavuus ja kyky tehdä tulkintoja vaikeissa tapauksissa, mutta se on hitaampi ja altis inhimillisille virheille. (Field, 2018; Giavarina, 2015.)

Tutkimustuloksilla on käytännön merkitystä sekä työelämän että tutkimuksen näkökulmasta. Konenäkö nopeuttaa laboratoriotyötä, tehostaa analyysiprosessia ja vähentää inhimillisten virheiden riskiä. Tulokset kuitenkin osoittivat, että sen käyttö on luotettavinta laskettavuusalueella, kun taas ääriarvoissa tarvitaan manuaalista tarkistusta. Tämä tarkoittaa, että konenäkö soveltuu hyvin rutiinimittausten ensisijaiseksi työkaluksi, mutta laadunvarmistus edellyttää edelleen manuaalista laskentaa.

8.5 Jatkotutkimus- ja kehittämissuhteet

Tämän opinnäytetyön tulosten perusteella jatkotutkimuksissa olisi hyödyllistä jatkaa pintapuhtausnäytteiden keräämistä useista kohteista ja eri vuodenaikoina, jotta ympäristötekijöiden vaikutusta sisätilan hygieniaan voitaisiin arvioida tarkemmin. Lisäksi konenäön ja muiden tekoälyyn perustuvien laskentajärjestelmien kehittäminen vaatii lisää validointia ja algoritmien kalibrointia.

Käytännön kehittämissuhteina voitaisiin ehdottaa sisätilahygieniaa tukevien ratkaisujen pilotointia uusissa ympäristöissä, kuten toimistotiloissa, jotta sisätilahygienia konseptin hyödyt saataisiin laajemmin käyttöön terveyden edistämiseksi. Lisäksi mittausepävarmuuden systemaattinen arviointi

standardin *ISO 19036:2019* mukaisesti parantaisi tulosten läpinäkyvyyttä ja vertailtavuutta. Näin voidaan varmistaa, että tulokset ovat sekä tieteellisesti että käytännön tasolla luotettavia.

8.6 Oma oppiminen ja asiantuntijuuden kehittyminen

Opinnäytetyöprosessin aikana syvennettiin osaamista kvantitatiivisten menetelmien soveltamisessa käytännön aineistoon sekä vertailemaan eri analyysimenetelmiä toisiinsa. Työn aikana asiantuntijuus vahvistui erityisesti mikrobiologisten puhtausnäytteiden käsittelyssä, tilastollisten analyysien soveltamisessa ja konenäköön perustuvien ratkaisujen arvioinnissa.

Lisäksi opinnäytetyö tarjosi arvokasta kokemusta tutkimusprojektiin osallistumisesta ja yhteistyöstä eri toimijoiden kanssa. Tämä vahvisti valmiuksia toimia asiantuntijana hyvinvointiteknologian ja terveysturvallisuuden kehittämisessä sekä antaa pohjaa tuleville tutkimus- ja kehittämishankkeille.

8.7 Opinnäytetyön luotettavuus ja eettinen näkökulma

Opinnäytetyön luotettavuutta arvioitiin validiteetin ja reliabiliteetin näkökulmista. Validiteettia vahvisti se, että käytetyt menetelmät perustuivat kansainvälisesti hyväksytyihin mikrobiologisiin standardeihin ja aikaisempaan tutkimusnäyttöön (Creswell & Creswell 2018, s. 199). Reliabiliteettia puolestaan pyrittiin lisäämään toistamalla näytteenotto samoissa olosuhteissa sekä käyttämällä yhdenmukaista analyysimenetelmää ja rinnakkaisviljelyjä.

Tutkimuksen eettisyys varmistettiin HEAL-projektin eettisen ennakoarvioinnin kautta (HEAL-projekti 2022). Opinnäytetyössä ei tehty suoraan ihmisiin kohdistuvaa tutkimusta, joten eettiset riskit olivat vähäiset. Tarvittavat tutkimusluvut hankittiin asianmukaisesti, ja tulokset raportoitiin anonymisoidusti siten, että kohteiden luottamuksellisuus säilyi (Vilkkä 2015, s. 102).

