

# Laitehygienia elintarviketeollisuudessa

Hygieniaongelmien ja  
*Listeria monocytogenes*  
hallintakeinot



VTT PUBLICATIONS 480

# **Laitehygienia elintarviketeollisuudessa**

**Hygieniaongelmien ja *Listeria  
monocytogeneksen* hallintakeinot**

Toimittaja

Gun Wirtanen

VTT Biotekniikka



ISBN 951-38-6013-2 (nid.)

ISSN 1235-0621 (nid.)

ISBN 951-38-6014-0 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

ISSN 1455-0849 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Copyright © VTT 2002

**JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER**

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT

puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT

tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland

phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Biotekniikka, Tietotie 2, PL 1500, 02044 VTT

puh. vaihde (09) 4561, telekopio (09) 455 2103

VTT Bioteknik, Datavägen 2, PB 1500, 02044 VTT

tel. växel (09) 4561, telefax (09) 455 2103

VTT Biotechnology, Tietotie 2, P.O. Box 1500, FIN-02044 VTT, Finland

phone internat. +358 9 4561, telefax +358 9 455 2103

Kansikuvan on piirtänyt Antti Huovinen.

Tekninen toimitus Leena Ukskoski

Otamedia Oy, Espoo 2002

Wirtanen, Gun (toim.). Laitehygienia elintarviketeollisuudessa. Hygieniaongelmien ja *Listeria monocytogenes*in hallintakeinot. Espoo 2002. VTT Publications 480. 183 s.

**Avainsanat** hygiene, food industry, equipment design, equipment layout, decontamination, microbial contamination, *Listeria monocytogenes*, biofilms, legislation, standards, construction materials

## Tiivistelmä

Tuotanto- ja laitehygienia on keskeinen kohde elintarviketeollisuudessa. Katsaukseen on koottu ajankohtaista tietoa laitehygieniasta ja siihen vaikuttavista tekijöistä. Katsauksessa käsitellään aluksi yleisiä asioita, kuten mikrobin kasvua pinnoilla ja tilaratkaisujen merkitystä hygienian ylläpidossa. Laitehygieniaan liittyvä lainsäädäntö, määräykset, ohjeistukset ja standardit sekä keskeiset laitehygieniajärjestöt (EHEDG, NSF, 3A, IDF, R3) käydään läpi katsauksessa. Katsauksessa tarkastellaan sitä, miksi tietyt laitteet ovat hygieenisesti ongelmallisia. Yleisesti ottaen elintarviketeollisuudessa ongelmalliset laitteet ovat kuljettimet, viipalointi- ja kuutionikoneet, jäähdyttimet, täyttökoneet ja pakkauslaitteet; ne vaihtelevat alalta alalle. Kirjallisuuskatsauksessa annetaan tietoa laitteiden rakenteista, materiaaleista ja hygieenisestä laitesuunnittelusta. Elintarviketeollisuudessa käytettävien materiaalien on oltava tarkoitetuissa käyttöolosuhteissa korroosionkestäviä, myrkyttömiä ja imemättömiä. Materiaalit eivät saa myötävaikuttaa elintarvikkeen kontaminoitumiseen eikä niillä saa olla muitakaan haitallisia vaikutuksia elintarvikkeeseen. Elintarviketeollisuudessa käytettävät voiteluaineet ja niiltä vaadittavat ominaisuudet esitellään.

Eriyishuomiota on kohdistettu yleisesti ympäristössä esiintyvään *Listeria monocytogenes* -bakteeriin, joka on yksi hankalimmista elintarviketuotantolaitoksissa esiintyvistä patogeeneistä. *L. monocytogenes* on varsin resistentti useita ulkoisia tekijöitä kohtaan, se kykenee selviämään ja lisääntymään hankalammissa olosuhteissa kuin monet muut itiöttömät bakteerit. Katsauksessa käsitellään *L. monocytogenes*in ominaisuuksia, kuten bakteerin kiinnittymistä pinnoille ja herkkyyttä desinfektioaineille, lämmölle ja happamuudelle. Lisäksi käsitellään *L. monocytogenes*in esiintymistä elintarvikkeissa ja sen aiheuttamia kontaminaatioita eri elintarviketeollisuuden tuotantolaitoksissa.

