



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Sara Korkiamäki & Pinja Samppala

Yhteistyörobottien rakenne ja puhdistettavuus

Opinnäytetyö

Kevät 2023

Insinööri (AMK), Bio- ja elintarviketekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Bio- ja elintarviketekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Elintarviketeknologia

Tekijä: Sara Korkiamäki & Pinja Samppala

Työn nimi alaotsikoineen: Yhteistyörobottien rakenne ja puhdistettavuus

Ohjaaja: Margit Närvä & Gun Wirtanen

Vuosi: 2023

Sivumäärä: 80

Liitteiden lukumäärä: 2

Työn tavoitteena oli saada tietoa yhteistyörobottien ruokaturvallisuudesta rakenteen tulkinnan sekä näytteenoton avulla. Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää yhteistyörobotin soveltuvuus elintarviketeollisuuden korkeampaa hygieniää vaativiin työtehtäviin. Tällaisissa tehtävissä yhteistyörobotin toimenkuva voi olla esimerkiksi raaka-aineiden siirtäminen. Tällöin raaka-ainetta voi jäädä yhteistyörobotin rakenteisiin. Jäämät voivat aiheuttaa rakenteissa riskikontaminoitumisen tai esimerkiksi patogeenien pesiytymisen vaaran. Nämä ovat uhka ruokaturvallisuudelle.

Teoriaosuudessa perehdyttiin esimerkiksi yhteistyörobottien rakenteeseen, riskeihin ja vaaratekijöihin elintarviketeollisuudessa sekä erilaisiin pintapuhtautta määrittäviin näytteenotomenetelmiin. Yhteistyöroboteista ei juurikaan löydy aiempaa tutkimustietoa elintarviketurvallisuuden näkökulmasta, joten tämä esiselvitystyö on tärkeä alkusysäys aiheen tutkimiselle.

Tutkimusmenetelminä tässä työssä käytettiin rakenteen valokuvausta ja analysointia sekä näytteenottoa. Rakennetta tulkittiin kolmesta eri yhteistyörobotista ja näytteenotossa käytettiin petrifilmejä ja proteiini- sekä allergeenitestejä. Näytteenottoa toteutettiin sivelemällä yhteen yhteistyörobottiin elintarviketta, jonka jälkeen se puhdistettiin. Puhdistamisen jälkeen siitä otettiin näytteitä rakenteen analysoinnin perusteella valikoiduista kohteista.

Tuloksena saatiin selville, että yhteistyörobottien rakennetta ja puhdistettavuutta täytyisi kehittää, jotta niitä voitaisiin käyttää korkeamman hygienian tehtävissä elintarviketurvallisesti. Rakenteen epätasaisuudet ja johdotukset voivat aiheuttaa merkittäviä elintarviketurvallisuusriskejä. Kertakäyttöisten suojapukujen käyttö voi toimia parannusvaihtoehtona. Tulosten perusteella kehitysehdotuksina ovat rakenteiden ja pintojen muotoilu, jotta kehitetyt laitteet olisivat entistä tuoteturvallisempia elintarviketeollisuudessa.

¹ Asiasanat: Robotiikka, elintarviketurvallisuus, puhtaus, näytteenotto, elintarviketuotanto, elintarviketeollisuus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Engineering, Food Processing and Biotechnology

Specialisation: Food technology

Author/s: Sara Korkiamäki & Pinja Samppala

Title of thesis: Structure and cleanability of collaborative robots

Supervisor(s): Margit Närvä & Gun Wirtanen

Year: 2023

Number of pages: 80

Number of appendices: 2

The objective of this work was to obtain information about the food safety of collaborative robots, i.e., cobots. The goal of this thesis was to discover the suitability of a cobot for high hygiene tasks in the food industry. Organic residues in a cobot can increase the risk of organic cross-contamination or growth of pathogens in the structures. These factors are threats to food safety.

In the theory part, the structure of cobots, the risks and hazards in the food industry and various sampling techniques for determining the surface cleanliness were studied. There are few previous studies concerning cobots from the perspective of the food industry. That is why this preliminary survey is an important break impulse for further research on the food safety of cobots. The research methods in this study were photography and analysis of the structure, as well as sampling with petrifilms, protein tests and allergen tests.

The results showed that the structure and cleanability of cobots should be improved in order to be used in higher hygiene tasks in a food-safety way. The unevenness of the surfaces and the wirings can cause significant risks for the food safety. Based on the results the design of structures and surfaces has to be improved when developing food-safe equipment for the food industry.

¹ Keywords: Robotics, food safety, cleanliness, sampling, food production, food industry

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
SISÄLTÖ	4
Kuvaluettelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	8
1 JOHDANTO	9
1.1 Työn tausta	9
1.2 Työn tavoite.....	10
1.3 Työn rakenne	10
2 YHTEISTYÖROBOTIIKKA	12
2.1 Taustatietoa yhteistyöroboteista.....	12
2.2 Yhteistyörobotit elintarviketeollisuudessa.....	15
2.3 Yhteistyörobotin rakenne.....	17
3 YHTEISTYÖROBOTTEIHIN LIITTYVÄT DIREKTIIVIT, ASETUKSET JA STANDARDIT	21
3.1 Konedirektiivi ja yhteistyörobotiikka.....	21
3.2 Elintarvikehygienia-asetus, elintarviketurvallisuuskulttuuri ja yhteistyörobotit	22
3.3 Asetukset vieraisaineiden enimmäismääristä ja elintarviketiedoista.....	23
3.4 Erilaisia standardeja robotiikkaan liittyen.....	24
4 YHTEISTYÖROBOTIN PUHDISTETTAVUUS JA SIIHEN LIITTYVÄT VAATIMUKSET	26
4.1 Riskit ja vaaratekijät elintarviketuotannossa	26
4.1.1 Mikrobiologiset vaaratekijät elintarviketeollisuudessa	26
4.1.2 Kemialliset ja fysikaaliset vaaratekijät elintarviketeollisuudessa	30
4.2 Laittehygienian ja laitehygieeninen suunnittelu	30
4.3 Puhdistus ja desinfiointi elintarviketeollisuudessa	31
4.3.1 Puhdistusaineiden ainesosat	33
4.3.2 Desinfiointiaineet elintarviketeollisuudessa	33
4.3.3 Biosidien käyttö hygienian takaamiseksi.....	34
4.4 Näytteenotto ja analysointi puhtaudentarkkailussa.....	34
4.4.1 Luminometri ja pesuainejäämien tutkiminen	34

4.4.2	Viljely	35
4.4.3	Valkuaisaine- eli proteiinitestit ja allergeenitestit	36
4.4.4	Patogeenien testaus	37
5	TUTKIMUSMENETELMÄT	38
5.1	Rakenteen valokuvaus	38
5.2	Näytteenotto	39
6	TUTKIMUSTULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI	41
6.1	Rakenteen valokuvaus ja analysointi	41
6.2	Näytteenotto ja tulokset	56
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	70
	LÄHTEET	72
	LIITTEET	80

Kuvaluettelo

Kuva 1. Perinteinen teollisuusrobotti ja turvalaserskanneri.....	18
Kuva 2. Havainnollistava kuva teollisuusrobottiin asennettavista päätetyökaluista.....	20
Kuva 3. UR5:n yleiskuva.....	42
Kuva 4. UR5:n yleiskuva tarkemmin.	43
Kuva 5. UR5:n ohjain edestä.	44
Kuva 6. UR5:n ohjain takaa.	44
Kuva 7. UR5:n päätetyökalu.	45
Kuva 8. UR5:n paineentunnistin ja konenäkö.	45
Kuva 9. UR5:n kiertyvät nivelet.....	46
Kuva 10. UR5:n liitoksia.....	47
Kuva 11. UR5:n jalusta.	47
Kuva 12. UR10:n yleiskuva.....	48
Kuva 13. 3D-tulostettu päätetyökalu sekä palikka ja nivelsuojat.....	49
Kuva 14. GoFan yleiskuva.....	50
Kuva 15. GoFan yleiskuva tarkemmin.	51
Kuva 16. GoFan jalusta ja ohjain edestä.	51
Kuva 17. GoFan ohjain takaa.	52
Kuva 18. GoFan päätetyökalu.	53
Kuva 19. GoFan ruuviliitoksia ja välejä.	53
Kuva 20. GoFan niveliä.....	54

Kuva 21. GoFan telakointiasema.	54
Kuva 22. GoFan ruuviliitoksia ja välejä eri kuvakulmasta.	55
Kuva 23. Valitut kohteet siveltyinä kermakastikkeella.	56
Kuva 24. Valitut kohteet vaahtopesuaineella.	58
Kuva 25. Yhteistyörobotti pestynä ja pyyhittyinä desinfiointiliinoilla.	58
Kuva 26. Yhteistyörobotin tutkittavat osat merkittyinä.	60
Kuva 27. Nivelsuojat siveltyinä kermakastikkeella.	60
Kuva 28. 3D-tulostettu tarttuja siveltyinä kermakastikkeella.	61
Kuva 29. 3D-tulostettu palikka siveltyinä kermakastikkeella.	61
Kuva 30. Proteiinitestien tuloksia ja mallikortti.	66
Kuva 31. PP-muovipinnan positiivinen tulos allergeenitestillä.	69
Kuva 32. Muovi- ja alumiinipinnan liitoskohdan negatiivinen tulos allergeenitestillä.	69

Käytetyt termit ja lyhenteet

3D-anturi	Anturi mittaa tilavuutta, etäisyyttä ja pinnankorkeutta infrapunavalon avulla. Mittaus perustuu valon heijastumiseen pinnalta ja siihen kuluvaan aikaan.
ATP	Adenosiinitrifosfaatti (ATP) tarkoittaa solutasolla yhdistettä, joka toimii sekä energian siirtäjänä että varastojana.
End effector	Robotin käsivarren päähän kiinnitettävä työkalu, tarttuja tai anturi. Käytetään myös termiä <i>End-of-Arm Tool</i> (EoAT).
HEPA	High Efficiency Particulate Air
Koordinaatisto	Toiselta nimeltään koordinaattijärjestelmä, joka ohjaa robotin liikkumista. Esimerkiksi käsiajolla usein kolme eri koordinaatistoa: nivelkoordinaatisto, suorakulmainen koordinaatisto ja työkalukoordinaatisto.
RLU	Relative Light Unit. Suhteellinen valoyksikkö. Luminometrin mittauksessa saatu tulos ilmoitetaan RLU. Mittausarvot ovat laitekohtaisia.
Selektiivinen	Valikoiva. Esimerkiksi elatusaine, jolla kasvaa vain tietynlainen bakteeri.
Tarttuja	Robotin käsivarren päähän asennettava laite, jolla robotti pystyy käsittelemään erilaisia kappaleita.
Teollisuusrobotti	Automaattisesti ohjattavissa, uudelleen ohjelmoitavissa oleva monikäyttöinen manipulaattori kolmella tai useammalla ohjelmoitavissa olevalla akselilla.
Tietokonenäkö	Tietokoneen kyky tarkistaa ja tulkita kuvia. Perustuu tekoälyyn ja koneoppimiseen.
ULPA	Ultra Low Particulate Air

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Opinnäytetyön aiheena on tutkia yhteistyörobottien rakenteita ja niiden puhdistettavuutta. Aihe on ajankohtainen ja tärkeä, sillä yhteistyörobotteja on jo käytössä eri yrityksissä, ja ne ovat jatkuvasti yleistymässä teollisuudessa. Työn toimeksiantaja on Seinäjoen ammattikorkeakoulun hanke Yhteistyörobotit – ruokaturvallisuus ja tuottavuus. Tämän projektin rahoittaja on Töysän säästöpankkisäätiön tutkimusrahasto. Tutkimushankkeen tavoitteena on selvittää yhteistyörobottien mahdollisuuksia elintarviketuotannossa. Tämä opinnäytetyö on esiselvitystyyppinen tutkimus yhteistyörobottien rakenteesta ja puhdistettavuudesta. Yhteistyörobottien helppo ohjelmointi ja nopea siirrettävyys toisiin työtehtäviin helpottaisi elintarviketuotannon työntekijöiden taakkaa ja voisi parantaa tuottavuutta. Pakkaamattomia elintarvikkeita käsiteltäessä laitteiden rakenne ja niiden puhdistettavuus ovat erittäin tärkeitä asioita elintarviketurvallisuuden kannalta. Elintarviketeollisuuden prosesseissa yhteistyörobotin toimenkuvaan voisi kuulua pakkaamattomien elintarvikkeiden, esimerkiksi raaka-aineiden siirtäminen prosessin vaiheesta toiseen. Tällaisessa työtehtävässä raaka-ainetta voi jäädä yhteistyörobotin rakenteisiin. Tässä työssä käytetään yhteistyörobotin lisäksi termiä kobotti, joka on yleisesti käytössä aiheesta puhuttaessa. Termi *kobotti* tulee englanninkielisestä sanasta *cobot* (myös *co-bot*), joka taas on lyhenne sanasta *collaborative robot*.

Yhteistyörobotiikkaan liittyvää teoretietoa on löydettävissä lähinnä vieraskielisesti, mutta joitain suomenkielisiä tiedonlähteitäkin löytyy. Aiempia opinnäytetöitä koskien yhteistyörobotteja on tehty, mutta ne keskittyvät lähinnä muuhun teollisuuden alaan kuin elintarviketeollisuuteen. Aikaisempaa muuta tutkimustietoa koboteista on löydettävissä muissa kuin elintarvikealan sovellutuksissa. Yksi tapaustutkimus kuitenkin koskee meijerissä juustoja käsittelevää teollisuusrobotia (International Federation of Robotics (IFR), 2022b). Kyseinen tapaustutkimus koskee teollisuusrobotia, joka on suunniteltu kyseiseen työhön ja kykenee toimimaan elintarviketurvallisesti tehtävässään. Elintarvikealalta tutkimuksia koboteille ei vielä juurikaan toteutettu, etenkin koskien nimenomaan elintarviketurvallisuutta. Tämän takia opinnäytetyö yhteistyörobottien rakenteesta ja sen puhdistettavuudesta on tärkeä esiselvitys, sillä se voi luoda pohjaa yhteistyörobottien tulevaisuuteen elintarviketeollisuudessa.

1.2 Työn tavoite

Työn päätavoitteena oli selvittää yhteistyörobottien ruokaturvallisuutta elintarviketuotannossa. Työssä selvitettiin konedirektiivin sekä asetusten ja standardien tuomat vaatimukset, joiden perusteella kyettiin toteamaan mahdolliset riskit. Työssä selvitettiin kahdella eri tutkimusmenetelmällä, onko kobotti mahdollista puhdistaa niin, ettei siihen pääse kerääntymään ruokaturvallisuutta uhkaavia orgaanisia aineita. Tällaisia voivat olla esimerkiksi elintarvikelijäät tai pöly. Tavoitteena oli tehdä analyysi yhteistyörobotin rakenteista sekä tutkimusta pintapuh-
tausnäytteillä. Rakenteen tulkinnan tuloksia analysoitiin puhdistettavuuden kannalta verraten asetusten ja standardien vaatimuksiin.

1.3 Työn rakenne

Työn kirjallisuusosuudessa perehdytään yhteistyörobotiikan taustatietoihin (luku 2.1) sekä yhteistyörobottien käyttöön elintarviketeollisuudessa (luku 2.2). Taustatiedoissa kerrotaan tilastoista, aikaisemmasta tutkimustiedosta sekä siitä mikä yhteistyörobotti oikeastaan on. Tämän lisäksi käydään läpi yhteistyörobotin rakennetta, jossa tutustutaan myös kobotin suojausmekanismeihin ja mahdollisiin lisälaitteisiin sekä sen ohjelmointiin (luku 2.3).

Kirjallisuuden toisessa osuudessa tutustutaan yhteistyörobottia koskeviin asetuksiin ja standardeihin sekä konedirektiiviin. Tässä osuudessa hyödynnetään esimerkiksi Euroopan unionin (EU) asetusta elintarviketehygieniasta (luku 3.2) sekä direktiiviä koneista (luku 3.1). Standardeista käydään läpi esimerkiksi teollisuusrobottien turvallista suunnittelua sekä teollisuusrobottien turvallisuusvaatimuksia koskevia standardeja (luku 3.4). Näiden ohella tutustutaan tarkemmin myös juuri yhteistyörobotteja koskeviin standardeihin.

Kirjallisuuden kolmannessa osiossa tutustutaan elintarviketeollisuuteen liittyvään puhdistettavuuteen, tarkastellaan riskejä ja vaaratekijöitä elintarviketeollisuudessa (luku 4.1) ja syvennyttään laitehygieniaan (luku 4.2). Tällaiset riskit voivat olla mikrobiologisia, kemiallisia tai fyysisiä. Tässä osiossa käydään läpi myös puhdistus- ja desinfiointiaineiden sekä biosidien käyttöä elintarviketeollisuudessa ja niiden ainesosia tarkemmin (luku 4.3). Viimeisenä käsitellään erilaisia näytteenottomenetelmiä puhtaudentarkkailuun liittyen (luku 4.4).

Työn tutkimusmenetelmissä kerrotaan valokuvauksesta ja rakenteen tarkkailusta sekä näytteenotosta. Rakenteen valokuvauksessa kerrotaan kolmesta tarkasteltavasta kobotista sekä

3D-tulostuksesta (luku 5.1). Näytteenottomenetelmissä kerrotaan tarkemmin petrifilmeistä sekä proteiini- ja allergeenitesteistä (luku 5.2). Tutkimustulokset analysoidaan luvuissa 6.1 ja 6.2. Kolmea eri yhteistyörobotia käydään läpi valokuvien ja pohtimalla niiden rakenteita elintarviketurvallisuuden näkökulmasta. Näytteenoton tuloksia käydään myös läpi ja analysoidaan niitä. Lopuksi pohditaan työtä ja kerrotaan johtopäätökset tutkimustulosten perusteella.

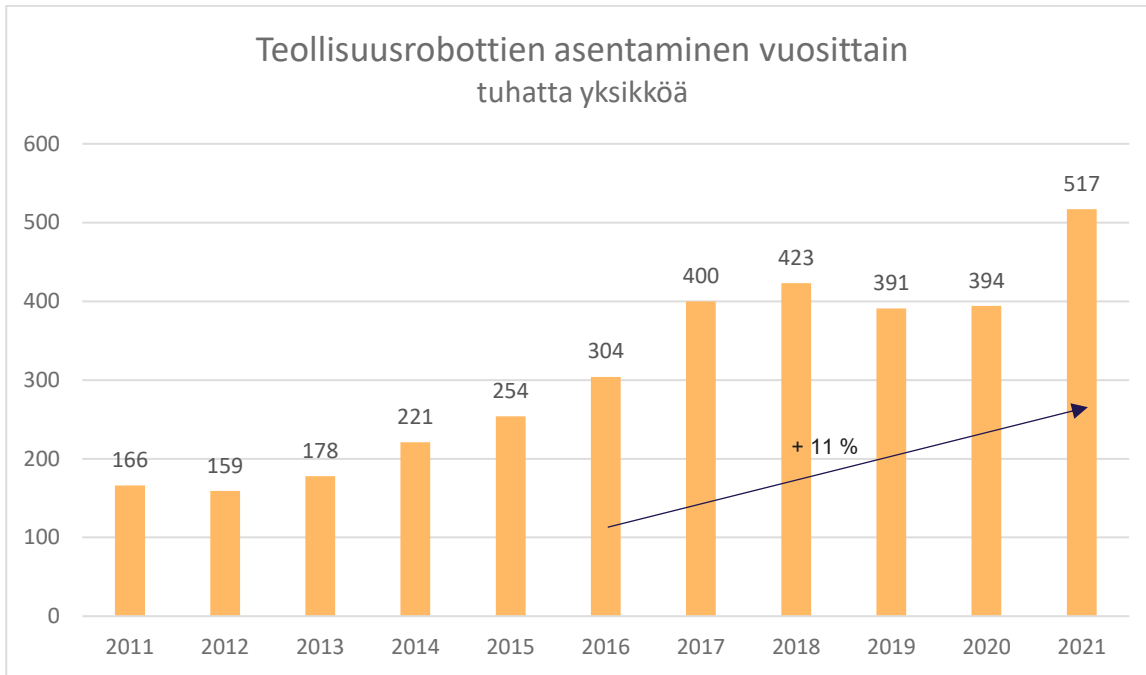
2 YHTEISTYÖROBOTIIKKA

2.1 Taustatietoa yhteistyöroboteista

Maailmassa on tapahtunut neljä teollista vallankumousta, joista ensimmäinen tapahtui 1700-luvun loppupuolella, kun alettiin käyttämään vesi- ja höyryvoimaa (Epicor, i.a.). Viimeisten vuosikymmenten aikana on alkanut neljäs vallankumous (engl. Industry 4.0). Tässä vaiheessa esiin astuvat myös teollisuus- sekä yhteistyörobotit. Vallankumous koostuu monista erilaisista teknologioista, kuten tekoälystä, robotiikasta ja autonomisista ajoneuvoista (Young, 2020). Nämä teknologiat lähenevät keskenään aiheuttaen digitaalisen ja fyysisen maailman rajojen hälvemistä. Yhteistyörobotit ovat osallisena vallankumouksessa esimerkiksi työn kustannusten vähenemisessä ja tuloksen parantamisessa. Automatisoidut prosessit ovat auttaneet työntekijöitä vapauttamalla heidät toistotyöstä. Neljäs vallankumous on avannut työntekijöille uusia mahdollisuuksia työssään. Työntekijät ovat vapaampia käyttämään luovuuttaan robottien tehdessä omia töitään.

Viides vallankumous (engl. Industry 5.0) on jo lanseerattu, vaikka teollisuus 4.0 onkin vielä suhteellisen uusi käsite (Euroopan talous- ja sosiaalikomitea (ETSK), 2018; Säde, 2023, s. 25). Tämän vallankumouksen tehtävä on korostaa ihmisten ja robottien saumatonta yhteistointia ja vuorovaikutusta. Tämä tarkoittaa siis myös yhteistyörobottien merkityksen ja tarpeen kasvua. Teollisuus 5.0:n keskeisimpiä tekijöitä ovat työturvallisuus, vihreä siirtymä sekä joustavuus. Esimerkiksi 3D-simulointia, josta kerrotaan hieman tarkemmin luvussa 2.3, voidaan pitää olennaisena tapana toteuttaa näitä tekijöitä.

Tilastotietoa teollisuusroboteista. Maailmanlaajuisesti teollisuusrobottien määrä kasvaa kovaa vauhtia (IFR, 2022a, s. 9–14). Vuonna 2021 robotteja toimi teollisuudessa noin 3,5 miljoonaa. Kyseisenä vuonna määrä kasvoi 517 000 robotilla, joista yhteistyöroboteja oli 39 000 kappaletta (kuvio 1). Kasvu oli historian suurin, jopa 31 % edellisvuoteen verrattuna. Elintarviketeollisuudessa robottien määrä on muihin teollisuuden aloihin verrattuna pieni, mutta kasvaa vuosittain. Esimerkiksi vuonna 2019 elintarviketeollisuuteen asennettiin 11 000 teollisuusrobotia, kun vuonna 2021 robottien määrä kasvoi 15 000:lla. Vuonna 2020 puhdistilojen eri sovelluksiin teollisuusroboteja asennettiin 32 000. Edellisvuoteen verrattuna asennusten määrä kasvoi prosentilla.



Kuvio 1. Teollisuusrobottien asennukset vuosittain - tuhatta yksikköä (IFR 2022a, s. 10).

Muuhun maailmaan ja länsinaapureihin verrattuna Suomessa robottien käytön kasvu on hitaampaa, mutta kuitenkin kasvussa (Latokartano, 2022, s. 23; Lempiäinen, 2022, s. 24–27). Suomessa vuonna 2021 teollisuuteen investoitiin 532 robottia, mikä tarkoittaa 24 % enemmän kuin aiempana vuonna. Laskennallisesti tämä tarkoittaisi noin 5 %:n robottikannan kasvua vuodessa. Vuonna 2022 Suomessa on ollut käytössä vajaa 6000 teollisuusrobottia (Lempiäinen, 2022, s. 27). Näistä 8 % on yhteistyörobotteja ja määrän odotetaan nousevan.

Yhteistyörobotteja koskeva aiempi tutkimustieto. Tässä työssä tutkitaan mahdollisuuksia siirtää yhteistyörobotti elintarvikkeiden tuotannon korkeampaa hygieniatasoa vaativiin tehtäviin. Tällaisessa sovelluksessa kobotti mahdollisesti joutuisi kosketuksiin raaka-aineiden kanssa. Aiheesta löytyy vasta vähän tutkimustietoa. Yhteistyöroboteista löytyy joitain opinäytetöitä, mutta ne koskevat nimenomaan yhteistyörobotteja ja niiden mahdollisuuksia. Esimerkiksi Tölli (2019) on perehtynyt yhteistyörobotiikkaan, historiaan ja standardeihin. Koukari (2016) taas on tarkastellut yhteistyörobotteja raskaammissa sovelluksissa. Elintarviketeollisuuden liittyvää tutkimustietoa koboteista löytyy hyvin vähän, koska perinteisten teollisuusrobottien osuus teollisuudessa on paljon suurempi kuin yhteistyörobottien (IFR, 2022a, s. 14). Yhteistyörobottien määrä on kuitenkin kasvussa, joten tulevaisuudessa tutkimustietoa voi löytää paremmin. Elintarviketeollisuuden näkökulmasta myös perinteisiä teollisuusrobotteja on paljon vähemmän käytössä kuin esimerkiksi elektroniikka- ja autoteollisuudessa (IFR, 2022a,

s. 12–13). Maailmanlaajuisesti teollisuusrobotteja käytetään runsaasti käsittely-, hitsaus- ja kasaustehtävissä. Puhdastiloissa teollisuusrobottien osuus on pienempi.