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli arvioida mikrobiologisten puhtausnäytteiden tulosten luotettavuutta vertaamalla konenäön ja manuaalilaskennan menetelmiä sekä selvittää, millä tekijöillä tulosten laatua voidaan parantaa. Tutkimus toteutettiin osana HEAL-projektia, jonka tarkoituksena on kehittää kokonaisvaltaista sisätilahygieniaa hyödyntämällä antimikrobisia materiaaleja, kosketusvapaita ratkaisuja, ilmanpuhdistusteknologioita ja vesijärjestelmien hygienian hallintaa.

Tulokset osoittivat, että konenäkö ja manuaalilaskenta eivät ole täysin yhtäpitäviä. Bias oli negatiivinen eli konenäkö aliarvioi manuaalin tuloksia systemaattisesti. Tilastolliset testit osoittivat eron olevan merkitsevä sekä koko aineistossa että laskettavuusalueella. Vaikka yhtäpitävyys parani laskettavuusalueella, menetelmät eivät olleet täysin vaihtokelpoisia. Konenäkö soveltuu kuitenkin ensisijaiseksi menetelmäksi suurten aineistojen käsittelyssä ja rutiiniseurannassa. Kriittisissä tulkinnoissa, kuten raja-arvojen ylittyessä, tulokset on kuitenkin varmistettava manuaalisesti. Tämä yhdistelmä parantaa kustannustehokkuutta ja säilyttää tulosten luotettavuuden.

Luotettavuutta vahvistivat rinnakkaisviljelyt, laimennossarjat ja kontrollinäytteet. Näiden avulla voitiin minimoida satunnaisvaihtelua ja varmistaa tulosten vertailukelpoisuus. Tilastolliset analyysimenetelmät, kuten Wilcoxonin signed-rank testi ja Bland–Altman-analyysi, tukivat havaintoa siitä, että konenäkö tuotti vertailukelpoisia tuloksia laskettavuusalueella.

Käytännön merkityksen kannalta konenäön käyttö mikrobiologisessa analytiikassa tarjoaa merkittävän mahdollisuuden vähentää manuaalisen työn tarvetta ja nopeuttaa tulosten saamista. Tämä voi olla erityisen arvokasta laajoissa tutkimusprojekteissa ja käytännön sovelluksissa esimerkiksi sairaalaympäristössä. Jatkossa suositellaan algoritmien kalibrointia eri ympäristöissä, pitkittäisseurantaa eri vuodenaikoina ja ääriarvojen tarkempaa

tutkimista. Lisäksi tekoälypohjaisten laskentajärjestelmien validointi tarjoaa mahdollisuuden entistä tarkempaan ja tehokkaampaan mikrobimäärien arviointiin.

Näiden havaintojen perusteella voitiin todeta, että konenäkö on käyttökelpoinen ja tehokas menetelmä mikrobiologisten puhtausnäytteiden analysoinnissa, mutta sen rinnalla tarvitaan edelleen manuaalista varmistusta, jotta tulosten luotettavuus säilyy korkealla tasolla. Opinnäytetyön tulokset viittasivat siihen, että jatkotutkimusta tarvitaan erityisesti laskettavuusalueen ulkopuolella sekä eri ympäristöissä. Lisäksi olisi hyödyllistä arvioida konenäön käyttöä laajemmissa aineistoissa ja erilaisten mikrobien tunnistamisessa. Tuloksia voidaan hyödyntää mahdollisesti laajemminkin erilaisten julkisten kiinteistöjen sisätilahygienian seurannassa, joissa konenäkö voi nopeuttaa analytiikkaa ja vähentää työkuormaa, mutta manuaalinen tarkastus varmistaa luotettavuuden kriittisissä päätöksissä.