Kirjallisuuskatsuksessa esitellään mikrobien kasvunestoa pesu- ja desinfiointimenetelmillä teollisuusjärjestelmissä. Lisäksi käsitellään tavallisimmin käytetyt desinfiointiaineet, jotka ovat klooriyhdisteet, alkoholit, hapettavat yhdisteet ja kationiset tensidit, ja niiden ominaisuudet sekä pesu- ja desinfektiotulokseen vaikuttavia tekijöitä. Katsauksessa tarkastellaan myös tavallisimpien käytettyjen desinfiointiaineiden tehoa *L. monocytogenes* -bakteeriin. Siinä on myös kooste erilaisista desinfiointiaineen tehon testausmenetelmästä. Ultraäänipuhdistustekniikkaa ja sen soveltamista elintarviketeollisuuden pesuihin esitellään. Myös valobakteeriin perustuva pesukemikaalien jäämämääritysmenetelmä esitetään. Lisäksi käsitellään ultraviolettivalon tehokkuutta desinfioinnissa.

# Alkusanat

Kolmivuotiseksi suunnitellun "Hygieeniset laitteet elintarviketeollisuudessa" -projektin tavoitteena on tuottaa tietoa siitä, miten hygieniatasoa voidaan parantaa elintarviketeollisuuden ongelmallisissa laitteissa. Aiheesta olemassa olevan tiedon kokoamiseksi on projektin puitteissa laadittu kirjallisuuskatsaus. Tähän kirjallisuuskatsaukseen on koottu julkaistua tietoa tekijöistä, jotka vaikuttavat laitteiden hygieniaan elintarviketeollisuudessa mm. biofilmien esiintymisestä teollisuusjärjestelmissä, elintarviketeollisuuden tilaratkaisuista ja niiden merkityksestä laitehygieniassa, elintarvikelaitteiden rakenneratkaisuista ja pintamateriaalien ominaisuuksista, laitteiden puhdistus- ja desinfiointitoimista sekä alan määräyksistä ja ohjeistuksista. Lisäksi on koottu tietoa *Listeria monocytogenes* -bakteerien selviytymisestä, bakteerin vastustuskyvyn muodostumisesta ja sen ehkäisemisestä laitteissa eri olosuhteissa. Julkaisun lukujen kirjoittajat on annettu jokaisen kappaleen alussa.

HYGILA-projektissa pyritään selvittämään laitteiden ongelmallisia kohtia ja löytämään niihin ratkaisuja. Projektin aikana testataan myös mm. *L. monocytogenes* -bakteerikantojen sopeutumista laitteissa käytettyihin pesu- ja desinfiointiprosesseihin ja selviämistä voiteluaineissa. Projektissa tutustutetaan suomalaiset laitesuunnittelijat ja -käyttäjät European Hygienic Engineering & Design Groupin (EHEDG) toimintaan.

Tutkimusryhmään kuuluu tutkijoita VTT Biotekniikasta ja Helsingin yliopiston Eläinlääketieteellisestä tiedekunnasta. Kirjallisuuskatsauksen kirjoittamiseen osallistuivat Kaarina Aarnisalo, Mari Arpiainen, Tiina Mattila-Sandholm, Satu Pahkala ja Gun Wirtanen. Kirjoittajat Helsingin yliopiston Eläinlääketieteellisen tiedekunnan Elintarvike- ja ympäristöhygienian laitoksesta olivat Tiina Autio, Janne Lundén, Kaisa Saloniemi, Riina Tolvanen ja professori Hannu Korkeala. Tekesin edustajana projektissa on teknologia-asiantuntija Jari Toivo. Teollisuuspartnerit projektissa ovat Antti Lindfors Oy, Engel Palvelut Oy, Oy Ecolab Ab, JohnsonDiversey, Vulganus Oy, YIT Service Oy ja Elintarvikkeiden tutkimuslaitos. Elintarviketeollisuus osallistuu projektiin teollisuusosapuolten asiakasyrityksinä, joissa tehdään projektiin liittyviä käytännön töitä. Projektin rahoittajina ovat Tekes, VTT Biotekniikka, Helsingin yliopiston Eläinlääketieteellinen tiedekunta ja osallistuvat teollisuusyritykset.