Romanov, ym. (2022) tarkastelivat kriittisesti lihateollisuuden automatisoinnin mahdollisuuksia ja haasteita, mutta vain sivuttivat elintarviketurvallisuuden näkökulmaa. He kuitenkin toteivat robottisovelluksen suunnittelulla olevan merkitystä elintarviketurvallisuuden kannalta, sillä jotkut tutkimukset osoittavat solumallisen ratkaisun olevan hygieenisempi kuin in-line-ratkaisun eli linjamallisen ratkaisun, jossa nähdään olevan kontaminoitumisriski. Romanovin, ym. mukaan yhteistyörobottien tuominen lihateollisuuteen voisi edistää elintarviketurvallisuutta, kun ihmisen kontakti elintarvikkeeseen vähenee. Väitettä kobottien lisäämästä ruokaturvallisuudesta elintarviketeollisuudessa tukee myös esimerkiksi Newton (2021). Hänen mukaansa kontaminoitumisriski on edelleen olemassa, mikäli robottia ei puhdisteta kunnolla. Riski on kuitenkin pienempi kuin ihmisten käsitellessä raaka-aineita, sillä riski tautia aiheuttavien mikrobien eli patogeenien leviämislle on aina, kun työntekijä esimerkiksi siirtyy työtävältä toiseen. Patogeeni voi siirtyä myös työntekijästä toiseen työntekijään ja tätä kautta laitteesta tai prosessista toiseen.

Eräässä tapaustutkimuksessa (IFR, 2022b) tarkastellaan Saksan Allgäun Alpeilla sijaitsevan Leupolz Emmental-meijerissä käytettyä teollisuusrobottia. Robotin tehtävä on siirrellä ja hoitaa kypsyviä juustoja. Robotin ollessa kosketuksissa juustojen kanssa sen tulee olla hygieniavaatimusten mukainen. Työhön valittu robotti on kuusiakselinen Stäubli TX200L HE, joka on suunniteltu nimenomaan toimimaan elintarviketeollisuuden haastavissa olosuhteissa. Sen rakentamiseen on käytetty ruostumatonta terästä ja sen muotoilussa on otettu huomioon elintarviketurvallisuus. Erityisesti robotin nivelkohtien kapselointi on suunniteltu suojaamaan elintarvikkeita muun muassa voiteluaineilta ja kondenssivedeltä.

Yhteistyörobotit ovat turvalliseksi suunniteltuja teollisuusrobotteja. Perinteinen teollisuudessa käytetty robotti on aidattu niin, ettei sen läheisyyteen pääse ja ihminen joutuu poistumaan tilasta, jossa robotti työskentelee (IFR, 2020, s. 1–2). Yhteistyörobotilla tarkoitetaan robottia, joka soveltuu työskentelemään yhteistyössä ihmisten kanssa. Käytettäessä yhteistyörobottia säästetään siis tilaa ja aikaa, sillä sen kanssa työskentely onnistuu lähellä sekä yhteistyössä tarpeen mukaan. Yhteistyö yleisimmin tapahtuu niin, että kobotti ja ihminen suorittavat omia työtehtäviään vuorotellen ja kobotille on annettu usein raskaat, itseään toistavat sekä epäergonomiset työn osuudet. Tällöin kobotti toimii itsenäisesti, mutta tarpeen vaatiessa reagoi kosketukseen esimerkiksi väistämällä tai pysähtymällä. Vaihtoehtoisesti kobotti

voi työskennellä yhdessä ihmisen kanssa reagoiden reaaliaikaisesti ihmisen liikkeisiin. Tapaustutkimuksissa on todettu, että tällaiset sovellukset on kuitenkin teknisesti haastava toteuttaa eikä niiden saapumista yleisesti teollisuuteen ole odotettavissa lähiaikoina (mts. 2). Yhteistyörobotti voidaan myös aidata, jolloin se toimii perinteisen teollisuusrobotin tavoin.

Yhteistyörobotti on tavallisesti kuusinivelinen käsivarsi, joka pystyy kääntämään varren päässä olevan työkalun mihin tahansa kulmaan toimintasäteensä sisällä (Christensen, ym., 2016, s. 24–25). Käsivarsia saa myös kuitenkin esimerkiksi seitsemännivelisinä, jolloin liike ja olosuhteisiin sopeutuminen helpottuu. Yhteistyörobotin ei ole tarkoitus korvata ihmistä, eikä niiden nähdä vähentävän työpaikkoja vaan päinvastoin lisäävän (Laplace, i.a., s. 3; Latokartano, 2022, s. 23; Lempiäinen, 2022, s. 24–27). Kobotin vahvuutena on sen tarkkuus ja väsymättömyys, mutta se ei kykene toimimaan ongelmanratkaisutilanteissa eikä ole joustava kuten ihminen.

2.2 Yhteistyörobotit elintarviketeollisuudessa

Yhteistyörobottien käyttö elintarviketeollisuudessa on nousussa (Robia, 2020). Yleisin tehtävä yhteistyörobotilla on toimia kappaleenkäsittelijänä. Tällä tarkoitetaan esimerkiksi kappaleen siirtämistä työvaiheesta toiseen, pakkaamista sekä lavaamista. Yhteistyörobotit ovat perinteisiä teollisuusrobotteja heikompia suurten kuormien nostamisessa, joten lavaamisessa painorajat voivat tulla vastaan (Laplace, i.a., s. 6). Toisaalta elintarviketeollisuuden hygieenisissä tehtävissä kobotin ei välttämättä tarvitse tehdä suurta voimaa vaativia tehtäviä. Yksi joustava, kevyemmän kuorman käsittelyyn soveltuva kobotti on UR5e (Universal Robots, i.a.-b). Tämä yhteistyörobotti pystyy nostamaan vain 5 kg kuorman, mutta se on helposti siirrettävissä eri työtehtäviin pienen kokonsa ja helpon ohjelmoinnin takia.

Yhteistyörobotin työtehtäviä. Kobotille soveltuvia kevyempiä työtehtäviä elintarviketuotannossa ovat esimerkiksi tarkkuutta vaativat ja toistuvat työtehtävät, kuten kokoaminen, kaataminen, ruiskutus ja kastaminen (Soft Gripping, i.a.). Näissä työtehtävissä voidaan hyödyntää yhteistyörobotteihin asennettavia pehmeitä tarttujia, jotka sopivat hyvin tällaisiin työtehtäviin. Yhteistyörobotit voivat näiden työtehtävien lisäksi järjestellä tai viimeistellä elintarvikkeita. Ne voivat auttaa myös koneiden valvonnassa ja prosessitoissa. Elintarvikkeiden tuotannossa nämä robotit mahdollistavat ruokahävikin minimoimisen sellaisissa työn kohdissa, joissa ihmiset tekevät usein inhimillisiä virheitä. Ihmiset voivat tehdä tällaisia virheitä esimerkiksi

korkeissa lämpötiloissa, joissa työskentely on vaikeampaa. Kobotit taas pystyvät toimimaan sukkelasti tällaisissakin olosuhteissa. Yhteistyörobotit mahdollistavat tuottavuuden parantamisen myös nopealla, automatisoidulla laaduntarkastuksella. Tätä varten siihen kuitenkin täytyy olla asennettuna kamera.

Yhteistyörobotit erilaisissa olosuhteissa. Elintarviketeollisuudessa olosuhteet voivat olla kobotin käyttöä rajoittavaa, esimerkiksi ilmankosteuden, lämpötilan, höyryjen tai hiukkasten vuoksi (Robotworx, i.a.). Tällaisessa tilanteessa kobotti voidaan kuitenkin suojata elintarviketurvallisista materiaaleista valmistetuilla puvuilla. Puvut suojaavat yhteistyörobottia korkealta kosteuspitoisuudelta, pesu- ja desinfiointiaineiden aiheuttamalta kulumiselta sekä estävät kobottien öljyjen ja voiteluaineiden pääsyn tuotantolinjalle (Evotec, i.a.). Pukujen tarkoituksena on siis suojata robottia kokonaisuudessaan, mutta myös elintarvikkeiden tuotantolinjoja. Roboteille on saatavilla monenlaisia suoja- ja ohjainsuojauksia (Roboworld, i.a.).

Robottien osat voivat kärsiä liian kuumissa tai kylmissä olosuhteissa. Niiden toiminta saattaa pysähtyä anturien havaitessa poikkeuksellisen lämpötilan (Universal Robots, 2022a). Kobottien toiminnan optimaalinen ympäristön lämpötila riippuu esimerkiksi yhteistyörobotin mallista ja suoja- ja puvusta. Kassowin KR1805 ja Fanucin CR-35iA kobottien käyttölämpötila on 0–45 °C (Fanuc, i.a.; Kassow Robots i.a.). KUKA-robottien malli LBR iiwa toimii 5–45 °C lämpötilassa (Clearpath Robotics, i.a.). Suojapukujen avulla robotin toimintalämpötila voidaan laajentaa alueelle -40–90 °C (Advanced Systems of Protection (ASP), i.a.).

Yhteistyörobotit puhdastiloissa. Elintarviketuotannossa yhteistyöroboteilta vaaditaan hyvää hygieniää ja tiettyjä puhdastilastandardeja (Robotworx, i.a.). Yhteistyörobottien turvallisuutta elintarviketeollisuudessa vakuuttaa sertifiointi puhdastiloille. Sertifiointi takaa kobotin helposti puhdistettavat pinnat sekä alhaisen hiukkaspäästön (Industrial Engineering News (IEN), 2017). Universal Robotsin UR3, UR5 ja UR10 yhteistyörobotit täyttävät vaatimukset, ja saavat toimia ISO 5 -luokan puhdastilassa.

Elintarviketeollisuuden hygieenisissä työtehtävissä yhteistyörobottien täytyy pystyä toimimaan puhdastiloissa. Puhdastila tarkoittaa nimensä mukaisesti puhdasta tilaa, mutta sillä on teollisuudessa virallinen merkitys. Teollisuudessa se on tila, jossa partikkeleiden määrää ohjataan (Whyte, 2011). Tässä tilassa minimoidaan partikkeleiden pääsyä, muodostumista ja

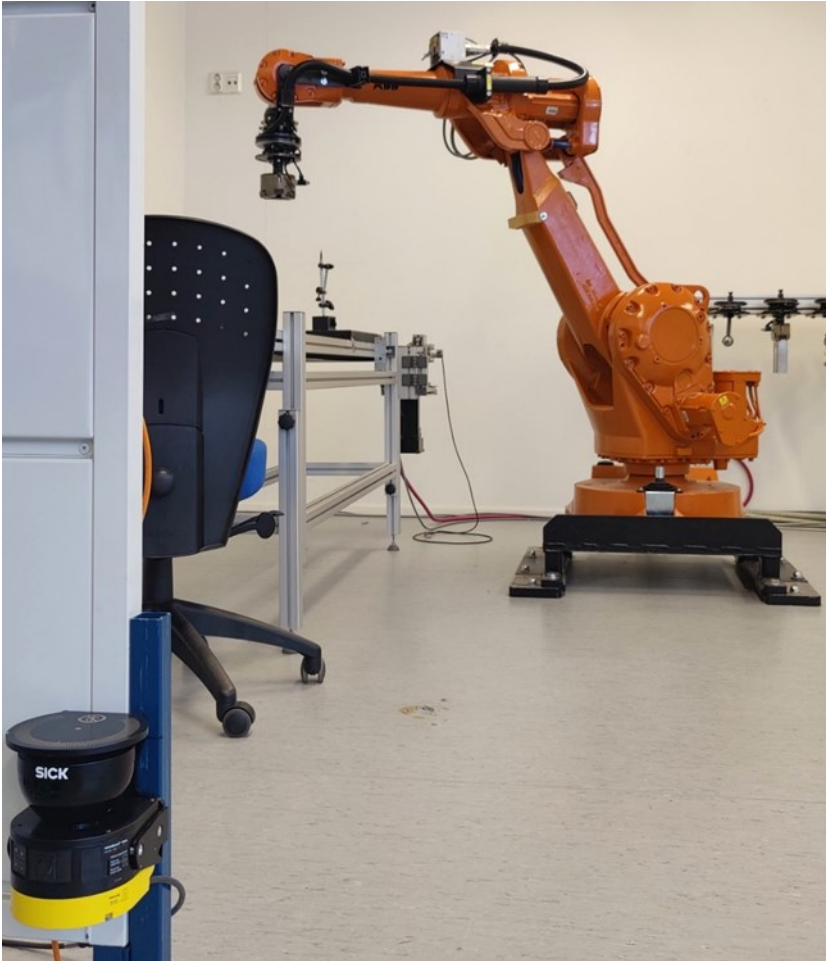
säilymistä. Puhdastilassa tarpeen mukaan voidaan kontrolloida myös fyysisiä muuttujia, kuten kosteutta, lämpötilaa ja painetta.

Puhdastilojen rakennukseen liittyy erilaisia vaatimuksia (Whyte, 2011). Tilan seinien ja kattojen pitää olla ilmatiiviitä ja pintojen helposti puhdistettavissa. Puhdistettavuuden lisäksi pintojen tulee kestää desinfiointiaineita, puhdistusaineita ja vettä. Puhdastilat voidaan jakaa karkeasti kahteen tyyppiin ilmanvaihdon perusteella yksisuuntaiseen ja pyörteiseen ilmavirtaukseen. Yksisuuntainen ilmanvaihto kuluttaa paljon enemmän ilmaa ja on myös kalliimpi vaihtoehto. Kummassakin näissä puhdastiloissa käytetään usein tehokkaita ilmansuodattimia, kuten HEPA- tai ULPA-suodattimia. Puhdastiloihin liittyy monia eri standardeja, joista kerrotaan tarkemmin myöhemmin luvussa 3.4.

Tulevaisuudessa voidaan odottaa tulevan yhteistyörobotteja, jotka soveltuvat täydellistä puhtautta vaativiin tiloihin asiakaslähtöisen lähestymistavan ansiosta. Tästä hyvänä esimerkkinä voidaan pitää Universal Robotsia, jonka tuotekehitystiimi ottaa asiakkaat mukaan suunnitteluun (Jokinen, 2023, s. 26–27). Vuonna 2021 tiimi tutki yhdessä asiakkaiden kanssa teollisuuden tarpeita, joiden perusteella tiimi loi kuudessa kuukaudessa puhdastilaan soveltuvan konseptirobotin. Robotti vietiin kansainvälisiin näyttelyihin keräämään palautetta ja saavuttamaan potentiaalisia asiakkaita. Puhdastilaan soveltuville yhteistyöroboteille on kysyntää elintarviketeollisuuden lisäksi lääke- ja puolijohdetuotannossa.

2.3 Yhteistyörobotin rakenne

Yhteistyörobotit ovat perinteisiä teollisuusrobotteja (kuva 1) turvallisempia (Laplace, i.a., s. 6–14). Teollisuusrobotti on tarkoitettu työskentelemään nopeasti suurella volyymillä, kun yhteistyörobotti on suunniteltu turvallisuusvaatimusten mukaisesti toimimaan hitaasti ja väistämään ihmisen liikkeitä. Yhteistyörobottiin on asennettu erilaisia antureita ja tunnistimia, jotka voivat tunnistaa esimerkiksi vääntöä, voimaa, ääntä tai kosketusta.



Kuva 1. Perinteinen teollisuusrobotti ja turvalaserskanneri (Samppala, 2023).

Ulkonäöltään yhteistyörobotti muistuttaa ihmisen käsivartta (Processing and Packaging Machinery Association (PPMA), i.a.-b). Kobotti koostuu kolmesta pääosasta, joita ovat käsi- varsi, päätetyökalu (engl. End effector) sekä käyttöjärjestelmä (Universal Robots, 2022b). Kobotilla on yleensä yksi tai kaksi kuusi- tai seitsemännivelistä käsivartta (PPMA, i.a.-b). Osalle on asennettu myös näytöt ”kasvoiksi”. Yhteistyörobotti on suunniteltu kevyistä materiaaleista sekä sen muodot on tehty pyöreiksi, jotta sen mahdollinen tuottama isku aiheuttaisi pienemmän vaurion (IFR, 2020, s. 1). Kobotin vaarallisin osa löytyy käsivarren päästä, jossa siihen on kiinnitetty esimerkiksi tarttuja tai jokin työväline. Työväline voi olla terävä tai muutoin vaarallinen ja aiheuttaa turvallisuusriskin ihmiselle riippumatta siitä, kuinka hitaasti kobotti liikkuu.

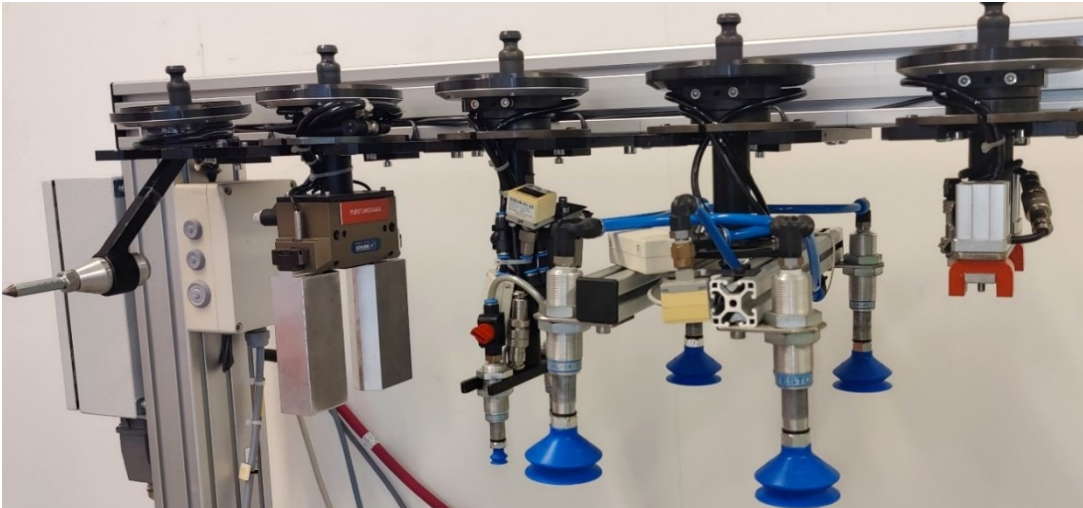
Yhteistyörobottiin voi asentaa lisäosia. Yhteistyörobotin osiin on asennettavissa työtä tehostavia ja helpottavia sekä turvallisuutta lisääviä osia (Universal Robots, 2022b). Osia suunniteltaessa tai asennettaessa on otettava huomioon esimerkiksi ISO 13849-1 -standardi, joka sisältää turvallisuusvaatimuksia sekä opastusta ohjausjärjestelmän osien suunnittelun ja

integroinnin periaatteista (International Organization for Standardization (ISO), 2015, luku 1). Kobotteihin voidaan asentaa tai niihin on suunniteltu erilaisia suojaimia, kuten pehmustettuja kuoria (IFR, 2020, s. 1). Esimerkiksi Asea Brown Boverin (ABB, 2020) valmistamalle YuMi-yhteistyörobotille on suunniteltu paineen tunnistava, pehmustettu käsivarsi. Kaikissa robottikäsivarsissa tätä ominaisuutta ei ole. Airskin (i.a.) valmistaa pehmustettuja paineen tunnistavia suojakuoria, jotka voi asentaa teollisuusrobottiin tai päätetyökaluun jälkikäteen. Kun kuori havaitsee vähintään 5 N painetta, robotti pysähtyy. Mikäli tällaisen suojakuoren asentaa, täytyy tehdä riskinarviointi sallitun maksiminopeuden säätämiseksi, jotta pysähtymismatka saadaan tarpeeksi lyhyeksi tapaturmien välttämiseksi. Joidenkin kobottien käsivarteen voidaan asentaa myös kapasitiivinen "iho" (Levante Sistemas de Automatización y Control (LSA Control), 2017). Tässä yli 120 anturia havainnoi sen lähellä olevan ihmisen noin 50 mm:n etäisyydeltä, jolloin robotti ennättää reagoimaan ihmiseen ennen siihen osumista. Mikäli ihminen tulee havaitsemisetaisyydelle, kobotti pysähtyy. Kun ihminen poistuu lähietäisyydeltä, kobotti jatkaa toimintaansa normaalisti samasta paikasta.

Seungminin (2016) mukaan suurin osa yhteistyöroboteista on rakennettu tunnistamaan siihen kohdistuvaa voimaa. Mikäli kobottiin kohdistuva voima ylittää määrätyn rajan, se pysäyttää liikkeen. Jotkut kobotit kykenevät reagoimaan tilanteeseen muutamassa millisekunnissa vetämällä käsivarren pois kohteen luota, johon se osuu (Christensen, ym., 2016, s. 25). Lisäksi kobotissa voi olla kamera tai tutka, jonka avulla se kykenee tarkkailemaan ympäristöään ja ennakoimaan tilanteita väistelemällä lähellä työskenteleviä ihmisiä. Veo Robotics Inc. on kehittänyt FreeMove -suoja järjestelmän, joka kykenee havainnoimaan tietokonenäön sekä 3D-anturin avulla kobotin työskentelytilaa kolmiulotteisesti reaaliajassa (Weber, 2021). Tällaisen anturin avulla voidaan lisätä turvallisuutta, mutta myös mahdollistetaan nopeampi toiminta sekä suuremman voiman käyttö, kun ihminen ei ole lähetyvillä. Robotti voi esimerkiksi hidastaa liikettään anturin tunnistessa yhteistyötilaa lähestyvän ihmisen.

Universal Robots (2022b) esittelee erilaisia yhteistyörobotteihin asennettavia päätetyökaluja (kuva 2), joita voi asentaa käsivarren päähän. Tällaisia ovat esimerkiksi lavaukseen tarkoitettu imukuppi-, magneetti- tai alipainetarttuja, pneumaattinen tarttuja tai pihtimallinen eli kaksisorminen tarttuja. Osa tarttujista on suunniteltu soveltumaan herkkien esineiden käsittelyyn, jolloin kobotti osaa säätää tiettyihin esineisiin kohdistamaansa voimaa. Päähän on mahdollista asentaa myös työvälineen vaihtoa helpottava osa. Useimmat tällaiset osat toimivat niin, että työvälineen saa irrotettua ja kiinnitettyä nappia painamalla. Osa työvälineen vaihtajista

on taas valmistettu siten, että työvälinettä voi vaihtaa sammuttamatta kobottia välissä. Tällainen voi olla tarpeellista, mikäli vaihdolle on tarvetta useasti päivässä. Pick & place -lisävarusteen avulla tarttujaan saadaan tekoälyllä toimiva konenäkö, jonka avulla kobotin voi opettaa etsimään tietyntylaisia esineitä.



Kuva 2. Havainnollistava kuva teollisuusrobottiin asennettavista päätetyökaluista (Samppala, 2023).

Yhteistyörobotin ohjelmointi on helppoa. Yhteistyörobotti voidaan ohjelmoida erilaisilla tavoilla (PPMA, i.a.-a). Yleisin tapa robotin ohjelmoinnille on opettaa tehtävä robotille ajamalla ohjelma manuaalisesti läpi. Ajo tehdään erilaisten koordinaatistoon perustuvien järjestelmien avulla. Moni yhteistyörobotti on mahdollista kuitenkin edelleen ohjelmoida siirtämällä fyysisesti käsivartta vaiheittain ohjelman läpi. Tämä menetelmä on epätarkka ja herkkä ihmisen tekemille virheille, mutta toimii tietyissä sovellutuksissa. Yksi yleisimmistä ja edelleen suosiota kasvattavista ohjelmointimenetelmistä on offline- eli etäohjelmointi (Robots Done Right, i.a.). Etäohjelmoinnilla- ja simuloinnilla tarkoitetaan tuotantosolun luomista tietokoneella erillisellä ohjelmistolla tuotannon ulkopuolella. Ennen robotin varsinaista ohjelmointia tai tuotantosolun asentamista kyetään siis kokeilemaan erilaisia mahdollisuuksia ja ennakoimaan ajoissa virheitä keskeyttämättä tuotantoa. Kun ohjelmointi on valmis, voidaan se ladata suoraan robottiin. Etäohjelmoinnin avulla saadaan maksimoitua robotti-investointien tuotto, sillä se voi lyhentää ohjelmointiaikaa viikoista yhteen päivään.

3 YHTEISTYÖROBOTTEIHIN LIITTYVÄT DIREKTIIVIT, ASETUKSET JA STANDARDIT

3.1 Konedirektiivi ja yhteistyörobotiikka

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin (EY) 2006/42/EY mukaan yhteistyörobotissa täytyy olla näkyvällä paikalla ja pysyvästi kiinnitetty CE-merkintä eli CE-vaatimustenmukaisuusmerkintä. Tätä varten yhteistyörobotille on pitänyt tehdä vaatimustenmukaisuuden arviointi konedirektiivissä kerrotulla tavalla. Konedirektiivin liitteessä I mainitaan myös elintarvikemachineiden materiaaleista ja pinnoista. Materiaalien, jotka joutuvat tai niiden on tarkoitettu joutumaan kosketuksiin elintarvikkeiden kanssa, täytyy täyttää niitä koskevien direktiivien vaatimukset. Puhdistettavuuden mukaan koneessa voi joutua käyttämään kertakäyttöisiä osia. Kertakäyttöiset osat saattavat olla muovista valmistettuja, joten tässä kohtaa yhteistyörobotin käyttöä suunniteltaessa täytyy huomioida komission asetus (EU) 10/2011. Tämä asetus koskee muovisia materiaaleja sekä tarvikkeita, jotka joutuvat kosketuksiin elintarvikkeiden kanssa. Mahdollisten kertakäyttöisten osien lisäksi täytyy ottaa huomioon, että mitkä kobotin muoviset osat ovat kosketuksissa elintarvikkeiden kanssa prosessin aikana.

Materiaalien puhdistettavuutta korostetaan konedirektiivissä (EY) 2006/42/EY, ja sen lisäksi elintarvikkeista sekä puhdistuksesta peräisin olevien aineiden täytyy olla mahdollista poistua koneesta täysin. Kaikkien pintojen – kertakäyttöisten osien pintoja lukuun ottamatta – täytyy olla sileitä ja niissä ei saa olla reunoja tai rakoja, joihin saattaa kasaantua orgaanisia aineita. Pinnoissa olevia liitosten ulkonemia, teräviä reunoja ja syvennyksiä täytyy olla mahdollisimman vähän. Koneen pintojen täytyy olla helposti puhdistettavissa ja desinfioitavissa siten, että koneesta puretaan helposti irrotettavat osat.