LÄHTEET

- Adlhart, C., Verran, J., Azevedo, N.F., Olmez, H., Keinänen-Toivola, M.M., Gouveia, I., Melo, L.F. & Crijns, F. (2018). Surface modifications for antimicrobial effects in the healthcare setting: a critical overview. *Journal of Hospital Infection*, 99(3), 239–249. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2018.01.018>
- Andersen, S. (2010). The cost of sickness: On the effect of the duration of sick leave on post-sick leave earnings. *Social Science & Medicine*, 70(10), 1581-1589. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2010.01.033>
- Arene. (2019). Ammattikorkeakoulujen rehtorineuvosto Arene ry. Ammattikorkeakoulujen opinnäytetöiden eettiset suositukset. <https://arene.fi>
- Asaria, M., Griffin, S. & Cookson, R. (2016). Distributional Cost-Effectiveness Analysis. *Medical Decision Making*, 36(1), 8-19. <https://doi.org/10.1177/0272989X15583266>
- Bland, J. M., & Altman, D. G. (1999). Measuring agreement in method comparison studies. *Statistical Methods in Medical Research*, 8(2), 135–160. <https://doi.org/10.1177/096228029900800204>
- Blomberg, E., Herting, G., Kuttuva Rajarao, G., Mehtiö, T., Uusinoka M., Ahonen, M., Mäkinen, R., Mäkitalo, T. & Odnevall, I. (2022). Weathering and Antimicrobial Properties of Laminate and Powder Coatings Containing Silver Phosphate Glass Used as High-Touch Surface. *Sustainability*, 14(12), 7102. <https://doi.org/10.3390/su14127102>
- Byun, H. R., Kim, J. H., Lee, S. H. & Park, J. W. (2020). Antimicrobial air filter coating with plant extracts against airborne bacteria. *Applied Sciences*, 10(24), 9120. <https://doi.org/10.3390/app10249120>
- Bäumler, W., Eckl, D., Holzmann, T., Schneider-Brachert, W. (2022). Antimicrobial coatings for environmental surfaces in hospitals: a potential new pillar for prevention strategies in hygiene. *Critical Reviews in Microbiology*, 48(5), 531-564. <https://doi.org/10.1080/1040841X.2021.1991271>
- Cassidy, S., Sanders, D., Wade, J., Parkin, I., Carmalt, C., Smith, A. & Allan, E. (2020). Antimicrobial surfaces: A need for stewardship?. *PLoS Pathogens*, 16(8), e1008880. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1008880>
- Chadi, A. & Goerke, L. (2018). Missing at work – Sickness-related absence and subsequent career events. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 153, 153-176. <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2018.06.012>
- Chicago Faucets. (2023). Hygiene flush – product/tech info. Haettu 12.9.2025 osoitteesta <https://www.chicagofaucets.com/>

Colin, M., Klingelschmitt, F., Charpentier, E., Josse, J., Kanagaratnam, L., De Champs, C. & Gangloff, S. C. (2018). Copper alloy touch surfaces in healthcare facilities: An effective solution to prevent bacterial spreading. *Materials*, 11(12), 2479. <https://doi.org/10.3390/ma11122479>

Compact Dry. (n.d.). How to use – valmistajan ohje. Haettu 14.4.2025 osoitteesta <https://www.compact-dry.me/>

Creswell, J. W. & Creswell, J. D. (2018). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. SAGE.

Creswell, J. W. & Plano Clark, V. L. (2011). *Designing and Conducting Mixed Methods Research* (2nd ed.). SAGE.

Dai, H. & Zhao, B. 2020. Association of the infection probability of COVID-19 with ventilation rates in confined spaces. *Building and Environment*, 188, 107455. <https://doi.org/10.1007/s12273-020-0703-5>

Dunne, S.S., Ahonen, M., Modic, M., Crijns, F.R.L, Keinänen-Toivola, M.M., Meinke, R., Keevil, C.W., Gray, J., O'Connell, N.H. & Dunne, C.P. (2018). Specialized cleaning associated with antimicrobial coatings for reduction of hospital-acquired infection: opinion of the COST Action Network AMiCI (CA15114). *The Journal of Hospital Infection*, 99(3), 250-255. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2018.03.006>

FDA. (2025). *Bacteriological Analytical Manual – Aerobic Plate Count* (May 2025 edition). Haettu 10.9.2025 osoitteesta <https://www.fda.gov>

Feng, Z., Cao, S-J., Wang, J., Kumar, P. & Haghghat, F. (2021). Indoor airborne disinfection with electrostatic disinfectant (ESD): Numerical simulations of ESD performance and reduction of computing time. *Building and Environment*, 200, 107956. <https://doi.org/10.1016/j.build-env.2021.107956>

Field, A. 2018. *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*. 5th ed. SAGE Publications.