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Alkusanat	5
1. Johdanto	11
2. Yleistä laitehygieniasta	13
2.1 Mikrobit pinnoilla	13
2.1.1 Biofilmin muodostus	14
2.1.2 Biofilmin esiintyminen teollisuusjärjestelmissä	17
2.2 Elintarviketeollisuuden tilaratkaisujen merkitys laitehygieniassa	22
2.2.1 Linjan selkeys ja osastointi	23
2.2.2 Laitteiden sijoittelu	25
2.2.3 Rakenteet ja valaistus	25
2.2.4 Ilmanvaihto	26
3. Määräykset ja ohjeistukset	27
3.1 Lainsäädäntö	27
3.2 Standardit ja ohjeistukset	28
3.2.1 Standardit laitteille elintarvikevalmistuksessa	29
3.2.2 Yleisohjeet	30
3.3 Keskeiset järjestöt laitehygienialalla	30
3.3.1 European Hygienic Engineering & Design Group	32
3.3.2 National Sanitation Foundation	34
3.3.3 3-A Sanitary Standards, Inc.	34
3.3.4 International dairy federation	35
3.3.5 Pohjoismainen R <sup>3</sup> -yhdistys	35
4. Hygienian kannalta ongelmalliset laitteet elintarviketeollisuudessa	36
4.1 Ongelmalliset laitteet eri elintarviketeollisuuden aloilla	36
4.1.1 Meijeriteollisuuden ongelmalliset laitteet	37
4.1.2 Kalateollisuuden ongelmalliset laitteet	39
4.1.3 Lihateollisuuden ongelmalliset laitteet	40
4.2 Havainnot suomalaisessa elintarviketeollisuudessa	42



5.	Elintarvikelaitteiden rakenteet ja pintamateriaalit	45
5.1	Hygieenisen laitesuunnittelun periaatteet	45
5.1.1	Avointen prosessilaitteiden ja -järjestelmien hygieeninen suunnittelu	46
5.1.2	Hygieeninen suunnittelu suljettuja elintarvikeprosessointilaitteita varten	52
5.2	Laitteiden rakenteelliset ongelmat ja erilaiset ratkaisumallit	57
5.2.1	Purettavuus ja pestävyys	57
5.2.2	Eri laitteiden hygieenisesti ongelmalliset rakenteet ja ratkaisumallit	58
5.3	Rakennemateriaalit ja niiden ominaisuudet	63
5.3.1	Teräs	64
5.3.2	Rauta	66
5.3.3	Kupari ja sen seokset	66
5.3.4	Muut metallit	66
5.3.5	Muovit	67
5.3.6	Elastomeerit ja kumi	68
5.3.7	Lasi ja keraamimateriaalit	68
5.3.8	Puu	69
5.3.9	Muut materiaalit	69
5.4	Laitteissa käytetyt konerasvat, voiteluöljyt ja kitkanpoistajat	69
5.4.1	Lainsäädäntö ja standardit	69
5.4.2	Luokittelu	71
5.4.3	Elintarviketeollisuudessa käytettävien voiteluaineiden vaatimukset ja koostumus	72
5.4.4	Voiteluaineiden mikrobiologia	76
5.4.5	Voiteluohjelmat	77
6.	<i>Listeria monocytogenes</i> ominaisuudet laitehygienian kannalta	79
6.1	<i>L. monocytogenes</i> ja elintarviketeollisuus	79
6.1.1	<i>L. monocytogenes</i> kasvuun vaikuttavia ominaisuuksia	79
6.1.2	<i>L. monocytogenes</i> -kontaminaatio tuotantolaitoksissa	82
6.1.3	<i>Listerian</i> torjunta	83
6.2	<i>Listeria monocytogenes</i> kiinnittyminen elintarviketeollisuudessa käytettäville pinnoille	85
6.2.1	<i>L. monocytogenes</i> kiinnittyminen eri pintamateriaaleille	85
6.2.2	<i>L. monocytogenes</i> kiinnittymiseen vaikuttavat tekijät	87