Direktiivin (EY) 2006/42/EY mukaan kone täytyy suunnitella ja rakentaa niin, että on mahdollista estää kaikkien aineiden ja elävien olioiden pääsy tai orgaanisen aineen kasaantuminen kohtiin, joiden puhdistaminen ei ole mahdollista. Tämän lisäksi koneen terveydelle vaaralliset apuaineet eivät saa päästä kosketuksiin elintarvikkeiden kanssa. Näitä vaatimuksia noudattamalla on mahdollista välttää myrkytysten, sairauksien ja tartuntojen riskiä.

3.2 Elintarvikehygienia-asetus, elintarviketurvallisuuskulttuuri ja yhteistyörobotit

Yhteistyörobotteihin liittyen Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) 852/2004 kuvaa esimerkiksi laitteiden pintojen hyvän kunnon ylläpidosta sekä helposta puhdistettavuudesta ja tarpeen mukaan desinfiointivuudesta liitteessä II. Asetuksessa kerrotaan myös, että materiaalien täytyy olla sileitä, pestäviä, ruostumattomia sekä myrkyttömiä. Mahdollisten muiden käytettävien materiaalien tulee olla soveltuvia ja tämä täytyy pystyä osoittamaan toimivaltaisille viranomaisille. Elintarvikehygienia-asetuksen viimeisin konsolidoitu versio sisältää komission asetuksen (EU) 2021/382 tuomat muutokset. Tämä asetus toi muutoksia esimerkiksi johdantoon, allergeenien hallintaan, tekstiin elintarvikkeiden uudelleenjakelusta sekä elintarviketurvallisuuskulttuurista. Euroopan unionin asetukset myös ohjaavat Suomen lainsäädäntöä, joten tämä elintarvikehygieniaan liittyvä asetus on osittain vaikuttanut Suomen elintarvikelakiin 297/2021.

Elintarvikehygieniää koskeva asetus (EY) 852/2004 sisältää myös HACCP-periaatteet eli vaarojen arvioinnin ja kriittiset hallintapisteet (engl. Hazard Analysis and Critical Control Points). Asetuksen 5. artiklassa mainitaan, että elintarvikealantoimijoiden täytyy laatia ja toteuttaa HACCP-periaatteisiin perustuva jatkuva menettely tai menettelyt sekä ylläpidettävä sitä tai niitä. HACCP-periaatteet on jaoteltu seitsemään periaatteeseen. Ensimmäisenä periaatteena on vaarojen tunnistaminen eli identifioidaan vaarat, jotka täytyy torjua, poistaa tai saattaa hyväksyttävälle tasolle. Toisena periaatteena on kriittisten hallintapisteiden määrittäminen. Kriittinen hallintapiste on sellainen vaihe esimerkiksi elintarvikkeen tuotantoketjussa, jossa valvonnalla voidaan torjua, poistaa tai saattaa vaara hyväksyttävälle tasolle. Kolmas periaate koskee kriittisten rajojen määrittämistä, jossa kriittisille hallintapisteille asetetaan rajat. Näillä rajoilla varmistetaan vaarojen torjumista, poistamista tai vähentämistä. Neljäntenä periaatteena on seurantakäytäntöjen laatiminen kriittisille valvontapisteille ja niiden täytäntöönpano.

Elintarvikehygieniää koskevassa asetuksessa (EY) 852/2004 mainittu viides HACCP-periaate koskee korjaavia toimenpiteitä, joilla hallitaan kriittisiä hallintapisteitä, jos ne esimerkiksi eivät pysy määritetyissä rajoissa. Kriittisille hallintapisteille täytyy suunnitella ja tarpeen mukaan toteuttaa korjaavat toimenpiteet. Kuudes periaate kuvaa säännöllisesti toteutettavien menettelyjen laatimista, jolla voidaan tarkistaa edellä mainittujen periaatteiden tehokkuus. Seitsemäntenä periaatteena on asiakirjojen laatiminen riippuen elintarvikeyrityksen koosta ja luonteesta sekä ajankohtainen kirjanpito edellä mainittujen periaatteiden tehokkaan soveltamisen osoittamiseksi.

Elintarvikehygienia-asetuksen (EY) 852/2004 liitteessä II mainitaan myös elintarviketurvallisuskulttuuri. Elintarviketurvallisuskulttuurin luominen, ylläpito ja sen toimivuuden osoittaminen on elintarvikealantoimijoiden vastuulla. Tätä aihepiiriä koskevat useat vaatimukset sekä työnjohtoa että työntekijöitä koskien. Asianmukainen elintarviketurvallisuskulttuuri edellyttää esimerkiksi sitä, että työntekijät sitoutuvat elintarvikkeiden turvalliseen tuotantoon ja jakeluun. Kaikkien työntekijöiden täytyy olla tietoisia elintarvikkeiden turvallisuuteen liittyvistä vaaroista sekä elintarvikehygienian ja -turvallisuuden merkityksestä. Yrityksen sisäisen informaation täytyy kulkea avoimesti ja selkeästi kaikkien työntekijöiden välillä tietyissä toiminnoissa ja peräkkäisten toimintojen kesken.

Elintarviketurvallisuskulttuuria edistävät BRC:n eli alun perin The British Retail Consortiumin kansainväliset standardit (Brand Reputation Compliance Global Standards (BRCGS), i.a.-a). Tähän liittyvä BRC:n elintarviketurvallisuskulttuurimoduuli tuo mukanaan vuosittaisen auditoinnin lisäksi arvioinnin sekä valmistajille näkemyksen yrityksen elintarviketurvallisuskulttuurista (BRCGS, i.a.-b). BRC:n elintarviketurvallisuuksiä koskeva standardi on yksi kehittyneimpiä. Erilaisia muita standardeja on olemassa esimerkiksi elintarviketurvallisuuksiin, pakkausmateriaaleihin, kuluttajatuotteisiin, varastointiin ja jakeluun sekä gluteenittomiin tuotteisiin liittyen (BRCGS, i.a.-a). Nämä kansainväliset standardit on luotu parantamaan kuluttajien luottamusta tuotemerkkeihin. BRC-standardit ovat maailmanlaajuisesti tunnettuja ja ne helpottavat sekä tehostavat elintarvikkeiden vientiä.

BRC:n kansainvälisen standardin liittämiseksi elintarvikkeeseen, se täytyy sertifioida (Société Générale de Surveillance (SGS), i.a). Elintarviketurvallisuuksiin liittyvä sertifiointi todistaa yrityksen sitoutumisen kuluttajaturvallisuuksiin sekä sidosryhmäsuhteiden ylläpitämiseen. Sertifiointin saamiseksi täytyy olla HACCP-järjestelmä, laadunhallintajärjestelmä, erilaisia ohjelmia varmistamaan hyvää tuotantoa ja hygieniakäytäntöjä sekä yrityksen johdon sitoutuminen standardin noudattamiseen riittävillä resursseilla.

3.3 Asetukset vieraisaineiden enimmäismääristä ja elintarviketiedoista

Yhteistyörobotteihin ja niiden toimintaan elintarviketeollisuudessa liittyy esimerkiksi enimmäismääriä koskeva komission asetus (EY) 1881/2006, joka on tärkeä tiettyjä elintarvikkeita koskien. Tämä asetus täytyy ottaa huomioon yhteistyörobotin käsitellessä esimerkiksi siipikarjaa tai äyriäisiä. Vieraisaineita voi elintarvikkeisiin siirtyä kaikkialta ympäristöstä, joten itse

robottikin voi olla riskitekijä. Riskin suuruus riippuu robotin valmistuksessa käytetyistä materiaaleista. Asetuksen liitteessä on mainittu esimerkiksi nitraatti- ja mykotoksiinipitoisuuksista sekä eri metallien määristä elintarvikkeissa. Näitä elintarvikkeita ei saa myydä, jos pitoisuudet ylittävät asetetut raja-arvot. Näitä raja-arvoja koskien täytyy myös tehdä seuranta tietyille elintarvikkeille ja niistä täytyy raportoida Euroopan elintarviketurvallisuusviranomaiselle.

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 1169/2011 määrittää tiedot, jotka tulee ilmoittaa myytävissä elintarvikkeissa. Asetusta sovelletaan elintarvikealan toimijoihin jokaisessa ketjun vaiheessa ja kaikissa loppukuluttajalle tarkoitetuissa elintarvikkeissa. Asetus on otettava huomioon esimerkiksi silloin, kun yhteistyörobotti toimii kosketuksessa allergeeneja käsittelevien elintarvikkeiden kanssa. Liitteessä II on lueteltuna ne aineet ja tuotteet, jotka aiheuttavat allergioita ja intoleransseja. Asetus tulee huomioida myös tilanteessa, jossa yhteistyörobotti työskentelee eri työtehtävissä ja mahdollisesti eri ainesosien kanssa, jolloin allergeeni voisi siirtyä tuotantolinjalta toiselle ja tätä kautta elintarvikkeeseen.

3.4 Erilaisia standardeja robotiikkaan liittyen

Kansainvälinen standardoimisjärjestö on luonut standardit neljälle päätyypin yhteistyörobotille niiden käyttötarkoituksen mukaan. Kun robotti täyttää määritelmät, voidaan sen todeta olevan periaatteessa turvallinen teollisuudessa käytettäväksi. ISO 8373:2021 mukaan teollisuusrobotti on automaattisesti ohjautuva, monikäyttöinen ja uudelleen ohjelmoitava laite (ISO, 2021, luku 3.6). Näiden lisäksi siinä tulee olla kolme tai useampi akseli ja laitteen tulee olla joko asennettavissa paikoilleen tai siirrettävissä sekä sen tulee olla teollisuuden automaatio-sovelluksiin käytettävissä.

Robotteihin ja robotiikkalaitteisiin liittyviä muita standardeja ovat esimerkiksi ISO 10218-1 ja ISO 10218-2:2011. Standardi ISO 10218 ensimmäisessä osassa käsitellään teollisuusrobottien turvallista suunnittelua, erilaisia turvallisuustoimenpiteitä sekä käyttöä koskevia tietoja (Suomen standardisointiliitto (SFS, 2011a, sivu 8). Näiden lisäksi standardissa kerrotaan tavallisimpia vaaroja robotteihin liittyen sekä niihin liittyvien riskien poistamiseen tai vähentämiseen liittyviä vaatimuksia. Standardissa mainitaan vaarojen lukumäärän ja tyyppien riippuvan automaatioprosessista ja järjestelmästä. Vaarojen ollessa riippuvaisia näistä asioista ovat myös riskit vaihtelevaisia robotin tyypistä ja käyttötarkoituksesta riippuen.

Standardin toisessa osassa kerrotaan turvallisuusvaatimuksista liittyen teollisuusrobottien ja teollisuusrobottijärjestelmien yhdistämiseen (SFS, 2011b, sivu 5). Yhdistämiseen liittyviä asioita ovat esimerkiksi teollisuusrobottijärjestelmän tai -solun suunnittelu, valmistaminen, asentaminen ja kunnossapitäminen. Tässä osassa kuvataan robottijärjestelmiin liittyviä vaaroja ja vaatimuksia niiden poistoon tai vähentämiseen. Standardissa kerrotaan laitesijoittelun olevan avainprosessi vaarojen poistoon ja riskien vähentämiseen (SFS, 2011b, sivu 11–12). Suunnitteluprosessia tehdessä täytyy ottaa standardin mukaan huomioon esimerkiksi välitietäisyydet, ergonomia sekä ympäristöolosuhteet. Riskinarvioinnissa taas täytyy arvioida riskin merkitystä ja suuruutta, tunnistaa vaaroja sekä määrittää robottijärjestelmälle rajat.

ISO/TS 15066:2016 tarkentaa turvallisuusvaatimuksia yhteistyöroboteille ja niiden työympäristölle teollisuudessa (ISO, 2016, luku 1). Standardi myös täydentää aiemmin mainittujen standardien vaatimuksia ja ohjeistusta. Koneturvallisuudesta kertova ISO 13849-1:2015-standardi kuvaa erilaisia turvallisuusvaatimuksia koneille ja opastaa ohjausjärjestelmien suunnitteluun turvallisuuden takaamiseksi (ISO, 2015b, luku 1). Turvallisuuteen liittyviä ohjausjärjestelmän osia ovat esimerkiksi kosketuksen tunnistavat laitteet ja ohjelmoitavat logiikat. Standardi kertoo näiden lisäksi ohjausjärjestelmän integroinnista sekä ohjelmistokehityksestä.

Yhteistyörobottien toimintaan puhdastiloissa liittyy etenkin puhdastiloja ja puhtaita alueita koskeva ISO 14644 (ISO, 2015a, luku 1). Tämä standardi koostuu monista eri osista, jotka koskevat esimerkiksi puhdastilan ilmanpuhtauden seurantaan hiukkaspitoisuuden perusteella sekä puhdastilan käytön vaatimuksia. Standardin ensimmäinen osa ISO 14644-1:2015 koskee hiukkaspitoisuuden perusteella tehtäviä puhtausluokituksia. Tässä osassa luokitellaan puhtauden mukaan puhdastiloja ja puhtaita alueita. Ensimmäisessä osassa selitetään myös erilaisia termejä, kuten puhdastila, puhdas alue ja partikkeli (ISO, 2015a, luku 3).

4 YHTEISTYÖROBOTIN PUHDISTETTAVUUS JA SIIHEN LIITTYVÄT VAARAIMUKSET

4.1 Riskit ja vaaratekijät elintarviketuotannossa

Elintarvikkeiden tuotantoon liittyvät vahvasti riskit ja vaaratekijät. Riski on mahdollisuus tai todennäköisyys kielteisen terveysvaikutuksen toteutumiselle (Syyrakki & Välikylä, 2020, s. 14–21). Riskin aiheuttaa jokin vaara, kuten luonnollinen haitallinen aine tai ympäristömyrky. Vaaratekijät taas voidaan karkeasti luokitella mikrobiologisiin, kemiallisiin ja fysikaalisiin vaaratekijöihin. Mikrobiologisiin vaaratekijöihin kuuluvat mikrobit eli bakteerit, virukset, sienet, hiivat ja loiset. Näihin vaaratekijöihin liittyy myös ruokamyrkytyksen todennäköisyys, jos elintarvikkeessa esiintyy tautia aiheuttavia mikrobeja.

4.1.1 Mikrobiologiset vaaratekijät elintarviketeollisuudessa

Valtaosa mikrobeista on ihmiselle hyödyllisiä (Niemi, ym., 2004, s. 42). Vain pieni osa tautia aiheuttavista mikrobeista leviää ruoan mukana. Mikrobi vaatii elääkseen ravinteita sekä vettä ja suotuisissa olosuhteissa se lisääntyy nopeasti. Mikrobi lisääntyy jakautumalla. Jakautuminen tapahtuu niin, että mikrobin perimä jakautuu ja jakautuneiden osien ympärille muodostuu solulima ja soluseinä. Suotuisissa oloissa solun jakaantumiseen kuluu 20 minuuttia, eli tunnin kuluttua soluja on muodostunut kahdeksan. Viiden tunnin kuluttua soluja on jakautuneena 30 000 ja siitä kahden tunnin kuluttua bakteereja on jo miljoonia.

Mikrobien selviytymiseen vaikuttaa niiden ominaisuudet (Niemi, ym., 2004, s. 42–43). Vesi on perusedellytys mikrobien kasvulle, mutta esimerkiksi ruokamyrkytystä aiheuttava *Staphylococcus aureus* selviää suolaisemmassakin ympäristössä. Suola sitoo vettä eli laskee aktiivisen veden määrää. Yleisesti mikrobit viihtyvät neutraaleissa olosuhteissa, joten niiden kasvuun voidaan vaikuttaa säätämällä happamuutta. Optimaalinen pH-arvo mikrobien kasvulle on 6–7, mutta yleensä ne selviytyvät myös happamuusasteella 5–8. Osa mikrobeista on asidofiilisiä eli ne sietävät pH < 5 olosuhteita. Tällaisia ovat esimerkiksi hiivat ja homeet sekä osittain enterohemorraginen *Escherichia coli*, eli EHEC-bakteeri.

Mikrobin lisääntymiseen vaikuttaa myös hapen sekä ravinteiden ja vitamiinien määrä. Mikrobit jaetaan aerobisiin ja anaerobisiin (Solunetti, i.a.). Obligatoriset aerobit, kuten

Pseudomonas aeruginosa vaativat happea, kun fakultatiiviset aerobit, kuten *E. coli* sietävät hapettomiakin olosuhteita. Lisäksi on mikroaerofiilisiä bakteereja, jotka kasvavat matalissa happipitoisuuksissa. Tällainen on esimerkiksi *Listeria monocytogenes*. Anaerobit, esimerkiksi *Methanobacterium formicicum*, kasvavat hapettomissa olosuhteissa. Aerotolerantit anaerobit kasvavat myös happipitoisissa olosuhteissa, mutta eivät pysty hyödyntämään sitä. Aerotolerantteihin anaerobeihin kuuluu muun muassa *Streptococcus pyogenes*.

Lämpötila vaikuttaa suuresti mikrobien lisääntymiseen (Niemi, ym., 2004, s. 43–44). Optimaalinen lämpötila bakteerien kasvuille on yleensä 20–30 °C, mutta monelle ruokamyrkytystä aiheuttavalle bakteerille ihanteellinen lämpötila on 37 °C. Tällaisessa lämpötilassa kasvavia bakteereita kutsutaan mesofiileiksi. Kuumemmissä olosuhteissa viihtyvät bakteerit ovat termofiilisiä ja matalissa lämpötiloissa lisääntyvät mikrobit psykrofiilejä. Psykrotrofit sen sijaan viihtyvät parhaiten huoneenlämmössä ja alle 40 °C lämpötilassa, mutta kasvavat myös kylmissä olosuhteissa. Tällaisia bakteereja ovat esimerkiksi taudinaiheuttajabakteerit *Listeria* ja *Yersinia*.

Valtaosa mikrobiologisista vaaratekijöistä liittyy zoonooseihin (Niemi ym., 2004, s. 50–69). Zoonoosista puhutaan silloin kun taudinaiheuttaja siirtyy eläimestä ihmiseen tai ihmisestä eläimeen. Tällaisiin patogeeneihin kuuluvat jotkut bakteerit, virukset, loiset, sienet ja alkueläimet. Yleisin leviämistapa zoonoosille eläimestä ihmiseen on elintarvikkeiden, yleensä lihan tai maidon kautta, mutta myös eläinten ulosteista saastuneiden kasvituotteiden kautta. Zoonoosi voi kuitenkin levitä myös kosketuksen välityksellä esimerkiksi eläimestä, astioista tai työvälineistä. Merkittävimpiä elintarvikkeiden kautta leviävä bakteereita ovat muun muassa naudanlihasta tai pastöroimattomasta maidosta EHEC-infektiota aiheuttava sekä kalasta ja pastöroimattomasta maidosta listerioosia aiheuttava *L. monocytogenes* (mts. 53–68). Näiden lisäksi raa’asta kanan-, sian- tai naudanlihasta löytyy salmonellaa aiheuttavia *Salmonella enterica* -serotyyppejä.

Erityisesti elintarviketuotantotilojen raaka-aineiden säilytystiloissa esiintyy monia bakteereja, hiivoja sekä homeita (Wirtanen, 2002, s. 23). Riski niiden siirtymisestä tuotantolinjoille tulee minimoida, mutta täysin sitä ei voida estää. Elintarviketeollisuudessa kosteissa ja kylmissä tiloissa tavataan hankalaa patogeeniä, *L. monocytogenesiä* (mts. 79). Se on fakultatiivinen anaerobi, kasvaa -0,4–45 °C lämpötilassa, pH-alueella 4,1–9,6 ja minimikosteuspitoisuudessa 0,92. Kyseinen bakteeri sopeutuu siis hyvin ympäristöolosuhteisiin ja on myös resistentti monelle ulkoiselle tekijälle. Tämän lisäksi se kykenee muodostamaan biofilmiä, jolloin

kiinnittyneet bakteerit kestävät hyvin myös ulkoisia vaikuttimia, kuten pesu- ja desinfiointiaineita.

Tyypillinen *Listeria*-kontaminaatio tapahtuu tuotteen valmistusprosessin aikana jossain prosessilaitteessa ja jotkut tuotantolinjat voivat saastua pysyvästi (Wirtanen, 2002, s. 82–83). Laitteisiin pesiytyvät kannat ovat tuotantolaitoksissa usein persistoivia eli pitkäaikaisia ja pysyvää kontaminaatiota aiheuttavia. Persistoivat kannat kiinnittyvät muita kantoja nopeammin laitepinnoille muodostaen biofilmiä, mikä osittain voi aiheuttaa juuri näiden kantojen valikoitumista satunnaisten sijasta. Kiinnittymistä tapahtuu niin matalissa kuin korkeissakin lämpötiloissa. Persistoivat kannat esimerkiksi maitovalmisteiden tuotannossa lisäksi tarttuvat paremmin ruostumattomasta teräksestä valmistettuihin laitepintoihin kuin ei-persistoivat (Lundén, 2004, s. 24). Laittepinnoilta pitkäaikaiset kannat voivat saastuttaa myös suorassa kosketuksessa olevat linjastotuotteet (mts. 45). Täten *Listeria*-kontaminaatio leviää laitteesta tuotteisiin ja yhä eteenpäin. *Listerian* hävittäminen on haastavaa ja vaatii tehostettua puhdistamista, joten paras tapa on ennaltaehkäistä kontaminaation tapahtumista (Wirtanen, 2002, s. 82–83). Tämä tarkoittaa esimerkiksi tuotantolaitoksen suoraviivaista sijoittelua sekä tilojen jaottelemista hygienialueisiin sekä laitteiden hygieenistä suunnittelua, välttämättä sijoittelua sekä hygieenisistä työskentelytapoja.

Elintarvikkeet voivat toimia myös virusten siirtäjinä (Niemi ym., 2004, s. 220). Tällöin elintarvike on saastunut esimerkiksi ihmisen käsien kautta. Myös ihmisen ulosteista saastuneesta vedestä voi siirtyä viruksia juomaveteen, kasviksiin ja hedelmiin tai mereneläviin. Merkittävimmät elintarvikkeista leviävät virukset ovat A-hepatiitti, rotavirus, adenovirus, astrovirus ja norovirus. Noroviruksen ja adenoviruksen esiintymistä laitepinnoilla on tutkittu esimerkiksi ravintoloissa ja ruokaloissa (Lundén, ym., 2017). Tämä virus on hankala laitehygienian kannalta ja sen riskin vähentämiseksi täytyy kiinnittää enemmän huomiota elintarvikkeiden käsittelyyn sekä elintarviketyöntekijöiden koulutukseen. Koulutuksessa täytyy esimerkiksi opettaa huolelliset pesu- ja desinfiointikäytännöt. Tartuntariskin minimoimiseksi tuotantolaitosten pinnat tulee desinfioida. Klooriyhdisteet ja peretikkahappo tuhoavat parhaiten viruksia (Wirtanen, 2002, s. 133). Lipofiilisiin viruksiin taas tehoaa parhaiten kvatit.

Myös loiset eli parasiitit lukeutuvat tautia aiheuttaviin mikrobeihin. Rutiiniin kuuluvan lihantarkastuksen ansiosta Suomessa ei ole varsinaista riskiä lihavälitteiselle loistartunnalle, kuten trikiinille (Niemi ym., 2004, s. 54). Kalat ja muut merenelävät voivat raakana levittää muun muassa loisia, *Listeriaa* ja erityisesti simpukat voivat toimia minkä tahansa tautia aiheuttavien

bakteerien, virusten tai loisten välittäjänä (mts. 59–61). Yleisesti loiset siirtyvät ihmiseen raa'an tai riittämättömästi kypsennetyn lihan tai ulosteesta saastuneen elintarvikkeen kautta (mts. 227). Alkueläimet tarttuvat saastuneen juoman tai ruoan kautta, joten elintarvike- ja vesihygienialla sekä veden keittämällä tai suodattamisella ehkäistään niiden leviämistä (Siikamäki & Kantele, 2021).

Biofilmi on haastava ongelma elintarviketeollisuuden laitteissa ja saattaa lisätä elintarvikkeiden ristikontaminaatiota (Carrascosa ym., 2021). Se on suurin ruoan pilaantumisen aiheuttaja ja saattaa jopa vaurioittaa elintarviketeollisuuden laitteita. Biofilmillä tarkoitetaan tiettyjen mikrobien joukkoa, jotka kykenevät rakentamaan itseään suojaavan kalvon (Niemi ym., 2004, s. 45; Wirtanen, 2002, s. 14). Kalvo muodostuu muun muassa polysakkaridirihiästä sekä glykoproteiineista. Tämä kalvo on mikrobien niin sanottu stressireaktio antibakteerisia komponentteja vastaan, joita ovat esimerkiksi puhdistus- ja desinfiointiaineet sekä kuumuus ja happamat olosuhteet (Wirtanen, 2002, s. 85). Biofilmin muodostuminen on monitahoinen prosessi, joka alkaa adheesiolla eli mikrobisolun kiinnittymisellä pinnalle (mts. 14). Alustamateriaali, mikrobien ominaisuudet sekä nestemäärä ovat prosessin tärkeimmät komponentit. Useimmiten pinnalle kasaantunut orgaaninen lika aloittaa adheesion. Mikrobien kiinnittymistä ei aina kuitenkaan seuraa biofilmin muodostuminen. Limanmuodostus on biofilmin muodostumista vastaava prosessi, jossa ympärille muodostunut lima suojaa mikrobeja.