Genano® 525. (n.d.). Laitemanuaali. https://f.hubspotusercontent10.net/hubfs/4908113/Myyntimateriaalit%20Suomi/Genano525_datasheet_suomi_lores.pdf

Giavarina, D. 2015. Understanding Bland Altman Analysis. *Biochemia Medica*, 25(2), 141-151. <https://doi.org/10.11613/BM.2015.015>

HEAL - Healthier life with comprehensive indoor hygiene concept. (2021). *Projektisuunnitelma.HEAL -Healthier life with comprehensive indoor hygiene*

HEAL-projekti. (2022). *Eettinen ennakoarviointi. Projektiohje*.

Hiironen, M-L., Pitkäkangas, V. & Toivonen, L. (2020). Lyhyet sairauspoissalot eri aloilla. Haettu 30.11.2023 osoitteesta <https://tyoelamatieto.fi/>

Horve, P.F., Loyd, S., Mhuireach, G.A., Dietz, L., Fretz, M., MacCrone, G., Van Den Wymelenberg, K. & Ishaq, S.L. (2019). Building upon current knowledge and techniques of indoor microbiology to construct the next era of theory into microorganisms, health, and the built environment. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 30, 219-235. <https://doi.org/10.1038/s41370-019-0157-y>

Hogekamp, L., Hogekamp, S. H. & Stahl, M. R. (2020). Experimental setup and image processing method for automatic enumeration of bacterial colonies on agar plates. *PLoS ONE* 15(6): e0232869. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232869>

Inkinen, J., Mäkinen, R., Keinänen-Toivola, M.M., Nordström, K. & Ahonen, M. (2016). Copper as an antibacterial material in different facilities. *Letters in Applied Microbiology*, 64(1), 19-26. <https://doi.org/10.1111/lam.12680>

ISO 19036:2019. (2019). Microbiology of the food chain — Estimation of measurement uncertainty for quantitative determinations. International Organization for Standardization.

ISO 4833-1:2013. (2013). Microbiology of the food chain — Horizontal method for the enumeration of microorganisms. International Organization for Standardization.

ISO 7218:2024. (2024). Microbiology of the food chain. General requirements and guidance for microbiological examinations.

Ivask, A., Ahonen, M., Kogermann, K. (2022). Antimicrobial Nano Coatings. *Nanomaterials*, 12(23), 4338. <https://doi.org/10.3390/nano12234338>

Kananen, J. (2017). Laadullinen tutkimus pro gradu -työnä ja opinnäytetyönä. Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Kivisaari, M. (n.d.) Ohje antimikrobisilta pinnoilta otettujen puhtausnäytteiden viljelyyn. Tukimuskeskus WANDER. Työohje.

Lilja, K. (2017) Hyvinvointiteknologian määritelmää ja eettisiä perusteita etsimässä. [YAMK opinnäytetyö]. Theseus. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2017081514351>

Liu, S-J., Huang, P-C., Liu, X-S, Lin, J-J & Zou, Z. (2022). A two-stage deep counting for bacterial colonies from multi-sources. *Applied Soft Computing*, 130, 109706. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2022.109706>

LoBiondo-Wood, G., Haber, J., & Berry, C. A. (toim.) (2018). Study Guide for Nursing Research: Methods and Critical Appraisal for Evidence-Based Practice (9th ed.). Elsevier.

Lounamo, K., Tuuminen, T. & Kotilainen, H. (2014). Infektioiden tartuttavuus-tekijät. Haettu 9.12.2023 osoitteesta <https://www.terveysportti.fi/>

McEvoy, J. & Zhang, Z. (2014.) Antimicrobial and photocatalytic disinfection mechanisms in silver-modified photocatalysts under dark and light conditions. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 19, 62-75. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2014.01.001>

Morawska, L. & Milton, D.K. (2020). It is Time to Address Airborne Transmission of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *Clinical Infectious Diseases*, 71(9), 2311–2313. <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa939>

Oras. (2025). Kosketusvapaat hanat. Haettu 16.8.2025 osoitteesta <https://www.oras.com/>

Rawlinson, S., Ciric, L. & Cloutman-Green, E. (2019). How to carry out microbiological sampling of healthcare environment surfaces? A review of current evidence. *Journal of Hospital Infection*, 103, 363-374. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2019.07.015>

RT 103191. (2020). Hygienia sisätiloissa. Yleiset perusteet. Rakennustieto. <https://kortistot.rakennustieto.fi>