6.2.3	Muiden bakteerien vaikutus <i>Listeria monocytogenekseen</i> pinnalla	88
6.3	<i>L. monocytogeneksen</i> resistenssi ja sopeutuminen desinfiointiaineille	89
6.3.1	<i>L. monocytogenes</i> -bakteerin resistenssi eri desinfiointiaineille	89
6.3.2	<i>L. monocytogeneksen</i> sopeutuminen desinfiointiaineille	93
6.3.3.	Ristiresistenssi	94
6.3.4	Desinfiointiaineiden tehoon vaikuttavia tekijöitä	95
6.3.5	<i>L. monocytogeneksen</i> resistenssimekanismeja	97
6.3.6	<i>L. monocytogenes</i> -kantojen väliset erot	98
6.4	<i>L. monocytogeneksen</i> kestävyys ja sopeutuminen lämmölle ja happamuudelle	99
6.4.1	<i>L. monocytogenes</i> ja lämpö	99
6.4.2	Lämpökestävyyteen vaikuttavia tekijöitä	99
6.4.3	<i>L. monocytogeneksen</i> sopeutumismekanismit lämmölle	102
6.4.4	<i>L. monocytogenes</i> -kantojen välisiä eroja	103
6.4.5	<i>L. monocytogenes</i> ja happamuus	103
6.4.6	Happokestävyyteen vaikuttavia tekijöitä	103
6.4.7	<i>L. monocytogeneksen</i> sopeutumismekanismit happamuudelle	105
6.4.8	<i>L. monocytogenes</i> -kantojen välisiä eroja haponkestävyydessä	106
7.	Laitteiden puhdistus- ja desinfiointitoimet	107
7.1	Pesut mikrobien poistajana prosessipinnoilta	107
7.1.1	Pesutulokseen vaikuttavia tekijöitä	108
7.1.2	Avoimet ja suljetut pesujärjestelmät	110
7.2	Ultraäänipuhdistustekniikka mikrobien tuhoamisessa	113
7.2.1	Kavitaatio	118
7.2.2	Lämpötilan ja paineen vaikutus ultraäänen tehoon	119
7.2.3	Nestemäärän vaikutus ultraäänen tehoon	120
7.2.4	Muita pesutehoon vaikuttavia tekijöitä	120
7.2.5	Ultraäänipesun vaikutus lian ja mikrobien irtoamiseen	121
7.2.6	Ultraäänen biologiset vaikutukset soluihin ja itiöihin	123
7.3	Ultravioletivalon käyttö mikrobien tuhoamisessa	126
7.3.1	Ultraviolettivalo	126
7.3.2	UV-säteilyn tehoon vaikuttavia tekijöitä	126

7.3.3	UV-valon mikrobisidiset ominaisuudet	127
7.3.4	UV-valon vaikutus mikrobeihin	127
7.3.5	Mikrobien UV-herkkyys	128
7.3.6	UV-valon käyttö elintarviketeollisuudessa	129
7.3.7	Materiaalit ja UV-säteily	131
7.4	Mikrobien tuhoaminen desinfiointiaineilla	131
7.4.1	Yleistä desinfioinnista	131
7.4.2	Desinfiointiaineiden tehon testaus	135
7.4.3	Alkoholipohjaiset desinfiointiaineet	140
7.4.4	Peroksidipohjaiset desinfiointiaineet	140
7.4.5	Klooripohjaiset desinfiointiaineet	141
7.4.6	Kvaternäärisiä ammoniumyhdisteitä sisältävät desinfiointiaineet	143
7.4.7	Otsoni	143
7.4.8	Pesukemikaalien jäämämääritys prosessipinnoilta	144
	Lähdeluettelo	146



# 1 Johdanto

Gun Wirtanen ja Kaarina Aarnisalo, VTT Biotekniikka

Hygieeninen tehdas- ja laitesuunnittelu on teollisuuslaitoksen keskeinen hygienian hallinnan osa-alue. Mikäli tämä ei ole kunnossa mm. puhdistustoimet saattavat vaikeutua huomattavasti (Mattila-Sandholm & Wirtanen, 1991). Tämä näkyy paitsi alentuneena hygieniatasona myös tuotantokustannuksissa. Vastuu hygieenisistä laitteista on yhteisesti elintarviketeollisuuden laitevalmistajilla, laitteiden ylläpitäjillä, pesu- ja desinfiointiainevalmistajilla sekä elintarvikkeiden tuottajilla. Hygieeniseen lopputulokseen pääsemiseksi vaaditaan yhteistyötä kaikkien osapuolten välillä niin suunnittelussa, käytössä kuin ylläpidossakin.

Laitehygienia on jatkuvasti esillä elintarviketeollisuudessa. Kirjallisuuden ja aiempien projektien perusteella hygienian kannalta ongelmallisiksi laitteiksi elintarviketeollisuudessa on todettu esim. erilaiset viipalointi- ja paloittelukoneet, suolauskoneet, pakkauskoneet, jäädyttimet ja kuljettimet; erityisesti laitteet, joiden jälkeen ei enää seuraa tuotteen kuumennuskäsittelyä.