Elintarviketeollisuudessa käytetyn eloperäisen materiaalin vuoksi biofilmi on usein ongelma (Wirtanen, 2002, s. 18–19). Biofilmiä voi muodostua niukassakin vesimäärässä ja tähän riittää esimerkiksi laitteiden kondenssivesi. Laitteiden karheus ja katvealueet, eli vaikeasti puhdistettavat alueet lisäävät biofilmin muodostumisen riskiä. Myös esimerkiksi laitteiden halkeamat tai säröt ovat otollisia paikkoja biofilmin muodostumiselle. Materiaalin vaikutusta tutkittaessa on todettu, että kumimateriaaliin kiinnittyy esimerkiksi *L. monocytogenes* -bakteereita enemmän kuin ruostumattoman teräksen, teflonin ja nailonin pinnalle (mts. 85–86). Tämä johtaa siihen, että esimerkiksi tiivisteet ovat riskipitoisia paikkoja lian sekä ravinteiden kerääntymiselle, ja ovat siksi alttiita biofilmin muodostumiselle. Hyvällä laitesuunnittelulla ja riskien poistolla eli ennakoimalla ehkäistään paremmin biofilmin muodostumista kuin korjaamalla jo syntyneitä ongelmia. Päivittäinen pesu on myös tärkeää, sillä jotkut bakteerit, esimerkiksi *L. monocytogenes* kiinnittyy erittäin nopeasti, jo 20 minuutissa laitteiden pinnalle. Mitä pidempään mikrobit ovat kiinnittyneenä pinnoille, sitä haastavampi ne ovat poistaa.

4.1.2 Kemialliset ja fysikaaliset vaaratekijät elintarviketeollisuudessa

Kemiallisia vaaratekijöitä elintarvikkeissa voivat olla vahingossa niihin joutuneet vierasaineet, tarkoituksella lisätyt lisäaineet tai luonnolliset yhdisteet (Syyrakki & Välikylä, 2020, s. 20). Luonnollisia haitallisia yhdisteitä elintarvikkeissa voivat olla esimerkiksi papujen lektiini sekä kasvien nitraatit. Näitä yhdisteitä pystytään välttämään elintarvikkeiden oikeilla valinnoilla ja käsittelytavoilla. Lisäaineita tutkitaan paljon, ja niitä koskevilla määräyksillä rajoitetaan terveydelle haitallisten lisäaineiden käyttöä. Lisäaineiden lisäksi myös tietyille vierasaineille on olemassa viranomaisten valvomat enimmäismäärät. Kemiallisia riskejä elintarvikkeissa voivat aiheuttaa myös erilaiset metallit (Niemi ym., 2004, s. 251–254). Metalleista esimerkiksi arseenipitoisuus voi olla ongelmana äyriäisissä ja elohopeapitoisuus kaloissa. Säilykkeissä vaarana on tina, etenkin jos säilyketölkki on vaurioitunut.

Fysikaaliset vaaratekijät voivat aiheuttaa elintarvikkeelle mekaanisen saastumisen (Syyrakki & Välikylä, 2020, s. 21). Vaaratekijöitä ovat elintarvikkeessa olevat vierasesineet, kuten pöly, metallinpalanen, hius, kuollut hyönteinen, laitteesta irronnut osa tai muu siihen kuulumaton esine. Fysikaalisia vaaratekijöitä voidaan välttää hyvällä hygienialla, laitteiden asianmukaisella huollolla, hyvien työtapojen noudattamisella sekä tuholaiistorjunnasta huolehtimalla.

4.2 Laitehygienian ja laitehygieeninen suunnittelu

Likaa keräävät ja puhdistusta vaikeuttavat rakenteet voivat olla ongelma elintarviketeollisuudessa, joten laitteiden helppo puhdistettavuus ja ylläpito tulee huomioida jo suunnitteluvaiheessa (Wirtanen, 2002, s. 36–57). Laitteiden huokoiset tai epätasaiset pinnat, hankalasti irrotettavat osat, ahtaat paikat sekä kuluminen heikentävät riittävää puhdistuvuutta. Laite tulee siis valmistaa pesu- ja desinfiointiaineita kestävillä materiaaleilla tai vaihtoehtoisesti niitä kestävämmät osat tulisi olla irrotettavissa puhdistuksen ajaksi (mts. 57). Tämän lisäksi vaikeasti pestäviä ja desinfioitavia paikkoja, kuten rakoja tai taskuja tulisi välttää. Tällaisiin paikkoihin kerääntyy herkästi elintarviketta sekä mikrobeja ja ne ovat siksi riskialttiita kontaminoitumiselle. Hygienian puutteellisuus, eli riittämätön pesu ja desinfiointi aiheuttavat kontaminoitumisriskin. Kontaminoitumisella ja tarkemmin ristikontaminaatiolla tarkoitetaan tilannetta, jossa mikrobeja tai elintarvikkeeseen kuulumattomia ainesosia siirtyy elintarvikkeesta toiseen kosketuksen tai esimerkiksi käsien tai välineiden kautta (Ruokavirasto, 2022b).

Kontaminaatoriskin vuoksi huolellinen laitesuunnittelu on tärkeää ja erilaiset hygieeniset vaatimukset tulee ottaa huomioon (Wirtanen, 2002, s. 45–46). Joissain tilanteissa vaatimuksia ei voida täyttää ja tällöin puhdistettavuus tulisi olla mahdollista todeta testaamalla. Olennaisimpina kohteina puhdistettavuuden kannalta voidaan pitää laitteistojen kulmia sekä saumoja. Näihin jää herkästi tuotejäämiä, jolloin mikrobit pääsevät lisääntymään. Hygieenisessä ratkaisussa elintarvikekontaktissa olevat kulmat ovat pyöristettyjä, eikä saumoja ole sijoitettu niihin (mts. 47). Tämän lisäksi jatkuva saumaus ja sileät pinnat pienentävät hygieniariskiä. Elintarvikkeita tulee suojata tuotejäämien lisäksi kondenssivedeltä, öljyltä, voitelurasvoilta sekä muilta hygieniariskiä aiheuttavilta aineilta esimerkiksi suojuksilla (mts. 51).

Universal Robotsin (2016) mukaan monien yhteistyörobottien rakenne on osoittautunut hyödylliseksi elintarviketeollisuudessa niiden pyöreästi muotoiltujen ja tiiviiden ulkokuorten ansiosta. Heidän mukaansa niihin ei siis pääse kerääntymään pölyä tai esimerkiksi biofilmiä juuri lainkaan. Kyseisen valmistajan kaikilla yhteistyöroboteilla on luokitus IP-54, joka tarkoittaa pöly- ja vesiroiskesuojaa (Universal Robots, i.a.a.).

IP-luokitus (engl. International Protection) tarkoittaa kansainvälistä kotelointiluokitusta (Sähkötekniikan ja energiatehokkuuden edistämiskeskus (Stek), i.a.). Tämä IP-koodi muodostuu kahdesta eri numerosta, jossa ensimmäinen kertoo millä tasolla on vieraiden esineiden ja pölyn sisäänpääsy laitteeseen. Toinen numero taas kertoo laitteen vedenkestosta. Elintarviketeollisuuden laitteissa kumpikin numero on tärkeä. Ensimmäisen numeron ollessa 0 tarkoittaa se sitä, että laite on suojaamaton vierailta esineiltä ja pölyltä. Sen ollessa 6 laite on pölytiivis. Toisen numeron ollessa 0 osoittaa se laitteen olevan suojaamaton vedeltä. Numeron ollessa 9 laite on suojattu korkeapaineiselta ja kuumalta vesisuihkulta. Laitehygienian kannalta yhteistyörobottien kotelointiluokitus on tärkeää sen puhdistettavuuden vuoksi. Se osoittaa millä tavoin kobotti on mahdollista puhdistaa. Aiemmin mainitut Universal Robotsin yhteistyörobotit kestävän IP-luokituksen mukaan roiskuvaa vettä, mutta eivät vesisuihkua (Universal Robots, i.a.-a). Niitä ei siis voi puhdistaa suihkuttamalla vettä kobottien päälle.

4.3 Puhdistus ja desinfiointi elintarviketeollisuudessa

Puhdistusta suunnitellessa elintarviketeollisuudessa voidaan hyödyntää Sinnerin ympyrää. Ympyrässä on neljä tekijää, jotka vaikuttavat puhdistukseen (Kärcher, i.a.). Nämä neljä tekijää ovat aika, kemikaalit, lämpötila ja mekaaninen voima. Ympyrä on aina suljettuna, eli sen

sisällä olevat tekijät ja niiden määrä vaikuttavat toisiinsa. Aikaan sisältyy sekä kontaktiaika että työaika. Kontaktiajalla voidaan tarkoittaa esimerkiksi lian ja veden kosketusta. Tämän ajan ollessa pidempi, lika on helpompi irrottaa ja työaika vähenee. Aika vaikuttaa esimerkiksi mekaanisen voiman tarpeeseen ja pesuaineen määrään. Lika taas irtoaa helpommin käytettäessä korkeampia lämpötiloja. Lämpötilan nostaminen lyhentää kontaktiaikaa ja työaikaa sekä pienentää kemikaalien ja mekaanisen voiman tarvetta.

Sinnerin ympyrässä mekaaninen voima tarkoittaa lian irrottamiseen tarvittavaa voimaa (Kärcher, i.a.). Tämä voima koostuu hankaavuudesta, kosketuspaineesta sekä liikkeen toistumisesta. Puhdistamiseen voi käyttää korkean hankaavuuden omaavaa esinettä, jolloin tarvitaan vähemmän painetta ja toistoa. Jos puhdistukseen käyttää pehmeää liinaa, niin tällöin painetta täytyy lisätä ja pyyhkimisen voi joutua toistamaan useita kertoja. Kemikaalit ja oikean kemikaalin valinta ovat todella merkittäviä asioita puhdistuksessa. Pelkällä ajankäytöllä, mekaanisella voimalla ja lämpötilalla ei likaa saa täysin poistettua. Tarvittavien kemikaalien määrään pystytään vaikuttamaan säätelemällä muita tekijöitä. Jos kemikaaleja vähennetään, niin muita tekijöitä täytyy lisätä.

Huolellisen puhdistuksen suunnittelun lisäksi elintarviketeollisuudessa tärkeää on nopea toiminta prosessin loppumisen jälkeen. Tuotantolaitteet tulee puhdistaa mahdollisimman pian prosessin loputtua, jotta tuotejäät eivät kuivuisi pinnoille (Wirtanen, 2002, s. 108). Nopeasti tapahtuvalla puhdistuksella voidaan siis ehkäistä elintarvikelijäämien kiinnittymistä laitepinnoille ja sitä kautta joutumista elintarvikkeeseen. Tämän avulla pystytään välttämään esimerkiksi allergeenien päätymistä asiakkaille meneviin tuotteisiin. Laitteiden puhdistuksessa käytettäville aineille on omat vaatimuksensa elintarviketeollisuudessa.

Elintarviketuotannossa käytettävien puhdistus- ja desinfiointiaineiden tulee olla elintarvikuhuoneistolle sopivia (Ruokavirasto, 2020). Niiden täytyy olla vesiliukoisia ja niistä ei saa jäädä pesuainejäämiä pinnoille, jotka ovat kosketuksissa elintarvikkeiden kanssa. Puhdistusaineet voidaan luokitella pH-arvon mukaan siten, että yleispuhdistusaineet ja käsiastianpesuaineet ovat heikosti emäksisiä tai neutraaleja. Tällaisia aineita käytetään astianpesuun käsin sekä pintojen puhdistamiseen päivittäin.

Rasvanpoistoaineet taas ovat emäksisiä tai vahvasti emäksisiä aineita, joita voidaan käyttää pinttyneen lian poistamiseen (Ruokavirasto, 2020). Nämä aineet soveltuvat myös huomattavasti likaantuneiden ja pinttyneiden laitteiden puhdistamiseen. Kiertopesujärjestelmissä, jotka

ovat suljettuja ja automaattisesti ohjautuvissa on mahdollista käyttää vahvoja emäksisiä pesuaineita, kuten lipeää. Näissä pesujärjestelmissä voidaan käyttää myös vahvaa happoa, esimerkiksi typpihappoa. Happamat pesuaineet soveltuvat hyvin ruoste- ja kalkkisaostumien poistamiseen. Puhdistus- ja desinfiointiaineiden valinnassa täytyy ottaa huomioon likaisuus, puhtauden tavoite sekä käytettävissä olevat menetelmät.

4.3.1 Puhdistusaineiden ainesosat

Puhdistusaineita pystytään jaottelemaan pH-arvon mukaan (Ruokavirasto, 2020). Jaottelu on riippuvainen siitä kuinka paljon emästä tai happoa se sisältää. Puhdistusaineet voivat sisältää myös muita erilaisia ainesosia, kuten tensidejä, entsyymejä, inhibiittoreita, liuotainaineita, kompleksointiaineita tai desinfiointiaineita. Tensidien tarkoituksena on alentaa veden pintajännitystä sekä pilkkoa ja irrottaa likaa. Entsyymit hajottavat likaa ja inhibiittorit estävät puhdistettavien pintojen syöpymistä. Liuotainaineita ovat usein esimerkiksi etanoli ja glykoli, jotka irrottavat pinttynyttä likaa ja rasvaa. Kompleksointiaineet taas pehmentävät veden kovuutta. Desinfiointiaineiden on tarkoitus tuhota mikrobeja, mutta ne eivät tee pinnoista steriilejä eli ne eivät tuhoa kaikkia mikrobeja.

4.3.2 Desinfiointiaineet elintarviketeollisuudessa

Asianmukainen puhdistus tuhoaa yli 90 % mikro-organismeista, mutta tämä ei ole riittävä etenkin riskiraaka-aineiden käsittelytiloissa (Syyrakki & Välikylä, 2020, s. 41). Puhdistuksen jälkeen tällaisissa tiloissa täytyy suorittaa desinfiointi. Desinfektioaineet pystyvät tuhoamaan 99 % mikrobeista, mutta silti bakteeri-itiöt ja jotkin bakteerisolut selviävät tästäkin. Desinfiointi voidaan jakaa lämpödesinfiointiin, kemialliseen desinfiointiin sekä UV-valolla desinfiointiin (Ruokatieto, i.a.). Lämpödesinfioinnissa käytetään kuumaa vettä tai vesihöyryä desinfektioon. Elintarviketeollisuudessa tätä desinfektiota käytetään esimerkiksi puukkojen pesuun. Kemiallisessa desinfioinnissa nimensä mukaisesti käytetään kemikaaleja, kuten alkoholiin pohjautuvia liuoksia. Kemiallisten aineiden kanssa täytyy olla varovainen, sillä elintarvikkeisiin niitä ei saa joutua. UV-valolla pystytään desinfioimaan esimerkiksi ilmaa tai vettä sekä muita kirkkaita liuoksia. Elintarviketuotannossa UV-valoa voidaan käyttää muun muassa pakkauskoneiden sisällä olevan ilman desinfioimiseksi.

4.3.3 Biosidien käyttö hygienian takaamiseksi

Biosidit eli eliöntorjunta-aineet voivat aiheuttaa vaaroja ympäristölle, ihmisille sekä eläimille (Turvallisuuskeskus (Tukes), i.a.). Jotkut desinfiointiaineetkin saattavat sisältää biosideja. Biosidien myrkyllisyys voi aiheuttaa ympäristöön levitessään haittaa myös muille eliöille, ja osa niistä saattaa kertyä ympäristöön tai kulkeutua maaperän kautta vesistöihin. Biosidivalmisteita käytettäessä täytyy olla varovainen ja suojautua asianmukaisesti. Elintarviketuotannossa kannattaa pohtia tarkkaan, että tarvitseeko biosidia välttämättömästi käyttää vai onko olemassa joitain muita keinoja torjua haittaeliöitä. Biosidien käytössä täytyy ottaa huomioon myös luvat, sillä kaikki biosidivalmisteet eivät vielä kuulu lupamenettelyjen piiriin. Tuotetta on tärkeä käyttää ohjeiden mukaisesti annostelutavoissa ja -määrissä. Ylimääräisen biosidin hävittäminen täytyy tehdä tarkkaan ohjeiden mukaisesti, jos tahtoo toimia vastuullisesti.

4.4 Näytteenotto ja analysointi puhtaudentarkkailussa

Nimetyt vastuuhenkilön tulee seurata säännöllisesti elintarvikehuoneiston riittävää puhtautta (Ruokavirasto, 2022a). Puhtautta seurataan omaovertajärjestelmään liitettyllä tarkkailusuunnitelmalla. Ruokavirasto ilmoittaa kolme menetelmää riittävän puhtauden määrittämiseksi elintarvikehuoneistoissa. Päivittäisen puhtauden arviointi voidaan tehdä aistinvaraisesti ja silmämääräisesti tarkastelemalla ympäristöä. Laiminlyödyt siivoustoimenpiteet voidaan huomata esimerkiksi hajun tai näkyvän lian perusteella. Puhtausnäytteitä tulisi ottaa puhdistuksen jälkeen pistokokeina muun muassa laitteista, pinnoilta ja esimerkiksi työntekijöiden käsistä, jolloin saadaan tarkempi kuva puhtauden tasosta. Esimerkkejä pintahygieniatesteistä ovat kosketusmaljat, petrifilmit, kastolevyt, luminesenssi sekä valkuaisainetestit. Puhtausnäytteillä todetaan ongelmakohdat, jotta puhtaanapitoa voidaan kehittää paremmaksi. Laadun varmistamiseksi elintarvikkeista tulee säännöllisesti tehdä mikrobiologisia kokeita.

4.4.1 Luminometri ja pesuainejäämien tutkiminen

Luminometriä voidaan käyttää pintahygienian mittaamiseen elintarviketeollisuudessa. Laite mittaa pinnalla olevan lian määrän ja täten tuloksia lukemalla voidaan määrittää puhdistuksen ja desinfiointin tarve. Luminometri perustuu ATP:n eli solujen adenosiinitrifosfaatin reagoimiseen testissä olevan entsyymin kanssa (Kiilto, i.a.-a). Tällä laitteella voidaan mitata todella pieniäkin määriä valoa reaktioista, jotka tapahtuvat koeputken sisällä. Reaktioiden syynä on joko bioluminesenssi tai kemiluminesenssi. Bioluminesenssi tarkoittaa valoa, joka muodostuu

elävän organismin sisällä kemiallisen reaktion takia (National Geographic, i.a.). Kemiluminensesnsi taas tarkoittaa sähkömagneettisensäteilyn syntymistä kemiallisten reaktioiden tapahtuessa (Britannica, i.a.). Mittaus kertoo tuloksen suhteellisena valoyksikkönä RLU, ja sitä voidaan verrata mitatun pinnan asetettuihin raja-arvoihin (Kiilto, i.a.-a). Mittausarvot näissä ovat kuitenkin laitekohtaisia.

Luminometrin käyttäminen on helppoa, taloudellisesti kannattavaa ja nopeaa, sillä tuloksia saa jopa minuuteissa (Quality Assurance Magazine, i.a.). Tämän mittaustavan käyttö säästää huuhteluvettä ja sen avulla pystytään optimoimaan desinfiointiaineiden käyttöä tuotannossa. Bioluminesenssia mittaamalla voidaan tarkkailla esimerkiksi veden laatua ja tarkistaa laitteiden riittävää puhtautta tuotantoa ajatellen. Näiden lisäksi lihantuotannossa tällä voidaan arvioida joidenkin ruhojen mikrobiologista laatua, ja maidontuotannossa tarkkailla mikrobien määrää raakamaidosta. Tätä mittaustapaa käyttäessä täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että esimerkiksi pesuaineiden ja desinfiointiaineiden ainesosat voivat vaikuttaa lukemiin ja jotkin itiöt saattavat jäädä luminometriltä huomaamatta niiden alhaisen ATP-tason vuoksi. Luminometri ei voi korvata perinteisiä mikrobiologia analyysejä.

Luminometrissä käytettävää ATP-mittausta voidaan hyödyntää myös pesuainejäämien tarkasteluun. Pesuainejäämien testaukseen voidaan käyttää ATP-mittariin lisäosana saatavaa Biotox-pesuainejäämätestiä. Tämä toksisuusseulontajärjestelmä havaitsee pesuaineet vaittomasti ja todella pieninä pitoisuuksina (Environmental Expert, i.a.). Kyseistä menetelmää voidaan käyttää esimerkiksi pinnoille tai huuhteluvesien tarkasteluun. Pesuainejäämät voivat olla elintarvikkeiden tuotannossa vaarana esimerkiksi riittämättömän huuhtelun vuoksi (Havana, ym., 2000).

4.4.2 Viljely

Kontaktimaljat. Kontaktimaljat ovat paras menetelmä mitata pintojen puhtauden tasoa (Viroxy, i.a.; VWR International, i.a.-a.). Näyte kerätään painamalla kontaktimalja hellästi pinnalle, jonka jälkeen maljan päälle laitetaan kansi estämään kontaminoitumista. Kontaktimaljaa voidaan käyttää myös ilman puhtauden määrittämiseen, tähän tarvitaan erillinen ilmankehä. Näytteitä inkuboidaan 2–3 vuorokautta 30–37 °C lämpötilassa ohjeista riippuen, hiivoja ja homeita vähintään 3 vuorokautta 30 °C lämpötilassa (VWR International, i.a.-b; Viroxy, i.a.). Kontaktimaljoilta lasketaan bakteerien, hiivojen ja/tai homeiden kokonaismäärä. PCA

(Plate Count Agar) maljalla kasvaa useimmat bakteerit, joten sillä voidaan määrittää pintojen ja ilman kokonaisbakteerien määrä (Merck, i.a.-a). SDA (Sabouraud Dextrose Agar) maljaa voidaan käyttää, kun halutaan laskea hiivan ja homeiden määrää (Merck, i.a.-b). TSA (Tryptic Soy Agar) maljalla kasvaa hiivan ja homeiden lisäksi myös bakteerit (Merck, i.a.-c). Elatusaineessa voi olla mukana neutraloivia aineita, joiden tehtävänä on inaktivoida pintojen mahdolliset desinfiointiainejäämät, jotka voisivat haitata mikrobien kasvua.

Kastolevy. Samankaltaisella näytteenottomenetelmällä toimii myös kastolevy. Hygicult-viljelylevy on pintahygieniatesti, jolla määritetään kokonaisbakteerimäärä (Kiilto, i.a.-b). Levyssä on kaksipuolisesti aerobisten mikrobien kasvuun tarkoitettua elatusainetta. Näytteenotto tapahtuu painamalla viljelylevy pintaa vasten, siirrostamalla näytteenottopuikolla näyte viljelylevylle tai kastamalla levy nestemäiseen näytteeseen. Näytettä voidaan inkuboida huoneenlämmössä kolme vuorokautta tai 35–37 °C lämpötilassa vuorokauden ajan. Tulos luetaan vertaamalla tulosta mallikarttaan.

Petrifilmi. Petrifilmillä määritetään kokonaisbakteerimäärä joko siihen tarkoitettulla laitteella tai käsin (Labema, i.a.-a). Kasvatusalustalle muodostuvat pesäkkeet värjäytyvät punaisiksi. Petrifilmejä saa myös selektiivisinä, eli esimerkiksi kun halutaan laskea nimenomaan *Listeria* kokonaismäärää (Labema, i.a.-b). Määrittäminen tapahtuu avaamalla petrifilmin kalvo ja pipe-toimalla alustalle 1 ml näytettä (3M Food Safety, 2017). Tämän jälkeen kalvo suljetaan ja erillisellä levittimellä näytettä painetaan, jolloin näyte leviää tasaisesti kasvualustalle. Näyte inkuboidaan ohjeiden mukaisesti. Näytteestä lasketaan punaiseksi värjäytyneet pesäkkeet. Jos pesäkkeitä kasvaa niin paljon, että määrä on vaikea laskea (TNTC, Too Numerous To Count), voi olla syytä toistaa analyysi laimentamalla näytettä.

4.4.3 Valkuaisaine- eli proteiinitestit ja allergeenitestit

Proteiinitesti on pikatestausmenetelmä, jolla voidaan varmistaa esimerkiksi pesulaitteiden, työskentelypintojen ja instrumenttien puhtautta proteiinijäämien varalta (Plandent, i.a.). Esimerkiksi instrumentteihin tarttuneet proteiinit denaturoituvat ja kiinnittyvät kuumuuden vuoksi pesu- ja desinfiointiprosessin aikana instrumentteihin. Tämän jälkeen tavanomaisten mikrobiologisten analyysien ja menetelmien avulla proteiinijäämien havainnointi ei onnistu (Miele, i.a.).

Mielen (i.a.) proteiinitestillä näytteenotto tapahtuu kostuttamalla pinta punaisella väriaineliuoksella ja liuoksen annetaan vaikuttaa kolmen minuutin ajan. Pinta huuhdellaan juoksevan veden alla kahden sekunnin ajan. Jäljelle jäänyt punainen väri kertoo proteiinijäämästä. Plantentin (i.a.) proteiinitestin näytteenotto tapahtuu pyyhkäisemällä näytepintaa testipuikolla, jonka jälkeen näytepuikko laitetaan indikaattorikapseliin, kapselia ravistetaan ja näytteen annetaan seistä 10 minuutin ajan. Proteiinijäämää on, mikäli puikko on värjäytynyt siniseksi. Proteiinitestien toiminta perustuu proteiinien hyvään kykyyn sitoa väriaineita. Allergeeniproteiinitesti toimii samalla periaatteella, mutta on validoitu usean allergeeniproteiinin, kuten kananmunan, maidon, gluteiinin, soijan ja maapähkinän osalta (3M Food Safety, 2010). Spesifin allergeenin määrittämiseen on olemassa omia kvalitatiivisia ja kvantitatiivisia pikatestejä, joiden toiminta perustuu vasta-aineisiin (Neogen Corporation, i.a.-a, i.a.-b). Spesifioidun allergeenin tarttuessa vasta-aineisiin testiin muodostuu näkyvä viiva. Mikäli allergeenia ei ole, ei viivaa muodostu. Tarkempien allergeenimäärien tutkimiseen voidaan käyttää S-ELISA (Sandwich enzyme-linked immunosorbent assay) -menetelmään perustuvaa analyysiä (Neogen Corporation, i.a.-c).