Salonen, N., Mäkinen, R., Ahonen, M., Mäkitalo, T., Peltto-Huikko, A., & Latva, M. (2022). A comprehensive indoor hygiene concept for infection prevention and control within built environments. *Frontiers in Built Environment*, 8, 1075009. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.1075009>

Salonen, N., Ahonen, M., Sirén, K., Mäkinen, R., Anttila, V.-J., Kivisaari, M., Salonen, K., Peltto-Huikko, A., & Latva, M. (2023). Methods for infection prevention in the built environment—a mini-review. *Frontiers in Built Environment*, 9, 1212920. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2023.1212920>

Schindelin, J., Arganda-Carreras, I., Frise, E., Kaynig, V., Longair, M., Pietzsch, T., Preibisch, S., Rueden, C., Saalfeld, S., Schmid, B., Tinevez, J.-Y., White, D. J., Hartenstein, V., Eliceiri, K., Tomancak, P., & Cardona, A. (2012). Fiji: An open-source platform for biological-image analysis. *Nature Methods*, 9(7), 676–682. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2019>

Shah, K.W. ja Wenxin, L. (2019). A Review on Catalytic Nanomaterials for Volatile Organic Compounds VOC Removal and Their Applications for Healthy Buildings. *Nanomaterials* 2019, 9(6), 910. <https://doi.org/10.3390/nano9060910>

Shuttleworth, M. (2008). Quantitative Research Design. Haettu 10.12.2023 osoitteesta <https://explorable.com/>

Song, L., Zhou, J., Wang, C., Meng, G., Li, Y., Jarin, M., Wu, Z. & Xie, X. (2022). Airborne pathogenic microorganisms and air cleaning technology

development: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 424, 127429.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127429>

THL. (2021). Hyvinvointiteknologia – määritelmä ja linjaukset. Terveystieteiden ja hyvinvoinnin laitos. Haettu 24.4.2025 osoitteesta <https://thl.fi/>

Tietoarkisto. (n.d.) Kvantitatiivisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Haettu 10.12.2023 osoitteesta <https://www.fsd.tuni.fi/>

Tutkimuskeskus WANDER. (n.d.) Heal – Terveysturvallisuutta sisätilan hygieniakonseptilla. Haettu 8.12.2023 osoitteesta <https://www.wander.fi/>

Vidalia, C., Angelina, E., Hans, J., Field, L. H., Santo, N. C., & Rukmini, E. (2023). Eco-enzyme as disinfectant: a systematic literature review. *International Journal of Public Health Science*, 12(3), 1171–1180.
<https://doi.org/10.11591/ijphs.v12i3.22131>

Vilka, H. 2015. Tutki ja kehitä. Tammi.

WHO. (2011). World Health Organisation. Guidelines for Drinking-water Quality (4th edition). Geneva: World Health Organization. Haettu 5.12.2024 osoitteesta <https://iris.who.int/>

WHO. (2022). World Health Organisation. Global report on infection prevention and control. Haettu 5.12.2024 osoitteesta <https://iris.who.int/>