4.4.4 Patogeenien testaus

Patogeenien testaaminen pinnoilta on usein yksilöityä siten, että voidaan tutkia esimerkiksi *Listeriaa* käsittelypinnoilta tai vaihtoehtoisesti seuloa *Listeria*-lajeja elintarvikepinnoilta (Labema, i.a.-c, i.a.-d). Ensimmäisessä tutkimustavassa siis selvitetään, löytyykö kyseistä patogeeniä pinnalta vai ei. Näytteenottopuikolla sivellään tutkittavaa pintaa ja laitetaan puikko putkeen, joka sisältää indikaattorina käytettävää elatusainetta. Näyteputki laitetaan tämän jälkeen inkubaattoriin. Jos patogeeniä löytyy pinnalta, niin elatusaine värjäytyy tummanruskeaksi tai mustaksi 24–48 tunnin sisällä. Toista tapaa käytetään erottelemaan esimerkiksi *L. monocytogenes* ja *Listeria ivanovii* toisista mikrobeista, kuten muista *Listeria*-lajeista. Tässäkin tavassa on näytteenottopuikko sekä testiputki ja sama inkubointiaika. Erona ensimmäiseen tutkimustapaan on se, että näytteenottopuikossa on neutralointiliettä ja testiputkessa rikastusliettä elatusaineen sijaan.

5 TUTKIMUSMENETELMÄT

5.1 Rakenteen valokuvaus

Tutkimustyön ensimmäisessä osiossa kuvattiin ja analysoitiin yhteistyörobottien rakenteita ja pohdittiin mitkä osat saattavat aiheuttaa riskejä sekä miten niitä voisi vähentää tai poistaa. Seinäjoen ammattikorkeakoulun robotiikan laboratoriossa käytiin valokuvaamassa koulun omistamia Universal Robotsin UR5- ja UR10-yhteistyörobotteja sekä Seinäjoen Koulutuskeskus Sedun lainaamaa Asea Brown Boverin (ABB) GoFaa. Työssä keskityttiin enimmäkseen UR5- sekä GoFa-yhteistyöroboteihin. Kyseiset kobotit poikkeavat toisistaan ulkomuodoltaan ja niihin oli kuvaushetkellä liitettynä eri valmistajien päätetyökalut.

Rakenteiden valokuvauksen aikana päätettiin myös huomioida UR10-yhteistyörobotti ja siihen suunniteltu ja robotiikan laboratoriossa 3D-tulostimella valmistettu päätetyökalu. Kobottiin voi osaava itse suunnitella päätetyökalun tai sellaisen voi tilata niihin erikoistuneelta yritykseltä. Esimerkiksi Maker3D (i.a.) valmistaa tilauksesta 3D-tulosteisia työkaluja. Työkaluja voidaan tulostaa monenlaisista materiaaleista, kuten nylonista ja ABS-muovista. Esimerkiksi nylon on ominaisuuksiltaan mekaanisesti kestävä. Se kestää hankausta, on vahvaa ja siinä on pieni kitkakerroin (Wirtanen, 2002, s. 67). Tällaiset ominaisuudet tekevät siitä hyvän muovin elintarviketeollisuuteen.

Etuja 3D-tulosteisilla työkaluilla on niiden keveys, rajoittamaton muotoilu, valmistusnopeus sekä joustavuus (Maker3D, i.a.). Kevyt työkalu on eduksi yhteistyöroboteille, sillä niiden nostovoima on yleensä hyvin rajoittunutta. Elintarviketeollisuudelle on myös edullista 3D-tulostuksen rajoittamaton muotoilun suunnittelu, sillä hyvällä suunnittelulla voidaan saada kobotille helposti elintarviketurvallinen työkalu. 3D-tulosteen pinta on lähtökohtaisesti karhea, mikä on haitta elintarviketeollisuudessa. Tämä johtaa siihen, että työkalujen pinta tulisi muokata jälkikäteen sileäksi ja niiden puhdistettavuus tulisi varmistaa.

5.2 Näytteenotto

Työn toisessa osiossa tavoitteena oli selvittää, onko UR5-yhtesityörobotti mahdollista puhdistaa niin, että se säilyy elintarviketurvallisena. Näytteenotto tapahtui ensimmäisessä osiossa toteutetun pohdinnan ja analysoinnin perusteella valituista kohteista. Työ toteutettiin suunnitelman mukaisesti ottamalla näytteet kuivahtaneesta elintarvikkeesta kobotin pinnalla sekä puhdistetuilta pinnoilta. Tämän lisäksi näytteitä otettiin valituista kohteista sen jälkeen, kun kobotti oli pyyhitty desinfiointiliinoilla. Lopuksi tarkasteltiin kohteita, joihin elintarviketta oli jäänyt puhdistuksen jälkeen.

Näytteenottomenetelminä käytettiin 3M™ Petrifilm™ -kasvatusalustoja määrittämään pinnoilta kokonaismikrobimäärää, Orionin Clean Card Pro -pikaproteiinitestiä määrittämään proteiinijäämää tasaisemmilta pinnoilta sekä Neogenin Reveal® 3-D for Total Milk -allergeenitestistä määrittämään mahdollisia maitoproteiinijäämiä tasaisilta pinnoilta sekä haastavammista kohteista, joista pikaproteiinitestillä ei kyetty keräämään näytettä.

Petrifilmit valmistettiin edellisenä päivänä pipetoimalla kasvatusalustalle 1 ml saliniä, jonka jälkeen filmit pinottiin 10 filmin pinoihin, pinot suljettiin pusseihin ja vietiin jääkaappiin. Näytteenotto tapahtui kobotin pinnoilta avaamalla filmi ja painamalla päälliskalvo kohteeseen. Filmi suljettiin ja laitettiin takaisin pussiin. Valmiit näytteet vietiin inkuboitumaan 25 °C lämpökaappiin kolmeksi vuorokaudeksi.

Pikaproteiinitestit otettiin niin, että kohteeseen sumutettiin ultrapuhdasta vettä, jonka jälkeen näyteliuskalla pyyhittiin näytealuetta huolellisesti joka puolelta. Testi oli luettavissa 30 sekunnin kuluttua. Tulosta verrattiin pakkauksen mukana tulevaan mallikorttiin. Vihreä tai sininen väri kertoi proteiinijäämästä. Mitä tummempi väri, sitä enemmän proteiinia oli jäänyt pinnalle.

Allergeenitesti valmistettiin kaatamalla Extraction Buffer -neste näytepurkkiin, jonka jälkeen kohteen pinta kostutettiin ja näyte otettiin näytepuikolla. Puikon näytepää katkaistiin näytepurkkiin. Näytepurkki suljettiin ja sitä ravistettiin minuutin ajan. Tämän jälkeen korkki avattiin ja neste kaadettiin korkkiin. Reveal® 3-D-laite kastettiin näyteeseen, odotettiin näytteen imeytymistä näytealustalle, jonka jälkeen laite asetettiin pöydälle vaakatasoon. Viiden minuutin kuluttua tulos oli luettavissa. Tulos oli luettavissa laitteesta, jossa oli kirjaimet T (test), O (overload) ja C (control). Haaleakin viiva kirjaimen T kohdalla kertoo positiivisesta tuloksesta

(taulukko 1). Mikäli kirjaimen O kohdalla ei ole lainkaan viivaa, tarkoittaa se korkeaa positiivista tulosta. Testi on virheellinen, mikäli kirjaimen C kohdalla ei ole viivaa.

Taulukko 1. Reveal® 3-D Total Milk -allergeenitestin tuloksen luku (Neogen Corporation, i.a.).

Tulos	T	O	C
Negatiivinen			
Positiivinen			
Korkea positiivinen			
Korkea positiivinen			

6 TUTKIMUSTULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI

6.1 Rakenteen valokuvaus ja analysointi

UR5. Ensimmäisenä käydään läpi UR5-yhteistyörobotin rakennetta (kuva 3). Universal Robots valmistaa yhteistyörobotteja esimerkiksi Tanskassa, jossa sijaitsee myös yrityksen pääkonttori. UR5 on 850 mm:n toimintasäteellä työskentelevä kuusinivelinen, alumiinista ja polypropeenista valmistettu yhteistyörobotti, jolla on kantokykyä 5 kg:aan asti. Painoa kyseisellä robotilla on 18,4 kg ja se on nopeasti siirrettävissä ja ohjelmoitavissa uuteen työtehtävään. Kobotti kiinnitetään tasoon ruuveilla. UR5-yhteistyörobotilla on tiiviysluokitus IP-54, sen ohjaimella ja ohjauslaatikolla IP-20 ja asennetuilla lisäosilla IP-40. Asennetut lisäosat olivat kuvaushetkellä voimaa tunnistava anturi, konenäkö sekä tarttuja. Lisäosien johdotukset ovat kobotin ulkopuolella kiinnitettynä nippusiteillä. Tämä tarkasteltavana oleva yhteistyörobotti on toiminut robotiikan laboratoriossa, joten sen ei oletetakaan olevan vielä elintarviketurvallinen. Sen vuoksi kobotissa onkin voitu käyttää esimerkiksi nippusiteitä kiinnityksiin.

Johdot tason ympärillä. UR5-yhteistyörobotin ympärillä on nähtävissä erilaisia johtoja. Itse yhteistyörobotin käsivarteen on nippusiteillä kiinnitettynä johtoja (kuva 4), mutta siitä löytyy myös esimerkiksi virtajohto sekä huomattavasti tilaa vievä ohjaimen kaapeli (kuva 3). Elintarviketeollisuudessa esimerkiksi raakojen elintarvikkeiden käsittelyssä tai kosteissa olosuhteissa johdot täytyisi suojata niin, ettei niistä aiheudu vaaraa elintarvikkeelle tai ihmisille. Johdojen liittimet tulisi mahdollisesti suojata myös esimerkiksi pesuvedeltä. Johdot voitaisiin suojata esimerkiksi jollain ylimääräisellä lokerolla, kaapilla tason alla tai johdotuskourulla. Käsivarteen kiinnitetyt johdot ovat kaapelipiiloilla suojattuja, mikä siistii ja suojaa kobotin toiminta-aluetta. Tulee kuitenkin huolehtia, että myös suojan materiaali on elintarviketurvallista.



Kuva 3. UR5:n yleiskuva (Samppala, 2023).

Lisäosien johdot. UR5-yhteistyörobotin rakenne on kuvattu läheltä kuvassa 4. Kuvasta näkyvät paremmin lisäosien johdot. Elintarviketurvallisuuden näkökulmasta tällainen lisäosien johdotus ja niiden kiinnitys luovat riskin. Nippusiteillä tehty kiinnitys lisää useamman paikan, johon orgaanista ainetta voisi päästä kertymään, eivätkä nippusiteet ole kestävä ratkaisu esimerkiksi kosteissa olosuhteissa. Johdot on suojattu nykyiseen tarkoitukseen soveltuvalla tavalla, mutta elintarvikkeiden käsittelyssä tämänlainen suojaus voi lisätä kontaminoitumisen riskiä.

Johdot on suojattu sellaisella materiaalilla, jossa on paljon helposti likaantuvia ja vaikeasti puhdistettavia välejä. Tätä kobottia siirrettäessä elintarviketeollisuuteen täytyisi tutkia millaisia vaihtoehtoja johdotuksen muokkaamiselle tai suojaamiselle olisi. Onko lisäosat esimerkiksi mahdollista kytkeä kobottiin säilyttäen elintarviketurvallisuuden? Lisäosien tarpeellisuus on riippuvainen siitä, tarvitaanko työtehtävässä konenäköä tai voimaa tunnistavaa anturia. Täytyy ottaa myös huomioon, että kobottiin voi joutua asentamaan myös muita lisäosia, jolloin myös johtojen määrä voi lisääntyä.



Kuva 4. UR5:n yleiskuva tarkemmin (Samppala, 2023).

Ohjain. Ohjaimen suurimpia riskien paikkoja ovat ohjaimen etupuolella sen näyttöpaneeli ja kaksi näppäintä (kuva 5). Näyttöpaneelia käytettäessä ohjaimeen voi siirtyä orgaanisia aineita ihmisten käsien kautta. Näppäinten reunoilla on koloja, joihin mikrobien on helppo pesiä. Myös ohjaimen takapuolella on erilaisia koloja (kuva 6), muun muassa ruuviliitokset ovat riskialttiita ja haasteellisia puhdistaa. Näiden lisäksi kankaasta valmistettu, ohjaimen kädessä pitämistä helpottava remmi on todella hankalasti perusteellisesti puhdistettavissa.

Ohjaimen puhdistuksen tarve tulee määrittää riippuen sen käyttömäärästä. Mitä enemmän ohjainta käytetään, sitä suurempi kontaminoitumisriski. Ohjain täytyy suojata jollain tavalla tai sen käyttöä pitäisi rajoittaa siten, että siihen ei päädy esimerkiksi kontaminoitumista aiheuttavia elintarvikkejämiä. Yhteistyörobotin ohjaimen suojaamiseen saattaisi soveltua esimerkiksi sille soveltuva kertakäyttöinen suojapuku. Ohjaimen käyttöä voidaan rajoittaa myös kosketeltavaksi vain puhtain hanskoin tai ohjaimen voi asentaa pöytään kiinteäksi osaksi robottisolua. Kobottiin voi vaihtoehtoisesti asentaa esimerkiksi kameran, joka voidaan ohjelmoida tunnistamaan liikekäskyjä, jolloin pystyttäisiin välttämään turhaa kosketusta näyttöpaneeliin.



Kuva 5. UR5:n ohjain edestä (Samppala, 2023).



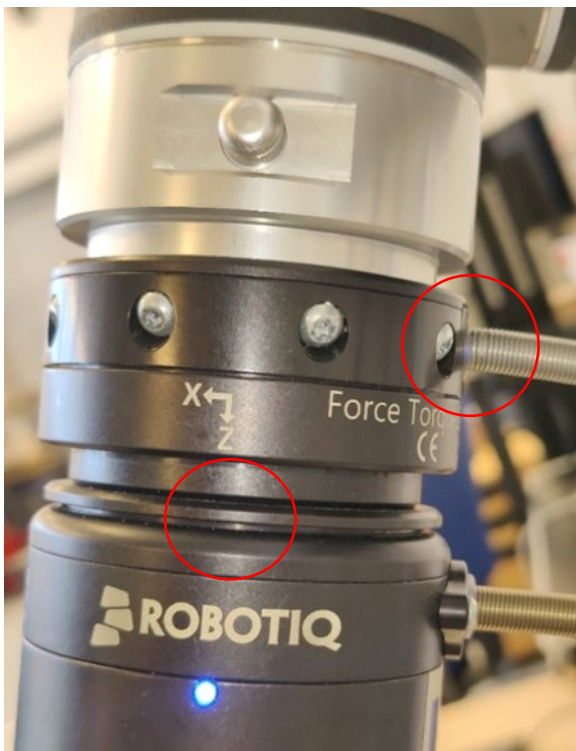
Kuva 6. UR5:n ohjain takaa (Samppala, 2023).

Päätetyökalun ja lisäosien hankala muoto. Yhteistyörobottiin on asennettu Robotiqin FT 300 force torque sensor-voima-anturi, konenäkö (wrist camera) sekä 2-finger gripper 85-tarttuja. Kyseiset lisäosat ovat IP-luokitukseltaan 40. Näissä lisäosissa on paljon liikkuvia osia sekä teräviä ja ahtaan näköisiä kulmia (kuva 7). Lisäosat ja niiden liitoskohdat tulisi elintarviketeollisuudessa suojata vedeltä ja elintarvikkeilta. Paineentunnistin on kiinnitetty kobotin käsisivarren päähän ruuveilla (kuva 8). Nämä ruuvit ovat todella hyvä alusta mikrobin kasvulle ja ne ovat hankalasti puhdistettavissa. Konenäkö lisäosana taas tuo kobottiin lisää suuriakin välejä, jonne jäämiä voi kertyä. Muotoilun sekä alhaisen IP-luokituksen vuoksi nämä lisäosat

eivät soveltuisi pakkaamattomien elintarvikkeiden käsittelyyn. Elintarviketuotantoon soveltuvan päätetyökalun tulisi olla rakenteeltaan mahdollisimman yksikertainen ja tiivis.

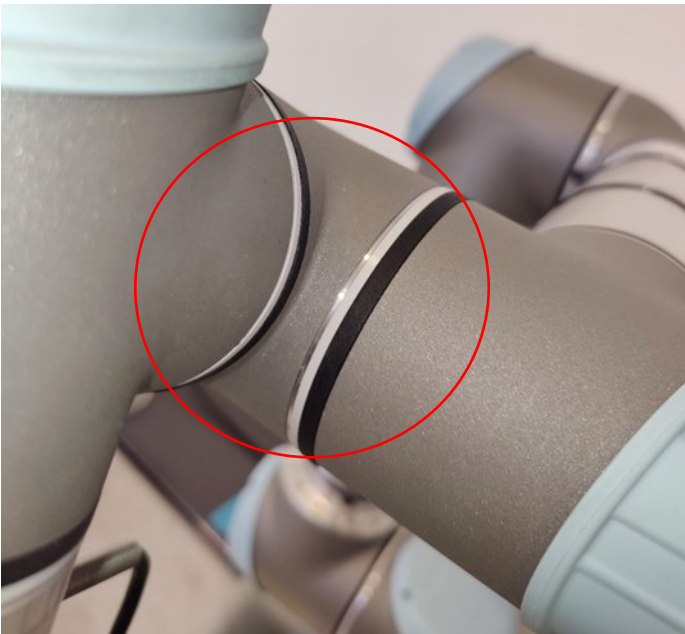


Kuva 7. UR5:n päätetyökalu (Samppala, 2023).



Kuva 8. UR5:n paineentunnistin ja konenäkö (Samppala, 2023).

Nivelet ja nivelsuojat. UR5-yhteistyörobotissa on kuusi kiertyvää niveltä. Nivelten kiertyvät liitoskohdat eivät ole täysin tasaisia, joten niihin on mahdollista kerääntyä jonkin asteista jäämää, mikäli niitä ei puhdistu huolellisesti (kuva 9). Robottiin on asennettu vaa-leansinisiä nivelsuojia. Elintarviketurvallisuuden kannalta on hienoa, että kobotin rakenteita on suojattu, mutta suojiin muoto voisi olla tasaisempi. Nivelsuojissa Universal Robotsin logo aiheuttaa pintojen epätasaisuutta, joka lisää elintarvikkejäämien mahdollisuutta. Terävät ruuviliitosten syvennykset ovat myös riskitekijöitä. Nivelsuojien reunat ovat myös koholla, joka aiheuttaa selviä välejä ympäri kobottia. Nivelsuojiin olisi hyvä saada tasaisia, sileitä pintoja. Täten kobotista olisi mahdollista muokata elintarviketurvallisempi.

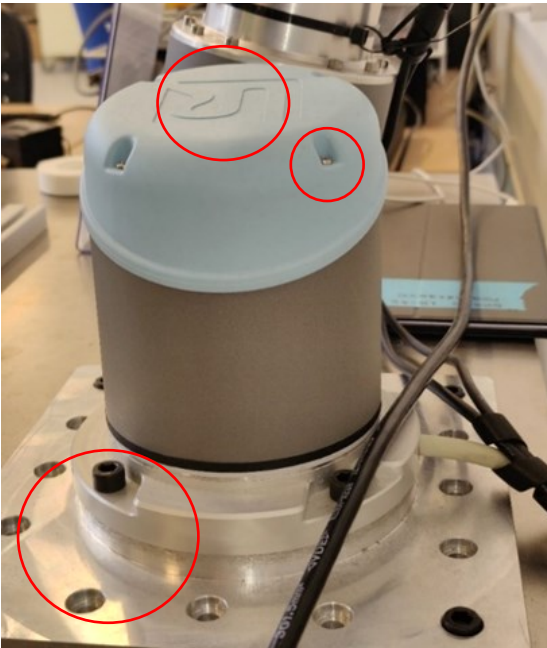


Kuva 9. UR5:n kiertyvät nivelet (Samppala, 2023).

Käsivarsi ja jalusta. Yhteistyörobotin käsivarren rakenteet ovat pyöristettyjä, joka on elintarviketurvallisuuden kannalta hyvä asia. Käsivarren erityisiksi haasteiksi voivat kuitenkin osoittautua sen terävät tai koholla olevat osat (kuvat 10 ja 11). Tällaisia ovat erityisesti ruuviliitoskohdat muun muassa käsivarressa sekä kobotin jalustassa. Kobotin tasoon kiinnitettävä jalusta kerää myös herkästi pölyä ja epäpuhtauksia, sillä siinä on runsaasti koloja, teräviä kulmia sekä vaikeasti puhdistettavia kohtia. Tällaiset paikat tulisi suojata tai muokata helposti puhdistettavaksi.



Kuva 10. UR5:n liitoksia (Samppala, 2023).



Kuva 11. UR5:n jalusta (Samppala, 2023).

UR5:n suurimmat hygieeniset haasteet. Yhteistyörobotin suurimpana hygieenisenä haasteena voidaan pitää sen tarttuvia sekä epätasaisia pintoja. Konedirektiivin (EY) 2006/42/EY mukaan elintarvikkeita koskettavien pintojen täytyy olla sileitä, ilman reunoja ja rakoja. Tällaisia tarttuvia ja jotkin osat eivät UR5-kobotissa olleet. Kyseinen robotti täyttää kuitenkin vaatimukset ja se saa toimia ISO 5 -luokan puhdastilassa, mutta sille pitäisi tätä varten valita elintarviketurvallinen tarttuja. Direktiivi kuvaa myös, että teräviä reunoja ja syvennyksiä täytyisi olla pienin mahdollinen määrä. Tämän lisäksi ongelmana on se, että direktiivin mukaan osien täytyisi olla helposti puhdistettavissa ja desinfioitavissa. Elintarviketeollisuudessa yhteistyörobotin ja lisäosien perusteellinen puhdistaminen on hankala

toteuttaa esimerkiksi matalan IP-luokituksen vuoksi. Helppoa puhdistettavuutta korostetaan myös elintarvikehygieniaa koskevassa asetuksessa (EY) 852/2004. Tässä asetuksessa korostetaan laitteiden pintoja ja etenkin elintarvikkeiden kanssa kosketuksissa olevia pintoja ja niiden puhdistettavuutta. Elintarvikehygienia-asetus vaatii laitteilta sellaista rakennus- tai kokoamistapaa, että saastumisriski voidaan saada mahdollisimman vähäiseksi. Kyseisessä asetuksessa kerrotaan tarkemmin myös HACCP-järjestelmästä ja kobottiin liittyen kaikki luvussa 3.2 mainitut periaatteet ovat tärkeitä. Yhteistyörobottiin liittyvät vaarat täytyisi tunnistaa ja määrittää kriittiset hallintapisteet.

UR10. UR10-yhteistyörobotti on ominaisuuksiltaan samanlainen kuin UR5, mutta sen kantokyky on 10 kg ja sen toimintasäde on isompi sen suuremman koon ansiosta (kuva 12). UR10 asennetun lisäosan johdotukset on suojattu kaapelipiilolla, mutta elintarviketeollisuuden korkeaa hygieniaa vaativissa sovellutuksissa tämä vaatisi lisäsuojausta. Kuvassa näkyvä päätetyökalu on alipaineella ja imukupeilla toimiva tarttuja. Tällainen päätetyökalu sopii hyvin esimerkiksi pakatun tuotteen lavaamiseen, mutta se ei olisi turvallinen ollessaan kosketuksissa elintarvikkeisiin. Tässä kohtaa taas täytyy siis ottaa huomioon se, että työssä analysoidaan robotiikan laboratorioissa toimivia yhteistyörobotteja, joita ei ole suunniteltu elintarvikekäyttöön. Asia kuitenkin huomioitiin, koska tällaisiin asioihin tulee kiinnittää huomiota suunniteltaessa kobottiin hygieenistä lisäosavarustusta.



Kuva 12. UR10:n yleiskuva (Samppala, 2023).

3D-tulostettu päätetyökalu ja palikka. Tämän opinnäytetyön tutkimusosuuteen sisällytettiin myös Prusa 13 MK3+ 3D -tulostimella PET-muovista tulostettu UR10-yhteistyörobottiin suunniteltu päätetyökalu (kuva 13). Tämän lisäksi vertailukohteeksi valmistettiin Raise3D Pro3 Plus 3D -tulostimella 2 cm x 5 cm x 5 cm kokoinen palikka. Koska valmistettua työkalua ei ole suunniteltu elintarviketeollisuuteen, etenkin koskettamaan elintarviketta, ei sen muotoiluun otettu kantaa. Kuitenkin 3D-tulosteiset työkalut haluttiin tuoda esiin tässä työssä, sillä ne voivat tulevaisuudessa olla merkittäväkin osa myös teollisuutta tai robotiikkaa.

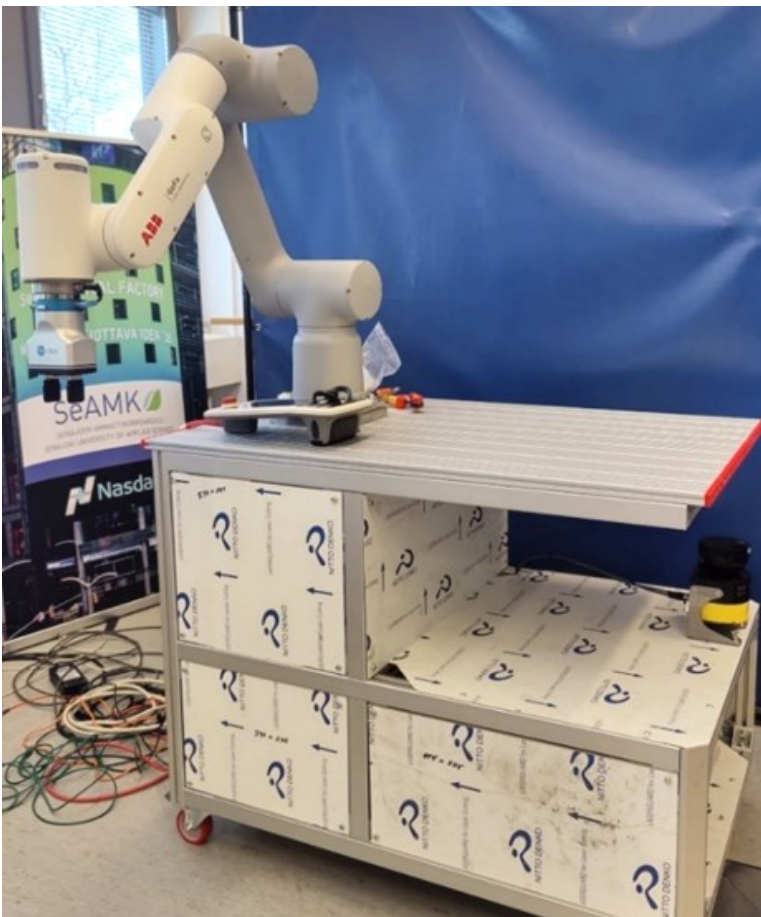
Tulosteiden pinnankarheuksissa on aistinvaraisesti huomattavaa eroa Raise3D Pro3 Plus -tulostimen jäljen ollessa huomattavasti tasaisempaa. Erilaisissa 3D-tulostimien tulostusjäljissä on siis eroja, mutta eroa on myös tulostetun kappaleen eri reunoilla. Tulosteen pinnan tasaisuus vaihtelee siis riippuen siitä, missä suunnassa se on ollut suhteessa tulostimen pintaan. Esimerkiksi pinnankarheudeltaan silein on se reuna, joka on ollut vasten tulostimen pintaa.



Kuva 13. 3D-tulostettu päätetyökalu sekä palikka ja nivelsuojat (Samppala, 2023).

ABB GoFa. Toisena yhteistyörobottimallina tarkemmin analysoitiin ABB:n GoFa-kobottia. ABB:n GoFa on teknisiltä ominaisuuksiltaan samankaltainen kuin UR5-yhteistyörobotti. Sen toimintasäde ylittää 950 mm, sen kantokyky on 5 kg ja sillä on tiiviysluokitus IP-54 (ABB, i.a.).

ABB valmistaa näitä robotteja esimerkiksi Ruotsissa, Norjassa, Kiinassa ja Yhdysvalloissa. GoFaan on integroitu paineen tunnistavat anturit, mikä vähentää johdotuksen tarvetta. Siihen ei kuitenkaan ole asennettu esimerkiksi konenäköä. Ulkonäön puolesta GoFa poikkeaa monella tavalla UR5-kobotista. Sen runko on tehty yksinkertaisemmaksi ja vaikutelma on pehmeämpi (kuva 14).



Kuva 14. GoFan yleiskuva (Samppala, 2023).

Ohjain ja jalusta. GoFan ohjain on pienempi kuin UR5-yhteistyörobotin (kuva 15). Ruokaturvallisuuden puolesta tästä ohjaimesta löytyy kuitenkin samat ongelmakohdat. Ohjaimen etupuolella on useita painikkeita, jotka lisäävät uhkaa elintarviketurvallisuudelle (kuva 16). Painikepaneeli on kuitenkin muodoltaan turvallisesti suunniteltu, sillä muotoilun ansiosta painikkeiden reunoilla ei ole kertymille otollisia välejä. Ohjaimen takaosassa (kuva 17) ongelmakohtia ovat ruuviliitokset, kädessä pitämistä helpottava remmi sekä ohjaimen kaapeli. Tämänkin ohjaimen kohdalla kehitysideoita ovat esimerkiksi ohjaimen suojaus, vaihtoehtoinen tapa ohjata kobottia tai ohjaimen koskeminen vain puhtain hanskoin. Kobotin jalustassa on pyöristettyjä kulmia ja vain vähän koloja ja ruuveja (kuva 16). Näihin

ruuviliitoksiin on mahdollista kuitenkin päätyä elintarvikettämiä, joten niiden suojausta tulisi harkita.



Kuva 15. GoFan yleiskuva tarkemmin (Samppala, 2023).



Kuva 16. GoFan jalusta ja ohjain edestä (Samppala, 2023).



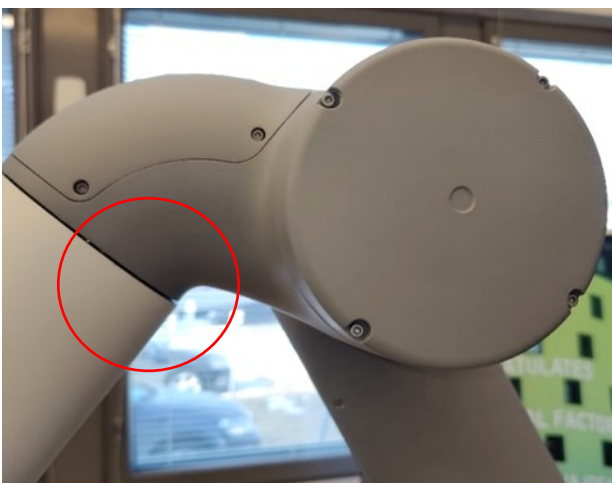
Kuva 17. GoFan ohjain takaa (Samppala, 2023).

GoFan päätetyökalu. GoFaan asennettu päätetyökalu vaikuttaisi korkeampaa hygieniää vaativiin työtehtäviin paremmin soveltuvalta UR5-yhteistyörobottiin asennettuun työkaluun verrattuna (kuva 18). Kuitenkin tämän päätetyökalun johdotus voi myös osoittautua ongelmaksi, ellei sitä suojaa kunnolla. Tällainen lyhyt ja yksinkertainen johdotus vaikuttaisi helpolta suojata esimerkiksi elintarviketurvallisella hupulla. Huppujen täytyisi kuitenkin olla kertakäyttöisiä paremman ruokaturvallisuuden takaamiseksi. Kobotin ainoa näkyvä metallinen osa löytyy käsivarren päästä, johon työkalu telakoidaan. Tämä osa on kulmikas ja vaikuttaisi helposti jäämiä tai pölyä keräävältä. Tämä osa olisi hyvä siis myös suojata. Onrobotin 2FG7-päätetyökalu on IP-luokitukseltaan 67, eli se on pölytiivis ja kestää jopa hetkeksen upotuksen veteen (OnRobot, i.a.). Tällä päätetyökalulla on myös ISO 5-luokitus, joka tarkoittaa, että sitä voidaan käyttää ISO 5-luokan puhdastilassa. Onrobotin päätetyökalu on helpommin perusteellisesti puhdistettavissa sen korkeamman IP-luokituksen takia. Tätä päätetyökalua voisi suihkuttaa vedellä, joka nopeuttaa puhdistusprosessia.

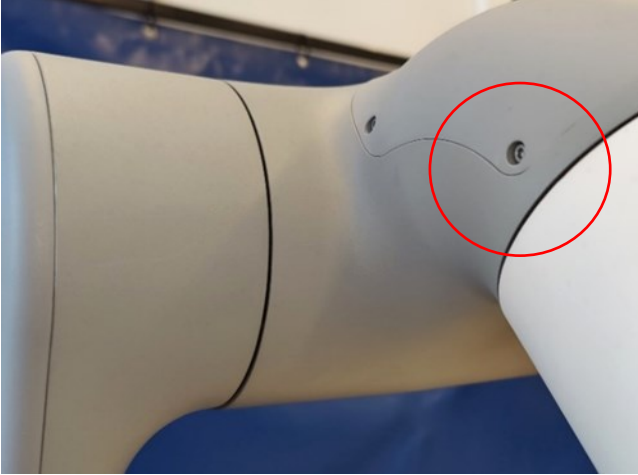


Kuva 18. GoFan päätetyökalu (Samppala, 2023).

Liitokset ja nivelet. GoFasta löytyy useita ruuviliitospaikkoja (kuvat 19–22). Tämän lisäksi nivelkohdissa on leveämmät raot, jotka voivat kerätä orgaanisia aineita sekä mahdollisesti pölyä. Ruuviliitokset ovat tässäkin yhteistyörobotissa mikrobien kasvulle sopivia alustoja ja niiden huolellinen puhdistaminen on hankalaa. Nivelkohdat ja ruuviliitokset täytyisi elintarviketurvallisuuden takaamiseksi suojata tai muokata. Vaihtoehtoina ovat muun muassa kertakäyttöiset suojapuvut tai rakenteen kehittäminen. Esimerkiksi UR5:ssä toteutettu väli-
lien tiivistäminen voisi toimia kertymien vähentämiseksi. Telakointiasemassa on painikkeita ja myös ruuviliitoksia. Se on kuitenkin hyvin ulkomuodoltaan pyörästetty.



Kuva 19. GoFan ruuviliitoksia ja välejä (Samppala, 2023).



Kuva 20. GoFan niveliä (Samppala, 2023).



Kuva 21. GoFan telakointiasema (Samppala, 2023).



Kuva 22. GoFan ruuviliitoksia ja välejä eri kuvakulmasta (Samppala, 2023).

6.2 Näytteenotto ja tulokset

Työn suoritus. Rakenteen valokuvauksen ja analysoinnin perusteella yhteistyörobotista määritettiin kohteet, joista otettiin näytteet kolmella erilaisella menetelmällä. Työn toinen osuus toteutettiin suunnitelman mukaisesti sivelemällä etukäteen valmistettua ja noin vuorokauden huoneenlämmössä säilytettyä nestemäistä kermapohjaista elintarviketta määritettyihin kohteisiin kobotissa (kuva 23). Elintarvikkeen annettiin kuivahtaa 45 minuuttia, jonka jälkeen siitä otettiin kaksi näytettä petrifilmillä. Seuraavaksi levitettiin Topaz MD4 -vaahtopesuainetta, jonka annettiin vaikuttaa 15 minuuttia. Sitten kobotti puhdistettiin nihkeitä liinoja käyttäen. Puhdistus toteutettiin kahdesti, jotta kobotti saatiin mahdollisimman puhtaaksi. Tämän jälkeen kobotin annettiin kuivua kaksi tuntia, jonka jälkeen otettiin näytteet kohteista, joihin elintarviketta oli sivelty. Näytteet otettiin yhdellä, kahdella tai kolmella eri menetelmällä kohteen muodon, sijainnin sekä puhdistettavuuden perusteella.



Kuva 23. Valitut kohteet siveltyinä kermakastikkeella (Samppala, 2023).

Kobottiin siveltiin etukäteen itse valmistettua kermakastiketta. Kastike valmistettiin paistinpannalla kuullottamalla ensimmäisenä pieni määrä silputtua sipulia öljyssä. Sipulien joukkoon

lisättiin neljä desilitraa ruokakermaa, seoksen annettiin tekeytyä ja lopuksi seokseen lisättiin noin desilitra juustoraastetta. Juuston annettiin sulaa, jonka jälkeen valmis kastike jätettiin liedelle ja sen annettiin jäähtyä. Kastiketta säilytettiin liedellä vuorokauden ajan, jonka jälkeen se siirrettiin rasiaan. Kastiketta säilöttiin jääkaapissa yön yli, jonka jälkeen se vietiin laboratorioon seuraavaa vaihetta varten.

Kastiketta siveltiin kohteisiin ohut kerros pullasudin avulla. Kohteiksi valikoitui 13 eri osaa ja niille kaksi verrattavaa kohdetta. Yhteensä näytteitä otettiin siis 39 eri kohdasta. Kohteet koodattiin numeroilla helpottamaan taulukointia. Ensimmäinen näyte ja sille rinnakkaisnäyte otettiin kuivahtaneesta elintarvikkeesta robotin alumiinisella pinnalla. Näitä tuloksia voidaan verrata pesun jälkeisiin tuloksiin ja toimivat niin sanottuna positiivisena kontrollina. Yhteistyörobottiin ja muihin osiin levitettiin vaahtopesuainetta (kuva 24) ja pesuaine poistettiin nihkeällä liinalla. Pinnat jouduttiin pyyhkimään kaksi kertaa läpi, sillä ensimmäisellä kerralla elintarvike tuntui vain leviävän kobotin pinnalle. Tämän lisäksi liinoja kului paljon, sillä ne olivat paperisia ja ohuita. Jokin muu materiaali liinoille sopisi paremmin, mikä voisi myös helpottaa elintarvikkeen irtoamista.

Seuraavat näytteet otettiin pesun jälkeen niin, että ensimmäisenä otettiin petrifilmi-näytteet. Näiden jälkeen otettiin proteiinipikatestit paikoista, joista se oli mahdollista ottaa. Proteiinipikatestiä ei otettu ahtaimmista tai teräväkulmaisimmista kohteista, sillä se ei testin muodon puolesta ollut mahdollista. Tällaisista kohteista otettiin allergeenitesti. Näytteidenoton jälkeen kobotti pyyhittiin desinfiointiliinoilla (kuva 25) ja osalle kohteista toistettiin proteiinitestit.



Kuva 24. Valitut kohteet vaahtopesuaineella (Samppala, 2023).



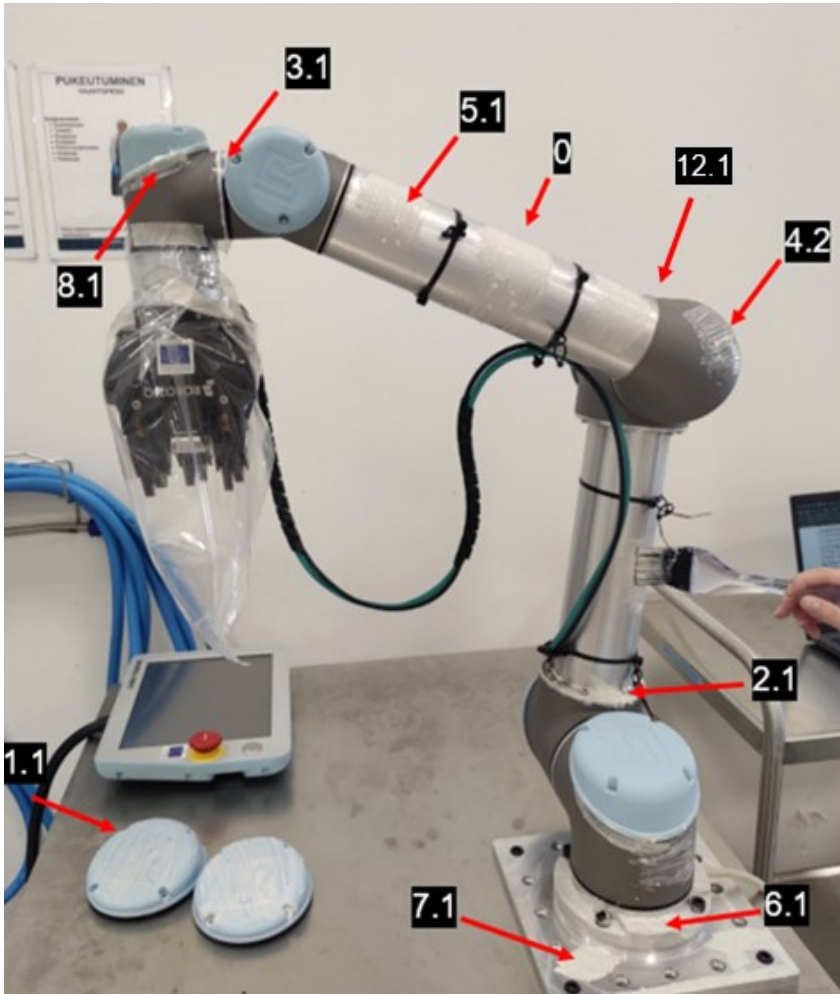
Kuva 25. Yhteistyörobotti pestynä ja pyyhittyinä desinfiointiliinoilla (Samppala, 2023).

Tulokset. Puhtauden määrittämiseksi valittiin kohteiksi kobotin eri osia. Näitä olivat oletettavasti helpommin puhdistettavat, sileät pinnat sekä oletettavasti vaikeammin puhdistettavat pinnat, kuten ruuviliitoskohdat ja muut epätasaiset pinnat. Näiden lisäksi määriä tehtiin irrallisiin nivelsuojiiin, UR10-yhteistyörobotista irrotettuun 3D-tulostettuun tarttujaan sekä 3D-tulostettuun palikkaan. Kohteet koodattiin numeroin (taulukko 2) niin, että esimerkiksi nivelsuojille annettiin numero 1. Nivelsuojia valittiin kaksi irrallista sekä yksi kobotissa kiinni oleva. Jokaiselle kohteelle valittiin siis kolme rinnakkaista kohtaa, täten saatiin nostettua tulosten luotettavuutta. Poikkeuksena kohdat 12 ja 13, joista tehtiin ainoastaan allergeenitestit niiden hankalan muodon vuoksi. Kohdat nimettiin numeroilla 1.1, 1.2 sekä 1.3. Loput kohteet valittiin ja koodattiin samalla tyylillä 2.1, 2.2, 2.3 ja niin edelleen.

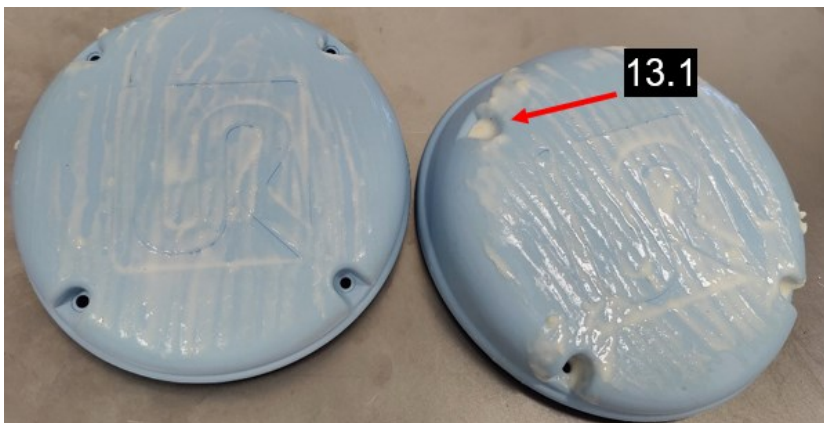
Taulukko 2. Valitut kohteet numeroituna.

0.	Kontrollipinta
1.	Nivelsuoja
2.	Käsivarren ruuviliitokset
3.	Kiertyvä liitoskohta
4.	PP-muovipinta
5.	Alumiinipinta
6.	Kobotin jalusta
7.	Rakennettu jalusta
8.	Nivelsuojan reuna
9.	3D-tulostettu tarttuja
10.	Tarttujan imukuppi
11.	3D-tulostettu palikka
12.	Muovi- ja alumiinipinnan liitoskohta
13.	Nivelsuojan upotettu ruuviliitoskohta

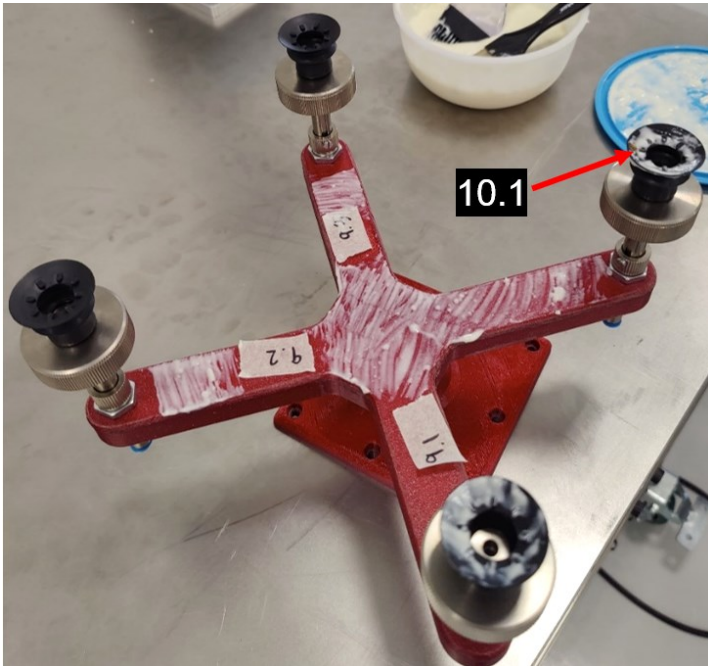
Selkeästi sellaiset kohteet, joita ei liinalla saa tarpeeksi puhtaaksi, jätettiin työn ulkopuolelle. Tällaisia ovat esimerkiksi syväuurteiset ruuvit, joita löytyi esimerkiksi käsivarren liitoskohdasta (kuvassa 26 kohta 2.1). Ruuvien lisäksi ulkopuolelle jätettiin syvät ruuviliitoskohdat, joita löytyy esimerkiksi kobottiin kiinnitetyistä vaaleansinisistä nivelsuojista. Määriä tehtiin kuitenkin valittiin yksi, irrallisesta nivelsuojasta valittu ruuviliitospaikka (kuva 27). Työn ulkopuolelle jouduttiin valitettavasti jättämään myös sellaiset osat, jotka todennäköisimmin joutuisivat kosketukseen elintarvikkeen kanssa eli päätetyökalu sekä sen telakointiasema. Poisjätö johuu siitä, että päätetyökalun IP-luokitus on 40 eli sitä ei ole suojattu lainkaan vedeltä. Tarttuja suojattiin elintarvikkeelta ja kosteudelta työn ajaksi. Tarttujan sijaan tarkasteluun otettiin mahdollisesti tulevaisuudessa yleistyvä, 3D-tulostettu työkalu ja sen pinnat (kuva 28). Verrattavaksi pinnaksi otettiin eri 3D-tulostimella valmistettu palikka (kuva 29).



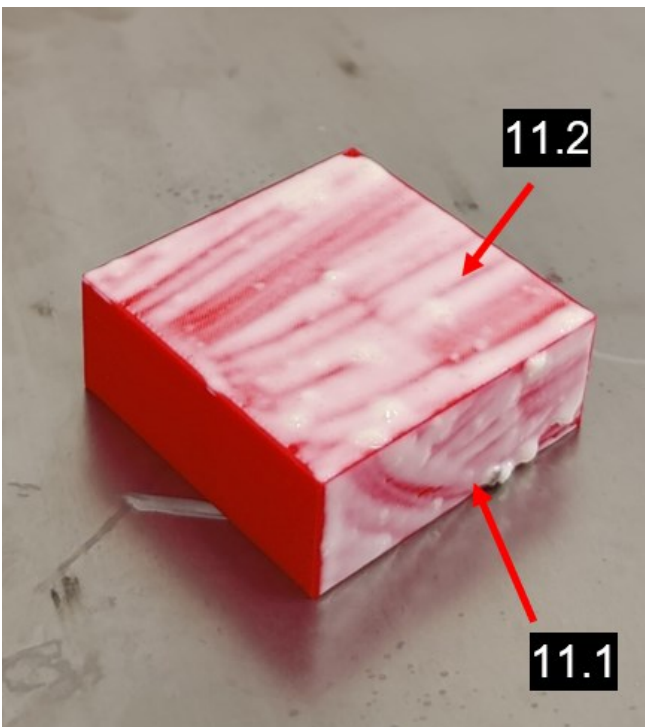
Kuva 26. Yhteistyörobotin tutkittavat osat merkittynä (Samppala, 2023).



Kuva 27. Nivelsuojat siveltyinä kermakastikkeella (Samppala, 2023).



Kuva 28. 3D-tulostettu tarttija siveltyä kermakastikkeella (Samppala, 2023).



Kuva 29. 3D-tulostettu palikka siveltyä kermakastikkeella (Samppala, 2023).

Petrifilmit. Kohteista 1–11 tehtiin pesun jälkeen kokonaismikrobimääritys petrifilmeillä (taulukko 3). Joistain kohteista näytteenotto oli hankalaa pinnanmuodon vuoksi. Tällaisia olivat kohdat 2 ja 8, lisäksi hankaluuksia tuotti muotonsa puolesta hieman kohta 6. Tämän takia tulokset eivät ole välttämättä täysin luotettavia. Hankalista kohdista otettiin myös allergeenitesteit, jolla näytettä saatiin kerättyä näytteenottoaikeella. Tämä menetelmä sopi paremmin kohteiden muotoiluun ja niiden tulokset ovat luotettavampia.

Petrifilmien tuloksia verrattiin kontrollipinnan tulokseen, jonka perusteella määritettiin puhdistumisaste. Puhtaus luokiteltiin numeroin 1–5 siten, että 1 tarkoittaa todella vähäistä mikrobien kasvua ja 5 todella runsasta mikrobien kasvua. Tason 1 saaneet pinnat voidaan todeta olevan täysin puhtaita, tasolla 2 pinta ei ole enää täysin puhdas, mutta pinnan voidaan kuitenkin todeta olevan melko puhdas. Muut luokat kertovat pinnalla olevan liiaksi elintarvikejäämää.

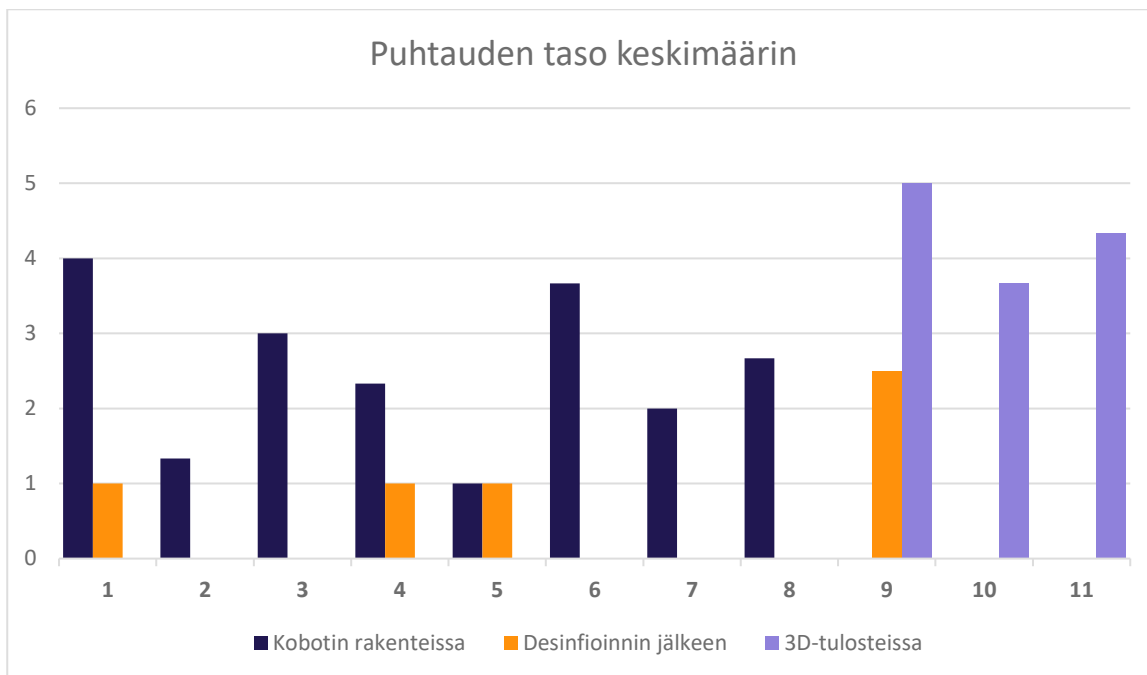
Joistain kohteista otettiin Oxivir Excel Wipe -puhdistus- ja desinfiointipyhkeellä puhdistamisen jälkeen uusi näyte. Näiden avulla pystytään toteamaan, auttaako desinfiointiliinalla pyyhkiminen pesun jälkeen saavuttamaan riittävän puhtauden vai jääkö pinnalle edelleen elintarvikejäämää. Nämä tulokset ilmoitetaan taulukossa kirjaimella D.