LIITE 1. NÄYTTEENOTON 4.11.24 TULOKSET

Näytteenotto	Näyte	Manual1	Manual2	Manual_keskiaivo	Kone1	Kone2	Kone_keskiaivo	Ero_suora (Kone-Manuaali)
Notto 4.11.24	A01	1	1	1	0	0	0	-1
Notto 4.11.24		51	50	50,5	45	46	45,5	-5
Notto 4.11.24		793	40	43,5	31	41	36	-7,5
Notto 4.11.24		795	89	101,5	60	65	62,5	-39
Notto 4.11.24		800	10	13,5	9	11	10	-3,5
Notto 4.11.24		818	10	9	7	9	8	-1
Notto 4.11.24		821	1041	1001,5	313	599	456	-545,5
Notto 4.11.24		824	63	64	53	43	48	-16
Notto 4.11.24		827	17	18	18	18	18	0
Notto 4.11.24		832	43	39,5	45	28	36,5	-3
Notto 4.11.24		837	11	16	11	21	16	0
Notto 4.11.24		838	83	86	65	87	76	-10
Notto 4.11.24		842	31	31,5	31	22	26,5	-5
Notto 4.11.24		843	672	664	309	484	396,5	-267,5
Notto 4.11.24		845	40	38	32	34	33	-5
Notto 4.11.24		846	42	42,5	32	36	34	-8,5
Notto 4.11.24		848	148	162,5	91	115	103	-59,5
Notto 4.11.24		849	11	10	13	10	11,5	1,5
Notto 4.11.24		850	403	391,5	218	298	258	-133,5
Notto 4.11.24		851	51	49	40	42	41	-8
Notto 4.11.24		857	27	26	22	25	23,5	-2,5
Notto 4.11.24		865	12	8	12	7	9,5	1,5
Notto 4.11.24		866	7	6	8	9	8,5	2,5
Notto 4.11.24		867	7	4,5	10	6	8	3,5
Notto 4.11.24		868	15	28	17	28	22,5	1
Notto 4.11.24		869	37	34	16	20	18	-16
Notto 4.11.24		871	52	58,5	42	49	45,5	-13
Notto 4.11.24		872	270	243	119	128	123,5	-119,5
Notto 4.11.24		875	8	8,5	7	10	8,5	0
Notto 4.11.24		876	40	40	29	31	30	-10
Notto 4.11.24		878	91	125	55	88	71,5	-53,5
Notto 4.11.24		879	12	11	11	7	9	-2
Notto 4.11.24		883	1	1	4	3	3,5	2,5
Notto 4.11.24		884	3	3	6	5	5,5	2,5
Notto 4.11.24		885	19	18,5	11	17	14	-4,5
Notto 4.11.24	L02	0	0	0	0	0	0	0

LIITE 2. NÄYTTEENOTON 15.4.24 TULOKSET

Näytteenotto	Näyte	Manual1	Manual2	Manual_keskiarvo	Kone1	Kone2	Kone_keskiarvo	Ero_suora (Kone-Manuaali)
Notto 15.4.24	A01	0	0	0	4	7	5,5	5,5
Notto 15.4.24	674	11	10	10,5	13	12	12,5	2
Notto 15.4.24	676	3	2	2,5	6	4	5	2,5
Notto 15.4.24	677	138	174	156	87	115	101	-55
Notto 15.4.24	684	13	10	11,5	7	11	9	-2,5
Notto 15.4.24	686	23	21	22	14	20	17	-5
Notto 15.4.24	692	47	38	42,5	40	39	39,5	-3
Notto 15.4.24	693	4	3	3,5	10	2	6	2,5
Notto 15.4.24	694	16	17	16,5	12	15	13,5	-3
Notto 15.4.24	695	9	5	7	9	11	10	3
Notto 15.4.24	699	31	18	24,5	28	15	21,5	-3
Notto 15.4.24	700	6	5	5,5	6	5	5,5	0
Notto 15.4.24	702	30	23	26,5	25	20	22,5	-4
Notto 15.4.24	706	15	9	12	16	10	13	1
Notto 15.4.24	707	22	19	20,5	22	18	20	-0,5
Notto 15.4.24	714				301	547	424	
Notto 15.4.24	719	23	24	23,5	21	21	21	-2,5
Notto 15.4.24	722	403	379	391	269	251	260	-131
Notto 15.4.24	724	5	10	7,5	5	11	8	0,5
Notto 15.4.24	726	14	15	14,5	12	13	12,5	-2
Notto 15.4.24	727	282	260	271	148	176	162	-109
Notto 15.4.24	735	22	15	18,5	21	14	17,5	-1
Notto 15.4.24	738	8	2	5	6	14	10	5
Notto 15.4.24	744	3	3	3	5	7	6	3
Notto 15.4.24	745	8	8	8	8	7	7,5	-0,5
Notto 15.4.24	746	9	12	10,5	9	13	11	0,5
Notto 15.4.24	747	89	116	102,5	68	86	77	-25,5
Notto 15.4.24	748	7	8	7,5	6	8	7	-0,5
Notto 15.4.24	749	49	39	44	23	40	31,5	-12,5
Notto 15.4.24	750	45	56	50,5	35	55	45	-5,5
Notto 15.4.24	757	10	6	8	9	8	8,5	0,5
Notto 15.4.24	764	35	33	34	28	28	28	-6
Notto 15.4.24	778	57	32	44,5	39	24	31,5	-13
Notto 15.4.24	781	104	107	105,5	77	85	81	-24,5
Notto 15.4.24	783	26	22	24	21	18	19,5	-4,5
Notto 15.4.24	784	9	13	11	7	9	8	-3
Notto 15.4.24	L02	0	0	0	7	5	6	6