Taulukko 3. Petrifilmi-kasvatusalustojen tulokset pesun jälkeen. 1= todella vähäistä kasvua, 2= vähäistä kasvua, 3= kohtalaista kasvua, 4= runsasta kasvua, 5= todella runsasta kasvua. D= Desinfiointin jälkeinen mikrobikasvuston määrä.

	1	2	3	4	5
0 Kontrollipinta					X
1.1 Nivelsuoja				X	
1.2	(D)			X	
1.3	(D)			X	
2.1 Käsivarren ruuviliitokset		X			
2.2	X				
2.3	X				
3.1 Kiertyvä liitoskohta			X		
3.2			X		
3.3			X		
4.1 PP-muovipinta	X				
4.2	(D)	X			
4.3	(D)			X	
5.1 Alumiinipinta	X (D)				
5.2	X (D)				
5.3	X				
6.1 Kobotin jalusta			X		
6.2				X	
6.3				X	
7.1 Rakennettu jalusta		X			
7.2		X			
7.3		X			
8.1 Nivelsuojan reuna	X				
8.2			X		
8.3				X	
9.1 3D-tulostettu tarttuja				(D)	X
9.2	(D)				X
9.3					X
10.1 Tarttujan imukuppi				X	
10.2				X	
10.3			X		
11.1 3D-tulostettu palikka			X		
11.2					X
11.3					X

Kuten kuviosta 2 voidaan huomata, elintarvikejäämien määrässä oli hajontaa. Parhaimmat pesutulokset saivat metalliset pinnat 2, 5 ja 7 sekä kohta 4, eli sileät PP-muoviset pinnat. Näissä mikrobikasvustoa oli korkeintaan vain vähän, lukuun ottamatta kohtaa 4.3. PP-muovi-seen pintaan 4.3 oli osittain jäänyt silminnähden elintarvikejäämää pesusta huolimatta, tämän vuoksi kasvua oli huomattavasti enemmän muihin verrattuna. Kaikki yhteistyörobotin pinnat, jotka testattiin desinfiointiliinon jälkeen, saavuttivat täysin puhtaan tason. Desinfiointin

jälkeen testaamatta jäivät sellaiset osat, joista oli hankala ottaa näytteitä petrifilmillä muotonsa vuoksi.



Kuvio 2. Puhtauden taso petrifilmeillä kohteittain. 1= todella vähäistä kasvua, 2= vähäistä kasvua, 3= kohtalaista kasvua, 4= runsasta kasvua, 5= todella runsasta kasvua. D= puhtauden taso desinfiointin jälkeen.

Selkeästi kohtalaista kasvua ilmeni vain kiertyvissä liitoskohdissa (3). Kasvun määrä selittyy sillä, että siinä pinta on hieman epätasainen. Kohdasta oli haasteellista saada näytettä vain liitoskohdasta, joten näytettä ei otettu desinfiointin jälkeen. Tuloksen voidaan kuitenkin odottaa olevan parempi kuin pelkästään nihkeällä liinalla pyyhkimisen jälkeen.

Hankalammin puhdistettaviksi kohteiksi osoittautuivat nivelsuojat (1) ja niiden reunat (8) sekä kobotin jalusta (6). Näissä kasvu oli pesun jälkeen runsasta tai todella runsasta. Runsas kasvu selittyy nivelsuojissa sillä, että suojien pinta on epätasainen siihen painetun logon vuoksi. Jalustan runsas mikrobikasvusto johtuu siitä, että pinta on epätasainen, siinä on teräviä kulmia sekä ahtaita paikkoja, jonne on vaikea päästä liinan avulla.

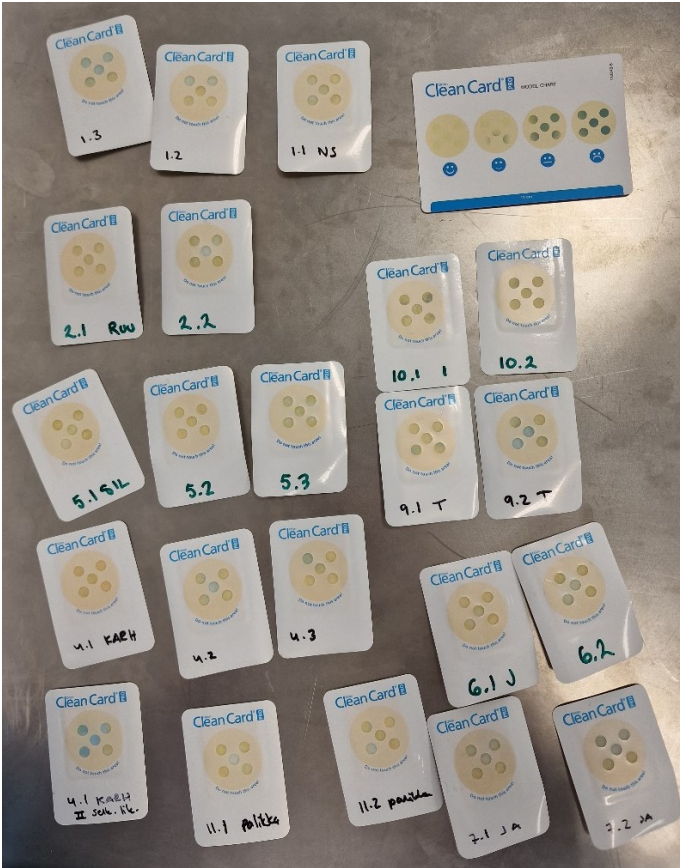
Vaikeimmin puhdistettaviksi pinnoiksi voidaan todeta 3D-tulosteiset pinnat 9 ja 11 (kuvio 2). Tulos oli odotettavissa pinnan karheuden vuoksi. Pinnoilla havaittiin raskasta sekä todella raskasta kasvua pesun jälkeen. Desinfiointiliinan jälkeen 9.1 pinta ei ollut juurikaan puhtaampi. Sen sijaan 9.2 pinta oli huomattavasti puhtaampi. Tämä osoittaa sen, ettei karhean 3D-tulosteisen pinnan puhdistettavuutta voi varmistaa desinfiomallakaan ainakaan liinoja käyttäen.

Mikäli 3D-tulosteinen työkalu on kobotista helposti irrotettavissa, voi se olla mahdollista pestä eri menetelmällä kuin kobotti. Tämä voi johtaa siihen, että riittävä puhtaus voidaan saavuttaa. Esimerkiksi kuitenkin luvussa 4.1.1 mainittu erittäin hankalaksi patogeeniksi todetun *Listerian* on mahdollista pesiä karheaan pintaan. Vaikka nämä tulokset viittaisivat mahdollisuuteen riittävän puhdistettavuuden saavuttamiseksi, on turha ottaa riskiä *Listerian* tai jonkun muun mikrobin pesiytymisestä karheille pinnoille.

Proteiinitestit. Proteiinitestit (kuva 30) tehtiin yhteensä 21 valitusta kohdasta. Proteiinitestien tulosten tulkitsemiseen valittiin käyttää suurempaa vaihteluväliä kuin mallikortissa, jossa vaihteluväli oli 1–4. Tuloksia tulkittiin asteikolla 1–6, jossa luku 1 tarkoittaa ei proteiinijäämää ja luku 6 todella runsasta proteiinijäämää. Tähän päädyttiin sen vuoksi, että useat testin tulokset vaikuttivat olevan esimerkiksi jotain väliltä 2 ja 3. Yleisin tulos näytteille oli se, että kohdat sisälsivät todella vähäistä proteiinijäämää (taulukko 4). Nivelsuojassa 1.3 ja PP-muovipinnassa 4.1 oli eniten proteiinijäämää. Tämä kyseinen näyte otettiin kahdesti, koska alueella oli puhtaan näköinen kohta sekä kohta, johon oli selkeästi jäänyt elintarvikejäämää. Jäämää ei löytynyt ollenkaan esimerkiksi alumiinipinnoilta, näytteistä 5.1 ja 5.2. Osa tuloksista pitää varmasti paikkansa, mutta joistain kohdista oli tällaisella testillä vaikeaa ottaa näytettä hankalan muodon vuoksi. Tällainen oli esimerkiksi kohta 2, käsivarren ruuviliitokset.

Kuviosta 3 näkee keskimääräisen proteiinijäämän osioittain. Kuviosta esiin nousee etenkin nivelsuojat korkealla proteiinijäämällä. Kolmas testattu nivelsuoja oli kiinni kobotissa, minkä vuoksi osaa ei saatu puhdistettua yhtä perusteellisesti kuin kaksi ensimmäistä nivelsuojaa. Tämän vuoksi nivelsuojassa 1.3 oli selkeästi enemmän proteiinijäämää. Selkeämpi proteiinijäämä voi johtua osittain myös siitä, että toiset nivelsuojat olivat pakkauksessa säilytettyjä ennen testien tekemistä.

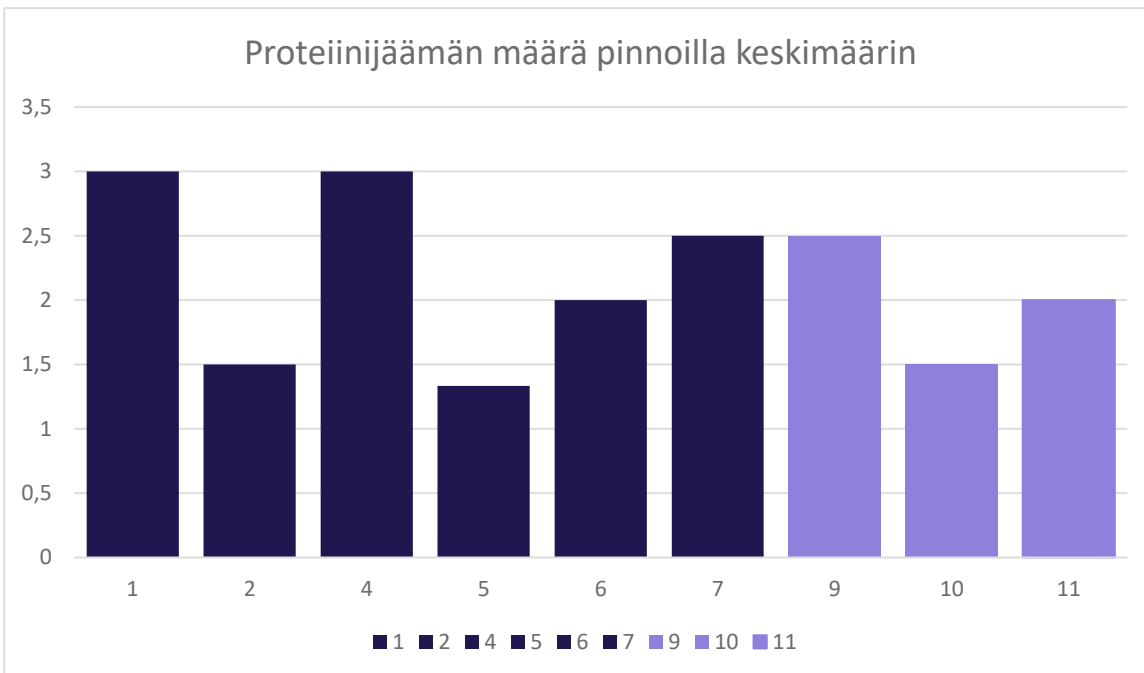
Pikaproteiinitestien tuloksissa on jonkin asteista hajontaa jopa rinnakkaisnäytteiden kohdalla. Jotkin eroavat toisistaan suurestikin, kuten PP-muovipinnan 4.1 sekä nivelsuojien tulokset. Rinnakkaisnäytteitä pitäisi ottaa enemmän ja vielä useammasta kohtaa, jotta voitaisiin varmistua tulosten pitävyydestä. Näiden tulosten perusteella voitaisiin todeta, ettei proteiinijäämiä saa täysin poistettua nihkeää liinaa käyttämällä. Tämän vuoksi voisi olla tarpeellista miettiä toista puhdistusmenetelmää.



Kuva 30. Proteiinitestien tuloksia ja mallikortti (Samppala, 2023).

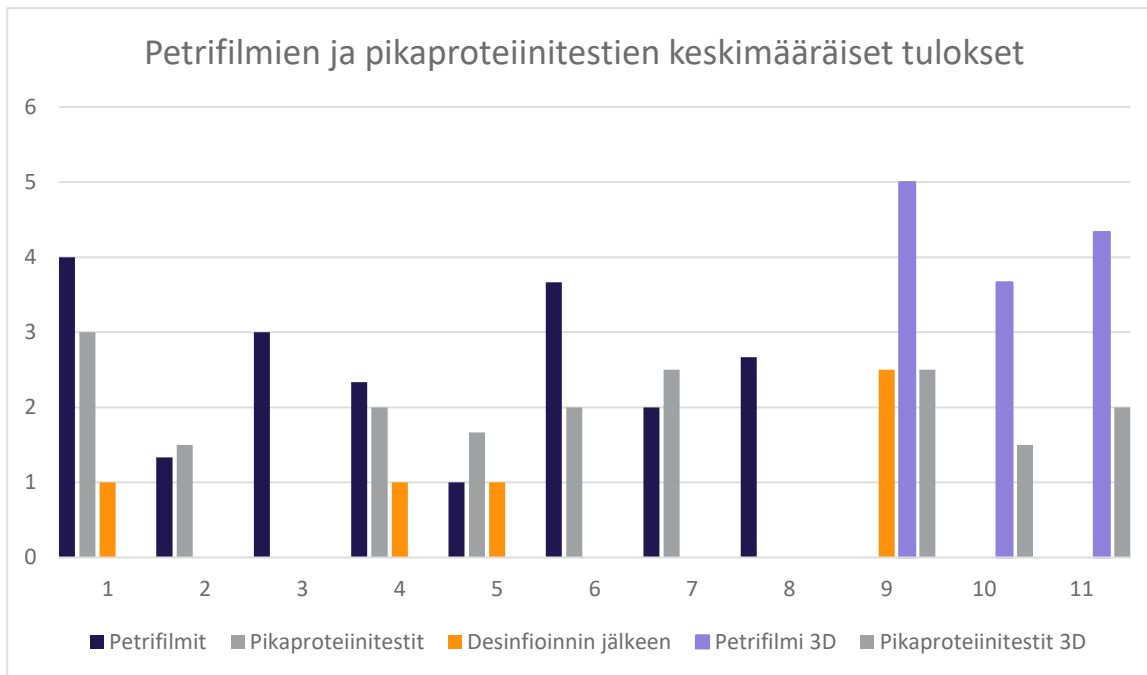
Taulukko 4. Pikaproteiinitestien tulokset. 1= ei proteiinijäämää, 2= todella vähäistä proteiinijäämää, 3= vähäistä proteiinijäämää, 4= proteiinijäämää on, 5= runsasta proteiinijäämää, 6= todella runsasta proteiinijäämää.

Näyte	1	2	3	4	5	6
1.1 Nivelsuoja		X				
1.2			X			
1.3				X		
2.1 Käsivarren ruuviliitos	X					
2.2		X				
4.1 PP-muovipinta	X				X	
4.2			X			
4.3			X			
5.1 Alumiinipinta	X					
5.2	X					
5.3		X				
6.1 Kobotin jalusta		X				
6.2		X				
7.1 Rakennettu jalusta		X				
7.2			X			
9.1 3D-tulostettu tarttuja		X				
9.2			X			
10.1 Tarttujan imukuppi		X				
10.2	X					
11.1 3D-tulostettu palikka		X				
11.2		X				



Kuvio 3. Pikaproteiinitestien keskimääräiset tulokset kuvioituna. 9–11 ovat 3D-tulosteiden tuloksia. 1= ei proteiinijäämää, 2= todella vähäistä proteiinijäämää, 3= vähäistä proteiinijäämää, 4= proteiinijäämää on, 5= runsasta proteiinijäämää, 6= todella runsasta proteiinijäämää.

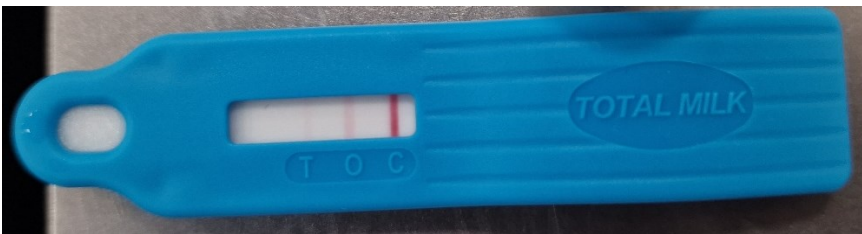
Petrifilmien ja pikaproteiinitestien tuloksia vertailemalla voidaan huomata osittaista yhtäläisyyttä (kuvio 4). Poikkeuksena voidaan pitää kobotin jalustaa (6), jossa todettiin runsasta mikrobikasvustoa, mutta todella vähäistä proteiinijäämää. Tulos voi johtua esimerkiksi siitä, että pinnalla oli jotain muuta jäämää kuin maitoproteiinia. Suurimmat poikkeavuudet ilmenevät 3D-tulosteisilla pinnoilla. 3D-tulosteiden poikkeavat tulokset johtuvat todennäköisesti siitä, ettei näytettä saatu kerättyä kunnolla näyteliuskan muodon sekä pinnan karheuden vuoksi.



Kuvio 4. Petrifilmien sekä pikaproteiinitestien keskimääräiset tulokset kuvioituna yhtäläisyyksien vertaamiseksi. 1= Pinta on puhdas, proteiinijäämää ei ollut, 5= Pinnassa on todella runsasta mikrobikasvustoa, proteiinijäämää on runsaasti.

Allergeenitestit. Allergeenitestit tehtiin yhteensä kahdeksasta valitusta kohteesta yhteistyörobotissa (taulukko 5), joista todettiin olevan liian hankala ottaa näytteitä muilla menetelmillä, tai koettiin muuten merkittäviksi kohteiksi testata. Allergeenitestillä näyte otetaan puikolla, mikä helpottaa huomattavasti ahtaista paikoista näytteiden ottamista. Tulosten tulkinta koettiin osittain hieman hankalaksi, sillä viivojen värin vahvuus vaihteli paljon näytteestä riippuen. Puolet näytteistä tulkittiin positiivisiksi (kuva 31) ja puolet negatiivisiksi (kuva 32). Yksi positiivisista testeistä oli korkeasti positiivinen. Tämä testi oli otettu nivelsuojan upotetusta ruuviliitoskohdasta. Tulos osoittaa, että ruuviliitoskohdat ovat yhteistyörobottien puhdistettavuuden kannalta suuri ongelma. Tilannetta hankaloittaa se, ettei kobottia voi pestä esimerkiksi vesisuihkulla, jolloin pienien välien peseminen on erittäin hankalaa. Nivelsuojan reunan, kobotin jalustan sekä PP-muovipinnan tulokset olivat myös positiivisia.

Negatiivisia olivat muovi- ja alumiinipinnan liitoskohta, nivelsuoja, käsivarren ruuviliitos sekä tarttujan imukuppi. Tulokset poikkeavat petrifilmeistä saatuihin tuloksiin, esimerkiksi nivelsuojista, joissa pesäkekasvu oli runsasta. Samankaltaisen tuloksen antoi tarttujan imukuppi. Tuloksista voidaan kuitenkin päätellä, että kohteista saatiin poistettua maitoproteiini, mutta ei mikrobistoa. Yllättävin tulos saatiin käsivarren ruuviliitoksissa, jossa ei todettu allergeenijäämää ja petrifilmissä kasvu oli todella vähäistä. Tulokset yllättävät, sillä kohde oli hankala puhdistaa koholla olevien ruuvien vuoksi. Täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että elintarviketta levitettiin vain ruuvien ympärille, ei uurrettuun osaan, josta sitä ei olisi saatu liinalla puhdistettua.



Kuva 31. PP-muovipinnan positiivinen tulos allergeenitestillä (Samppala, 2023).



Kuva 32. Muovi- ja alumiinipinnan liitoskohdan negatiivinen tulos allergeenitestillä (Samppala, 2023).

Taulukko 5. Allergeenitestien tulokset. K. pos. = allergeenijäämää on paljon, pos. = allergeenijäämää on, neg. = allergeenijäämää ei ole.

Näyte	K. pos.	Pos.	Neg.
1.3 Nivelsuoja			X
2.1 Käsivarren ruuviliitos			X
4.2 PP-muovipinta		X	
6.1 Kobotin jalusta		X	
8.3 Nivelsuojan reuna		X	
10.1 Tarttujan imukuppi			X
12.1 Muovi- ja alumiinipinnan liitoskohta			X
13.1 Nivelsuojan upotettu ruuviliitoskohta	X		

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Yhteistyörobottien rakenne on osittain ongelmallinen elintarviketurvallisuuden kannalta. Joidenkin osien muoto sekä useimmissa koboteissa oleva matala vesitiiviysluokitus tekevät puhdistettavuudesta haastavaa. Nämä asiat ovat todettu useissa työn kohdissa, kuten teoriaosuudessa, rakenteen valokuvauksessa ja näytteenoton kohdalla. Ruuvit sekä niiden liittokohdat sekä käsivarren pää ovat useimmiten hankalimmat muotonsa puolesta puhdistettavuuden kannalta. Myös johdotus voi hankaloittaa puhdistettavuutta, mikäli lisäosia asentamassa johdon joutuu vetämään kobotin käsivartta pitkin. Joissain malleissa esimerkiksi työkalun johto liitetään kuitenkin työkalun viereen, jolloin johdon suojaus helpottuu. On otettava huomioon myös asennettavan päätetyökalun vesitiiviys, joka joissain malleissa on kobotin tiiveyttä matalampi. Asentamalla kobotin kuorien alle turvallisuutta lisäävät ominaisuudet johtaamalla, voidaan edistää elintarviketurvallisuutta.

Näytteenoton tulokset osoittivat puhdistuksen riittämättömyyden, mutta täysin luotettavien tulosten saamiseksi näytteitä olisi pitänyt ottaa enemmän sekä kohteisiin paremmin soveltuvien menetelmin. Pintojen pyyhintään olisivat sopineet varmasti paremmin muunkaltaiset liinat kuin ohuet paperiliinat. Tuloksia ei voi suoraan verrata elintarviketeollisuuden prosesseihin. Tämä johtuu esimerkiksi siitä, että todennäköisimmin prosessissa elintarviketta ei päädy kobotin osiin niin suuria määriä kuin käytetyssä tutkimusmenetelmässä. Työssä ei myöskään päästy tekemään tutkimusta yhteistyörobotin kriittisimmästä kohdasta, tarttujasta. Se on elintarviketeollisuudessa kuitenkin tärkein osa, joka on suorassa kosketuksessa elintarvikkeeseen.

Työn kirjallisuusosuuden kirjoittaminen sujui suhteellisen mutkattomasti, vaikka lähteitä olikin hankala löytää suomeksi. Tämän voikin huomata englanninkielisten lähteiden määrässä. Teoriatiedon tutkiminen oli mielekästä ja mielenkiintoista. Aiemman tutkimustiedon löytäminen oli hieman haastavaa, sillä tietoa on vasta vähän. Tämän takia tehdyn tutkimuksen tuloksia ei pystytä vertaamaan aiempiin tuloksiin. Teoriaosuudessa esitelty tapaustutkimus (luku 2.1) kuitenkin osoittaa sen, että teollisuusrobotti, joksi yhteistyörobotti myös luetaan, on mahdollista tietyissä raameissa sijoittaa prosessiin, jossa se on kosketuksissa pakkaamattomaan elintarvikkeeseen.

Tutkimusmenetelminä valokuvaus ja näytteenotto toimivat hyvin aiheen tutkimisessa. Valokuvauksessa rakenteita pystyttiin tarkastelemaan monista eri näkökulmista. Jo tässä vaiheessa

sai hyvän käsityksen siitä, mitkä yhteistyörobotin osat voisivat osoittautua haasteellisiksi puhdistettavuuden kannalta. Alkuperäisen suunnitelman mukaan näytteitä oli tarkoitus ottaa kahdella eri menetelmällä, petrifilmeillä ja pikaproteiinitesteillä. Näiden lisäksi saatiin kuitenkin maitoallergeenitestit käyttöön. Näytteenottomenetelmien soveltuvuus selvisi vasta silloin, kun näytteitä otettiin. Joistain kohdista kobottia oli lähes mahdotonta saada luotettavia tuloksia. Allergeenitestien näytepuikon ansiosta joistain haasteellisimmistakin kohteista saatiin kuitenkin otettua edes yksi luotettavampi tulos. Alkuperäiseen suunnitelmaan ei kuulunut myöskään desinfiointiliinon jälkeinen testaus. Näytteet päätettiin kuitenkin ottaa, sillä nihkeällä liinalla puhdistaminen vaikutti tuottavan heikohkon pesutuloksen.