LIITE 3. NÄYTTEENOTON 18.3.24 TULOKSET

Näytteenotto	Näyte	Manual1	Manual2	Manual_keskiarvo	Kone1	Kone2	Kone_keskiarvo	Ero_suora (Kone-Manuaali)
Notto 18.3.24	A02	1	0	0,5	3	2	2,5	2
Notto 18.3.24		20	24	22	16	20	18	-4
Notto 18.3.24		81	80	80,5	62	66	64	-16,5
Notto 18.3.24		29	42	35,5	22	35	28,5	-7
Notto 18.3.24		172	139	155,5	63	69	66	-89,5
Notto 18.3.24		52	61	56,5	47	52	49,5	-7
Notto 18.3.24		132	158	145	68	81	74,5	-70,5
Notto 18.3.24		4	12	8	4	12	8	0
Notto 18.3.24		11	4	7,5	7	5	6	-1,5
Notto 18.3.24		623	536	579,5	376	424	400	-179,5
Notto 18.3.24		11	23	17	11	20	15,5	-1,5
Notto 18.3.24		27	31	29	17	24	20,5	-8,5
Notto 18.3.24		17	24	20,5	14	24	19	-1,5
Notto 18.3.24		65	45	55	38	41	39,5	-15,5
Notto 18.3.24		16	14	15	15	11	13	-2
Notto 18.3.24		15	19	17	15	16	15,5	-1,5
Notto 18.3.24		26	25	25,5	21	23	22	-3,5
Notto 18.3.24		139	140	139,5	116	109	112,5	-27
Notto 18.3.24		33	36	34,5	27	29	28	-6,5
Notto 18.3.24		16	17	16,5	13	13	13	-3,5
Notto 18.3.24		26	26	26	20	26	23	-3
Notto 18.3.24		3	6	4,5	4	5	4,5	0
Notto 18.3.24		9	11	10	7	15	11	1
Notto 18.3.24		37	45	41	23	27	25	-16
Notto 18.3.24		12	12	12	7	9	8	-4
Notto 18.3.24		64	73	68,5	48	65	56,5	-12
Notto 18.3.24		38	33	35,5	23	24	23,5	-12
Notto 18.3.24		20	17	18,5	18	17	17,5	-1
Notto 18.3.24		621	687	654	379	509	444	-210
Notto 18.3.24		52	44	48	31	33	32	-16
Notto 18.3.24		14	16	15	11	13	12	-3
Notto 18.3.24		37	37	37	29	31	30	-7
Notto 18.3.24		52	43	47,5	39	37	38	-9,5
Notto 18.3.24		21	14	17,5	21	17	19	1,5
Notto 18.3.24		61	66	63,5	37	46	41,5	-22
Notto 18.3.24		15	26	20,5	15	11	13	-7,5
Notto 18.3.24		80	57	68,5	60	44	52	-16,5
Notto 18.3.24		28	51	39,5	22	18	20	-19,5
Notto 18.3.24	L02	0	0	0	3	3	3	3

LIITE 4. NÄYTTEENOTON 12.4.24 TULOKSET

Näytteenotto	Näyte	Manual1	Manual2	Manual_keskiarvo	Kone1	Kone2	Kone_keskiarvo	Ero_suora (Kone-Manuaali)
Notto 12.4.24	A01	2	0	1	6	1	3,5	2,5
Notto 12.4.24		22	25	23,5	20	25	22,5	-1
Notto 12.4.24		28	24	26	24	22	23	-3
Notto 12.4.24		41	45	43	28	36	32	-11
Notto 12.4.24		52	39	45,5	39	45	42	-3,5
Notto 12.4.24		43	46	44,5	33	44	38,5	-6
Notto 12.4.24		34	38	36	28	35	31,5	-4,5
Notto 12.4.24		68	56	62	49	49	49	-13
Notto 12.4.24		7	9	8	27	24	25,5	17,5
Notto 12.4.24		30	15	22,5	6	12	9	-13,5
Notto 12.4.24		21	21	21	20	22	21	0
Notto 12.4.24		10	14	12	10	14	12	0
Notto 12.4.24		30	28	29	23	25	24	-5
Notto 12.4.24		4	5	4,5	5	7	6	1,5
Notto 12.4.24		9	11	10	14	12	13	3
Notto 12.4.24		17	32	24,5	16	28	22	-2,5
Notto 12.4.24		50	57	53,5	40	51	45,5	-8
Notto 12.4.24		3	6	4,5	6	5	5,5	1
Notto 12.4.24		79	66	72,5	55	56	55,5	-1,7
Notto 12.4.24		38	35	36,5	32	30	31	-5,5
Notto 12.4.24		101	97	99	82	73	77,5	-21,5
Notto 12.4.24		22	17	19,5	19	17	18	-1,5
Notto 12.4.24		28	40	34	23	35	29	-5
Notto 12.4.24		75	82	78,5	63	71	67	-11,5
Notto 12.4.24		22	24	23	22	19	20,5	-2,5
Notto 12.4.24		134	133	133,5	106	105	105,5	-28
Notto 12.4.24		39	48	43,5	35	40	37,5	-6
Notto 12.4.24		58	65	61,5	47	51	49	-12,5
Notto 12.4.24	L02	0	0	0	2	9	5,5	5,5