Yhteistyörobotteja voisi kehittää esimerkiksi UR5:n kohdalla siten, että kytkinliitokset sijoitettaisiin mieluummin käsivarren päähän, kuten GoFassa. Tällä hetkellä lisäosien johdotuksen joutuu kiinnittämään kobotin käsivarteen. UR5-kobotissa on useita epätasaisia rakenteita, joita täytyisi vähentää. Näistä esimerkiksi ruuviliitosten, terävien kulmien sekä ylimääräisten logojen määrää pitäisi vähentää tai muokata tasaisemmiksi elintarviketurvallisuuden parantamiseksi. Ruuviliitoksiin syntyvien epäpuhtauksien määrää voitaisiin mahdollisesti vähentää ruuveja peittäville ”tapeilla”. Vaihtoehtoisesti kobotin IP-luokitus voitaisiin nostaa vähintään tasolle 45, jolloin se kestäisi vesisuihkua. Tällöin hankalammatkin kohdat voisivat olla helpompia puhdistaa. Tällaisenaan UR5-mallin yhteistyörobottia olisi kuitenkin hankala siirtää elintarviketeollisuuteen ja sen puhdistettavuus teollisuudessa olisi työlästä.

Monet yhteistyörobottien valmistajat mainostavat niiden hygieenisiä ratkaisuja, mikä monilta osin kyllä pitääkin paikkansa. Yhteistyörobottien rakenteesta ja niiden puhdistettavuudesta on kuitenkin vielä paljon tutkittavaa ja kehitettävää elintarviketurvallisuuden näkökulmasta. Kobottien rakennetta olisi hyvä kehittää yleisesti vähentäen mikrobien kasvulle soveltuvia rakenteita. Jatkotutkimusehdotuksena voisi olla tarkempi tutkimus sellaisilla näytteenottomenetelmillä, jotka soveltuvat paremmin pienten välien ja kolojen tutkimiseen. Lisäksi nihkeällä liinalla puhdistamisen rinnalle voisi suunnitella toisenlaisen puhdistusmenetelmän. Tutkimukseen olisi hyvä saada mukaan myös tarttuja. Kertakäyttöisten suojauskujen mahdollisuuksia elintarviketeollisuudessa olisi hyvä tarkastella näytteenottoa hyödyntäen.

LÄHTEET

- 3M Food Safety. (2010). *3M Clean-Trace Hygiene monitoring systems: Allergen testing maximized*. <https://multimedia.3m.com/mws/media/6450400/3m-clean-trace-surface-protein-allergen-brochure.pdf>
- 3M Food Safety. (2017). *Petriefilm: Interpretation guide*. <https://multimedia.3m.com/mws/media/2361940/petriefilm-aerobic-interpretation-guide.pdf>
- Advanced Systems of Protection (ASP). (i.a.). *ASP does not fear heat or cold*. <https://www.asp-protection.eu/2019/07/4874/>
- Airskin. (i.a.). *Our award-winning AIRSKIN technology is here for the future of human-robot collaboration*. <https://www.airskin.io/airskin>
- Asea Brown Boveri (ABB). (i.a.). *GoFa CRB 15000*. <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107991A8564&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- Asea Brown Boveri (ABB). (16.6.2020). *ABB's ground-breaking YuMi robot has set new standards for collaborative robotics for five years*. <https://new.abb.com/news/detail/63763/yumi-five-years>
- Brand Reputation Compliance Global Standards (BRCGS). (i.a.-a). *Building confidence in brands*. <https://www.brcgs.com/media/957624/brcgs-corporate-brochure-screen-ready.pdf>
- Brand Reputation Compliance Global Standards (BRCGS). (i.a.-b). *BRC culture excellence: Food safety culture module*. <https://www.brcgs.com/media/1007/food-safety-culture-module-brochure.pdf>
- Britannica. (i.a.). *Chemiluminescence*. Teoksessa *Britannica science*. Haettu 16.3.2023. <https://www.britannica.com/science/chemiluminescence>
- Carrascosa, C., Raheem, D., Ramos, F., Raposo, A., & Saraiva, A. (2021). *Microbial biofilms in the food industry – A comprehensive review*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4). <https://doi.org/10.3390/ijerph18042014>
- Christensen, E., Hansen, N., Lystbæk Vestergård, G., Nisgaard, A., Palmgren, G., Schouboe, E., Viuf, B. (2016). *Robottien aikakausi: Suurimmat läpimurrot – matkalla vuoteen 2050* (K Kallio, M Kilpelä, T Ranta, M Santala, R Weckstén, käänt.). Bonnies Publications International AS. (Alkuperäinen teos julkaistu 2016).
- Clearpath Robotics. (i.a.). *Iiwa by KUKA*. <https://store.clearpathrobotics.com/products/iiwa>
- Elintarvikelaki 297/2021.

- Environmental Expert. (i.a.). *Aboatox – Rapid detergent residue tests*. <https://www.environmental-expert.com/products/aboatox-rapid-detergent-residue-tests-625543>
- Epicor. (i.a.). *Mikä on teollisuus 4.0 – Teollinen esineiden internet (IIoT, Industrial Internet of Things)?* <https://www.epicor.com/fi-fi/resources/articles/what-is-industry-4-0/>
- Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) N:o 1169/2011 elintarviketietojen antamisesta kuluttajille, Euroopan parlamentin ja neuvoston asetusten (EY) N:o 1924/2006 ja (EY) N:o 1925/2006 muuttamisesta sekä komission direktiivin 87/250/ETY, neuvoston direktiivin 90/496/ETY, komission direktiivin 1999/10/EY, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2000/13/EY, komission direktiivien 2002/67/EY ja 2008/5/EY sekä komission asetuksen (EY) N:o 608/2004 kumoamisesta (ETA:n kannalta merkityksellinen teksti). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A02011R1169-20180101>
- Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 852/2004 elintarvikehygieniasta. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A02004R0852-20090420>
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EY) 2006/42/EY koneista ja direktiivin 95/16/EY muuttamisesta (uudelleenlaadittu) (ETA:n kannalta merkityksellinen teksti). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32006L0042&from=FI>
- Euroopan talous- ja sosiaalikomitea (ETSK). (6.12.2018). *Teollisuus 5.0 kypsyyttää uutta ihmisen ja koneen yhteistoiminnan mallia*. <https://www.eesc.europa.eu/fi/news-media/eesc-info/012019/articles/66151>
- Evotec. (i.a.). *Protective covers for palletizing industrial robots in food processes*. <https://evotec.group/case-studies/protective-covers-for-palletizing-industrial-robots-in-food-processes/>
- Fanuc. (i.a.). *Fanuc robot CR-35iA*. [https://www.fanuc.co.jp/en/product/catalog/pdf/robot/RCR-35iA\(E\)-02a.pdf](https://www.fanuc.co.jp/en/product/catalog/pdf/robot/RCR-35iA(E)-02a.pdf)
- Havana, M., Karp, M., Lappalainen, J., Loikkanen, S., Sjöberg, A.-M. & Wirtanen, G. (2000). Microbial testing methods for detection of residual cleaning agents and disinfectants – Prevention of ATP bioluminescence measurement errors in the food industry. *Journal of food protection*, 63(2), 210–215. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-63.2.210>
- Industrial Engineering News (IEN). (3.3.2017). Cobot for use in ISO 5 cleanrooms: Certification for collaborating robot arm. <https://www.ien.eu/article/cobot-for-use-in-iso-5-cleanrooms/>
- International Federation of Robotics (IFR). (2020). *Demystifying collaborative industrial robots*. <https://www.ppma.co.uk/static/d013864e-f944-4028-bc14eee8dd62b6e8/IFRDemystifyingCollaborativeRobotsUpdatev03Dec2020.pdf>
- International Federation of Robotics (IFR). (2022a). *World robotics 2022*. https://ifr.org/downloads/press2018/2022_WR_extended_version.pdf

- International Federation of Robotics (IFR). (22.3.2022b). *Fully automated cheese maintenance with a robot*. <https://ifr.org/case-studies/fully-automated-cheese-maintenance-with-a-robot>
- International Organization for Standardization (ISO). (2015a). *Cleanrooms and associated controlled environments — Part 1: Classification of air cleanliness by particle concentration*. (ISO Standard No. 14644-1:2015). <https://www.iso.org/standard/53394.html>
- International Organization for Standardization (ISO). (2015b). *Safety of machinery — Safety-related parts of control systems — Part 1: General principles for design*. (ISO Standard No. 13849-1:2015). <https://www.iso.org/standard/69883.html>
- International Organization for Standardization (ISO). (2016). *Robots and robotic devices — Collaborative robots*. (ISO Standard No. 15066:2016). <https://www.iso.org/standard/62996.html>
- International Organization for Standardization (ISO). (2021). *Robotics – Vocabulary*. (ISO Standard No. 8373:2021). <https://www.iso.org/standard/75539.html>
- Jarrett, C. (28.6.2020). Putting food safety first with robots. *Food Industry Executive*. <https://foodindustryexecutive.com/2020/07/putting-food-safety-first-with-robots/>
- Jokinen, M. (2023). Yhteistyörobotiikan seuraava vaihe. *Automaatioväylä*, 39(2), 25–27. https://www.automaatiovayla.fi/site/assets/files/4772/automaatiovayla_2_2023.pdf
- Kassow Robots. (i.a.). *KR1805*. <https://www.kassowrobots.com/products/kr1805/>
- Kiilto. (i.a.-a). *Asiantuntijapalvelut/Luminometri-testi*. <https://www.kiilto.fi/tuote/luminometri-testi/>
- Kiilto. (i.a.-b). *Hygicult TPC*. <https://www.kiilto.fi/tuote/hygicult-tpc/>
- Komission asetus (EU) 2021/382 elintarvikehygieniasta annetun Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EY) N:o 852/2004 liitteiden muuttamisesta siltä osin kuin on kyse ruoka-allergeenien hallinnasta, elintarvikkeiden uudelleenjakelusta ja elintarviketurvallisuuskulttuurista (ETA:n kannalta merkityksellinen teksti). <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/382/oj>
- Komission asetus (EU) N:o 10/2011 elintarvikkeiden kanssa kosketukseen joutuvista muovisista materiaaleista ja tarvikkeista. (ETA:n kannalta merkityksellinen teksti). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A02011R0010-20200923>
- Komission asetus (EY) N:o 1881/2006 tiettyjen elintarvikkeissa olevien vierasaineiden enimmäismäärien vahvistamisesta (ETA:n kannalta merkityksellinen teksti). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A02006R1881-20230101>

- Koukkari, T. (2016). *Collaborative robotics: Human-robot collaboration in heavy manufacturing tasks*. [AMK-opinnäytetyö, Seinäjoen ammattikorkeakoulu]. Theseus. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2017053111382>
- Kärcher. (i.a.). *The sinner's circle: The basics of cleaning*. <https://www.kaercher.com/int/home-garden/know-how/the-sinner-s-circle.html>
- Labema. (i.a.-a). *3MTM petrifilm™ aerobic count plates (20x50)*. <https://www.labema.fi/tuote-C6406>
- Labema. (i.a.-b). *3MTM petrifilm™ environmental Listeria (2x25)*. <https://www.labema.fi/tuote-C6447>
- Labema. (i.a.-c). *Listeria Isolation Transwab*. <https://www.labema.fi/tuote-MW570/125>
- Labema. (i.a.-d). *SwabSURE Listeria P L. monocytogenes*. <https://www.labema.fi/tuote-SSL01>
- Laplace, J. (i.a.). Human-robot interaction finally reaches the work floor. *HumaRobotics*. <https://www.generationrobots.com/blog/wp-content/uploads/2014/01/Lightweight-robots-and-Collaborative-Robotics.pdf>
- Latokartano, J. (2022). Teollisuusrobotiikassa positiivisia näkymiä. *Automaatiöväylä*, 23. https://automaatiovayla-fi.sites.avoine.com/site/assets/files/1616/robotiikkatilastot_2022_netti.pdf
- Lempiäinen, J. (2022). Investoinnit teollisuusrobotiikkaan ennätystasolla 2021. *Automaatiöväylä*, 24–27. https://automaatiovayla-fi.sites.avoine.com/site/assets/files/1616/robotiikkatilastot_2022_netti.pdf
- Levante Sistemas de Automatización y Control (LSA Control). (2017). *Apas assistant: Contact-free human-robot collaboration*. <https://www.lsa-control.com/pub/media/pdf/loT/Apas.pdf>
- Lundén, J. (2004). Persistent listeria monocytogenes contamination in food processing plants. [Väitöskirja, Helsingin yliopisto]. Helda. <http://urn.fi/URN:ISBN:952-10-1507-1>
- Lundén, J., Nevas, M., Maunula, L., Simola, M., & Åberg, R. (2017). The presence of norovirus and adenovirus on environmental surfaces in relation to the hygienic level in food service operations associated with a suspected gastroenteritis outbreak. *Food and environmental virology* 9(10), 334–341. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12560-017-9291-7>
- Maker3D. (i.a.). *Työkalut ja varaosat*. <https://www.maker3d.fi/tyokaluvalmistus/>

- Miele. (i.a.). *ProCare Protein Check proteiinitesti: nopeaan puhdistustuloksen tarkastukseen.* https://m.miele.fi/media/professional_fi/media/files/infomaterial/ProCareProteinCheck_proteiinitesti.pdf
- Merck. (i.a.-a). *Plate count agar contact.* <https://www.sigmaaldrich.com/FI/en/product/mm/146154>
- Merck. (i.a.-b). *Sabouraud dextrose agar with neutralizers.* <https://www.sigmaaldrich.com/FI/en/product/mm/146501>
- Merck. (i.a.-c). *Tryptic soy agar contact plus.* <https://www.sigmaaldrich.com/FI/en/product/mm/146554>
- National Geographic. (i.a.). *Bioluminescence: Bioluminescence is light emitted by living things through chemical reactions in their bodies.* <https://education.nationalgeographic.org/resource/bioluminescence/>
- Neogen Corporation. (i.a.-a). *ATP, protein and allergen testing in production facilities: which should you use?* <https://www.neogen.com/neocenter/blog/atp-protein-and-allergen-testing-in-production-facilities-which-should-you-use/>
- Neogen Corporation. (i.a.-b). *Reveal 3-D for total milk.* <https://www.neogen.com/categories/allergens/reveal-3d-total-milk/>
- Neogen Corporation. (i.a.-c). *Veratox for total milk.* <https://www.neogen.com/categories/allergens/veratox-total-milk/>
- Newton, E. (7.6.2021). *How food processors can use robots to improve food quality.* <https://foodsafetytech.com/column/how-food-processors-can-use-robots-to-improve-food-quality/>
- Niemi, V-M., Rahkio, M., & Siitonen, A. (2004). *Ruokaturvallisuuden käsikirja.* Art House.
- Onrobot. (i.a.). *2FG7 - No-fuss parallel gripper for tight spaces and demanding payloads.* <https://onrobot.com/en/products/2fg7>
- Plandent. (i.a.). *Indikaattori Pyromol proteiinitesti 1 x 20 kpl.* <https://www.plandent.fi/verkkokauppa/Tarvikkeet/Sterilointidesinfektio puhdistusjahoito/Indikaattorit/IndikaattoriPyromol-proteiinitesti1x20kpl FI1 I 67599/>
- Processing and Packaging Machinery Association (PPMA). (i.a.-a). *Robot programming methods.* <https://www.ppma.co.uk/bar/expert-advice/robots/robot-programming-methods.html>
- Processing and Packaging Machinery Association (PPMA). (i.a.-b). *Robot structures.* <https://www.ppma.co.uk/bar/expert-advice/robots/robot-structures.html>

- Quality Assurance Magazine. (i.a.). A Q&A on ATP bioluminescence assay. <https://www.qualityassurancemag.com/article/aib1013-atp-bioluminescence-assay/>
- Robia. (29.10.2020). Robotiikka elintarviketeollisuudessa. *Kehittyvä Elintarvike*. <https://kehittyvaelintarvike.fi/artikkelit/kumppanisallot/robotiikka-elintarviketeollisuudessa/>
- Robots Done Right. (i.a.). *Offline programming for industrial robots*. <https://robotsdone-right.com/Articles/offline-programming-for-industrial-robots.html>
- Robotworx. (i.a.). *Cleanroom robots*. <https://www.robots.com/applications/cleanroom>
- Roboworld. (i.a.). *Robosuit products*. <https://roboworld.com/robosuit/products/>
- Romanov, D., Korostynska, O., Lekang, O. I. & Mason, A. (28.4.2022). Towards human-robot collaboration in meat processing: Challenges and possibilities. *Journal of Food Engineering*, 331. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111117>
- Ruokatieto. (i.a.). *Desinfiointi*. <https://www.ruokatieto.fi/ruokakasvatus/lupa-kokata-elintarvikehygienian-perusteet/puhtaanapito/desinfiointi>
- Ruokavirasto. (10.6.2020). *Puhdistusaineet*. <https://www.ruokavirasto.fi/elintarvikkeet/elintarvikeala/tilat-ja-valineet/puhtaus-ja-kunnossapito/puhdistusaineet/>
- Ruokavirasto. (7.10.2022a). *Puhdistuksen riittävyyden arviointi*. <https://www.ruokavirasto.fi/elintarvikkeet/elintarvikeala/tilat-ja-valineet/puhtaus-ja-kunnossapito/puhdistuksen-riittavyyden-arviointi/>
- Ruokavirasto. (21.10.2022b). *Ristikontaminaatio*. <https://www.ruokavirasto.fi/elintarvikkeet/elintarvikeala/hygieninen-toiminta/ristikontaminaatio/>
- Seungmin, B. (11.11.2016). Demystifying cobot safety: The four types of collaborative operation. *The Universal Robots Blog*. <https://www.universal-robots.com/blog/demystifying-cobot-safety-the-four-types-of-collaborative-operation/>
- Siikamäki, H. & Kantele, A. (16.8.2021). Alkueläinten aiheuttamat suolistoinfektiot. *Duodecim Terveyskirjasto*. <https://www.terveyskirjasto.fi/dlk01172>
- Société Générale de Surveillance (SGS). (i.a.). *Maatalous ja elintarvikkeet: BRC:n kansainvälinen elintarviketurvallisuusstandardi*. <https://www.sgs.fi/fi-fi/agriculture-food/food/qfsi-certification/brcgs-global-standard-for-food-safety-certification>
- Soft Gripping. (i.a.). *How cobots are helping to change the food industry in a better way*. <https://soft-gripping.com/discover/how-cobots-are-helping-to-change-the-food-industry-in-a-better-way/>
- Solunetti. (i.a.). *Happipitoisuus*. https://www.solunetti.fi/fi/solubiologia/happipitoisuus_1/3/

- Suomen Standardisoimisliitto (SFS). (2011a). *Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Teollisuusrobotit* (SFS-EN ISO 10218-1)
- Suomen Standardisoimisliitto (SFS). (2011b). *Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 2: Robottijärjestelmät ja niiden yhdistelmät* (SFS-EN ISO 10218-2:2011)
- Syyrakki, S. & Välikylä, T. (2020). *Hygieniaopas: Elintarvikehygienian perusteet*. (E. Mustonen, kuvit; 22. painos). Ympäristökustannus.
- Säde, T. (2023). 3D-simuloinnin merkitys teollisuuden murroksessa. *Automaatioväylä*, 39(1), 25. https://www.automaatiovayla.fi/site/assets/files/4619/automaatiovayla_1_2023.pdf
- Sähkötekniikan ja energiatehokkuuden edistämiskeskus (Stek). (i.a.). *IP-luokitus*. <https://stek.fi/perustietoa-sahkosta/sahkojarjestelmat/ip-luokitus/>
- Turvallisuuskeskus (Tukes). (i.a.). *Biosidien turvallinen ja kestävä käyttö*. <https://tukes.fi/kemikaalit/biosidit/biosidien-turvallinen-ja-kestava-kaytto>
- Tölli, A. (2019). *Possibilities of collaborative robotics*. [AMK-opinnäytetyö, Seinäjoen ammattikorkeakoulu]. Theseus. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201904185540>
- Universal Robots. (i.a.-a). *Material handling robots make packaging, palletizing, bin packing and knitting applications easy: E-commerce and fulfillment growth demands collaborative innovation for automated bin picking and packaging*. <https://www.universal-robots.com/applications/material-handling/>
- Universal Robots. (i.a.-b). *The UR5e*. <https://www.universal-robots.com/products/ur5-robot/>
- Universal Robots. (10.2.2016). *How cobots transform the food industry*. *Universal Robots Blog*. <https://www.universal-robots.com/blog/how-cobots-transform-the-food-industry/>
- Universal Robots. (19.1.2022a). *What is the maximum temperature the robot can work in*. <https://www.universal-robots.com/articles/ur/application-installation/what-is-the-maximum-temperature-the-robot-can-work-in/>
- Universal Robots. (29.6.2022b). *10 cobot components – and how they can revolutionize your business*. *Universal Robots Blog*. <https://www.universal-robots.com/blog/10-cobot-components-and-how-they-can-revolutionize-your-business/>
- Viroxy. (i.a.). *Surface monitoring with contact plates: Surface monitoring using contact plates method is best for evaluating the effectiveness of hygiene procedures on flat and impervious surfaces*. <https://www.viroxylabs.com/microbiological-testing-services/environmental-monitoring-service/surface-monitoring-with-contact-plates/>
- VWR International. (i.a.-a). *Kontaktimaljat, pintojen ja ilmanlaadunvalvontaan, säteilytetty*. <https://fi.vwr.com/store/product/826421/kontaktimaljat-pintojen-ja-ilmanlaadun-valvontaan-sateilytetty>

- VWR International. (i.a.-b). *PCA Contact triple wrap*. <https://si.vwr.com/store/product/826421/contact-plates-for-surface-and-air-control-irradiated> ; Documentation; Product specification; spec_VWRC140774ZI
- Weber, A. (3.6.2021). Sensors for working safely with robots: Human-robot collaboration is driving demand for new technology. *Assembly Magazine*. <https://www.assemblymag.com/articles/96408-sensors-for-working-safely-with-robots>
- Whyte, W. (2011). *Cleanroom technology: Fundamentals of design, testing and operation*. (2. p.). Wiley.
- Wirtanen, G. (2002). *Laitehygienia elintarviketeollisuudessa: Hygieniaongelmien ja Listeria monocytogeneksen hallintakeinot* (VTT Publications 480). <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/publications/2002/P480.pdf>
- Young, S. (3.8.2020). How businesses can thrive in the fourth industrial revolution. *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2020/08/03/how-businesses-can-thrive-in-the-fourth-industrial-revolution/?sh=5499eaa455cc>

LIITTEET

Liite 1. Kuvaluettelo CC-merkinnöillä.

Liite 2. Petrifilmien tulokset.

Liite 1. Kuvaluettelo CC-merkinnöillä.

Kuva 1. Perinteinen teollisuusrobotti ja turvalaserskanneri (Samppala, 2023, CC BY-NC-ND)

Kuva 2. Havainnollistava kuva teollisuusrobottiin asennettavista päätetyökaluista (Samppala, 2023, CC BY-NC-ND)

Kuva 3. UR5:n yleiskuva (Samppala, 2023, CC BY-NC-ND)

Kuva 4. UR5:n yleiskuva tarkemmin (Samppala, 2023, CC BY-NC-ND)

Kuva 5. UR5:n ohjain edestä (Samppala, 2023, CC BY-NC-ND)

Kuva 6. UR5:n ohjain takaa (Samppala, 2023, CC BY-NC-ND)

Kuva 7. UR5:n päätetyökalu (Samppala, 2023, CC BY-NC-ND)

Kuva 8. UR5:n paineentunnistin ja konenäkö (Samppala, 2023, CC BY-NC-ND)

Kuva 9. UR5:n kiertyvät nivelet (Samppala, 2023, CC BY-NC-ND)

Kuva 10. UR5:n liitoksia (Samppala, 2023, CC BY-NC-ND)

Kuva 11. UR5:n jalusta (Samppala, 2023, CC BY-NC-ND)

Kuva 12. UR10:n yleiskuva (Samppala, 2023, CC BY-NC-ND)

Kuva 13. 3D-tulostettu päätetyökalu sekä palikka ja nivelsuojat (Samppala, 2023, CC BY-NC-ND)

Kuva 14. GoFan yleiskuva (Samppala, 2023, CC BY-NC-ND)

Kuva 15. GoFan yleiskuva tarkemmin (Samppala, 2023, CC BY-NC-ND)

Kuva 16. GoFan jalusta ja ohjain edestä (Samppala, 2023, CC BY-NC-ND)

Kuva 17. GoFan ohjain takaa (Samppala, 2023, CC BY-NC-ND)

Kuva 18. GoFan päätetyökalu (Samppala, 2023, CC BY-NC-ND)

Kuva 19. GoFan ruuviliitoksia ja välejä (Samppala, 2023, CC BY-NC-ND)

Kuva 20. GoFan niveliä (Samppala, 2023, CC BY-NC-ND)

Kuva 21. GoFan telakointiasema (Samppala, 2023, CC BY-NC-ND)

Kuva 22. GoFan ruuviliitoksia ja välejä eri kuvakulmasta (Samppala, 2023, CC BY-NC-ND)

Kuva 23. Valitut kohteet siveltyinä kermakastikkeella (Samppala, 2023, CC BY-NC-ND)

Kuva 24. Valitut kohteet vaahtopesuaineella (Samppala, 2023, CC BY-NC-ND)

Kuva 25. Yhteistyörobotti pestynä ja pyyhittyinä desinfiointiliinoilla (Samppala, 2023, CC BY-NC-ND)

Kuva 26. Yhteistyörobotin tutkittavat osat merkittyinä (Samppala, 2023, CC BY-NC-ND)

Kuva 27. Nivelsuojat siveltyinä kermakastikkeella (Samppala, 2023, CC BY-NC-ND)

Kuva 28. 3D-tulostettu tarttuja siveltyinä kermakastikkeella (Samppala, 2023, CC BY-NC-ND)

Kuva 29. 3D-tulostettu palikka siveltyinä kermakastikkeella (Samppala, 2023, CC BY-NC-ND)

Kuva 30. Proteiinitestien tuloksia ja mallikortti (Samppala, 2023, CC BY-NC-ND)

Kuva 31. PP-muovipinnan positiivinen tulos allergeenitestillä (Samppala, 2023, CC BY-NC-ND)

Kuva 32. Muovi- ja alumiinipinnan liitoskohdan negatiivinen tulos allergeenitestillä (Sampala, 2023, CC BY-NC-ND)

Liite 2. Petrifilmien tulokset.