LIITE 5. TYÖSSÄ HUOMIOIDUT LAIMENNOSNÄYTTEET

Näytteenotto	Näyte	Manual L1	Manual L2	Manual L keskiarvo	Kone L1	Kone L2	Kone L keskiarvo	Laimennoskerroin	Erotus (Kone L – Manual L)
Notto 4.11.24	821	120	136	128	100	117	108,5	1:19	-19,5
Notto 4.11.24	843	96	95	95,5	88	79	83,5	1:19	-12
Notto 4.11.24	872	119	122	120,5	94	87	90,5	1:19	-30
Notto 4.11.24	885	13	17	15	15	18	16,5	1:19	1,5
Notto 15.4.24	722	28	19	23,5	26	15	20,5	1:19	-3
Notto 18.3.24	495	32	37	34,5	26	23	24,5	1:19	-10
Notto 18.3.24	526	68	49	58,5	43	48	45,5	1:19	-13

LIITE 6. TULOKSIEN YHTEENVETO

Näytteenotto	Aineisto	n_parit	bias	sd_diffs	LoA_low	LoA_high	p_arvo
Kaikki näytteenotot	Kaikki suorat	140	-19,05	59,35475	-135,385	97,28532	4,32E-14
Kaikki näytteenotot	15-150 (suorat)	78	-10,15384615	11,62825	-32,9452	12,63753	8,29E-14
Kaikki näytteenotot	15-150(suorat + laimen)	85	-10,21176471	11,45602	-32,6656	12,24203	7,67E-15

LIITE 7. KOONTITULOKSET MENETELMÄVERTAILUSTA

Näytteenotto	Aineisto	n_parit	bias	sd_diffs	LoA_low	LoA_high	p_arvo
Notto 4.11.24	Kaikki suorat	36	-37,02777778	101,598	-236,16	162,1043	5,77E-05
Notto 4.11.24	15-150 (suorat)	18	-11,63888889	14,04175	-39,1607	15,88294	0,000526
Notto 4.11.24	15-150(suorat + laimen)	22	-11,79545455	13,60292	-38,4572	14,86627	0,000139
Notto 15.4.24	Kaikki suorat	36	-10,69444444	29,1962	-67,919	46,53011	0,013257
Notto 15.4.24	15-150 (suorat)	14	-7,892857143	8,117357	-23,8029	8,017162	0,000122
Notto 15.4.24	15-150(suorat + laimen)	15	-7,566666667	7,923443	-23,0966	7,963282	6,1E-05
Notto 18.3.24	Kaikki suorat	39	-20,46153846	44,91606	-108,497	67,57394	8,97E-07
Notto 18.3.24	15-150 (suorat)	25	-12,14	14,23429	-40,0392	15,75921	4,17E-07
Notto 18.3.24	15-150(suorat + laimen)	27	-12,09259259	13,68326	-38,9118	14,72659	1,04E-07
Notto 12.4.24	Kaikki suorat	29	-5,206896552	8,738786	-22,3349	11,92112	0,001782
Notto 12.4.24	15-150 (suorat)	21	-8,023809524	7,194575	-22,1252	6,077557	8,82E-05
Notto 12.4.24	15-150(suorat + laimen)	21	-8,023809524	7,194575	-22,1252	6,077557	8,82E-05