Laitteiden valmistukseen liittyviä kansainvälisiä standardeja on olemassa vähän, lähinnä meijeriteollisuudelle. Elintarviketeollisuuden laitevalmistukseen suunnatussa EU-direktiivissä (89/37/EEC->98/37/EC) määritellään, että elintarvikkeiden valmistukseen tarkoitetut laitteet täytyy suunnitella ja valmistaa niin, etteivät ne aiheuta terveysriskejä. Direktiivin mukaan laitevalmistajan on myös annettava laitteelle ohjeet pesu- ja desinfiointista ja tähän tarvittavat menetelmät. Direktiivin määräysten toteuttamisen avuksi eurooppalaisen standardointiliiton (CEN) tekniset komiteat laativat standardeja. Euroopassa toimii EHEDG-ryhmä, jonka päämääränä on hygienian parantaminen elintarvikkeiden tuotannossa ja pakkauksessa. Tähän kansainväliseen konsortioon kuuluu elintarvikemyrityksiä, laitevalmistajia, tutkimuslaitoksia, viranomaisia ja terveystarkastajia (Anon., 2002c). EHEDG laatii yleisohjeita elintarvikkevalmistuksessa käytettävien prosessilaitteiden suunnitteluun ja järjestö toimii aktiivisesti myös rakennus-, sähköasennus- ja teurastamosuunnittelussa.

Patogeenisten bakteerien torjunnan suunnittelussa ja toteutuksessa on bakteerien ominaisuuksien tunteminen tärkeää. Torjuntatoimenpiteiden mitoittaminen on mahdollista, kun patogeenien kestävyys/herkkyys tunnetaan. Kaikki patogeenit sopeutuvat jossain määrin esim. desinfiointiainepitoisuuden tai lämpötilan ollessa subletaali. Sopeutuminen ja kasvanut vastustuskyky eli resistenssi johtavat patogeenien kestävyuden lisääntymiseen. *Listeria monocytogenes* on osoittautunut erittäin hankalaksi patogeeniksi, jonka on todettu voivan esiintyä samassa laitteessa pitkiäkin aikoja kohdissa, joissa rutiinipesut eivät sitä tavoita. Se kiinnittyy pintoihin ja kasvaa jääkaappilämpötiloissakin, kestävä korkeita suolapitoisuuksia (>20 %), alhaisia pH-arvoja ja myös kuivumista. Bakteerien kyky sopeutua erilaisiin olosuhteisiin mahdollistaa niiden elämisen erilaisissa laitteissa ja laitosympäristöissä pitkiäkin aikoja. *L. monocytogenes* -bakteerin tiedetään sopeutuvan mm. happamiin olosuhteisiin, lämpöön sekä benzalkoniumkloridiin. Tämä aine kuuluu kvaternääriin ammoniumyhdisteisiin, joita käytetään yleisesti desinfiointiaineissa elintarviketeollisuudessa.

Kolmivuotiseksi suunnitellun "Hygieeniset laitteet elintarviketeollisuudessa" -projektin ensimmäisen vuoden aikana on koottu tietoa siitä, mitkä ovat elintarviketeollisuuden ongelmallisimpia laitteita. Kirjallisuudesta saadut tiedot raportoidaan tässä kirjallisuuskatsauksessa, jonka osat käsittelevät yleistä laitehygieniasta mm. biofilmin muodostusta prosessipinnoilla ja elintarviketeollisuuden tilaratkaisujen merkitystä laitehygieniassa, olemassa olevia määräyksiä ja ohjeistuksia, hygienian kannalta ongelmallisia laitteita elintarviketeollisuudessa, elintarvikelaitteiden rakenteita ja niiden pintamateriaaleja, *L. monocytogenes* ominaisuuksia laitehygienian kannalta sekä laitteiden puhdistus- ja desinfiointitoimia.

# 2 Yleistä laitehygieniasta

## 2.1 Mikrobit pinnoilla

Gun Wirtanen ja Tiina Mattila-Sandholm, VTT Biotekniikka

Useimmilla mikrobeilla on kyky tarttua eri pintamateriaaleihin, sekä eloperäisiin että elottomiin, ja kasvaa biofilmeiksi. Biofilmimuodostusta voidaan pitää mikrobin eloonjäämisstrategiana, jolla mikrobit optimoivat saatavilla olevan ravinnon käyttöä. Mikrobisolujen ja ravinteiden lisäksi tarvitaan rajapintaa ja vähän nestettä, jotta biofilmi voi muodostua. Yleisin selitys, miksi mikrobit viihtyvät ja kasvavat pinnoilla on, että pinnalla kasvaminen mahdollistaa ravinteiden saamisen helpommin kuin vähäravinteisessa nestevirrassa (Characklis & Cooksey, 1983). Biofilmit vähentävät nesteen virtausnopeutta, tukkivat putkistoja, korrodoivat pintamateriaalia, aiheuttavat terveysriskejä ja saastumisongelmia, lisäävät energiankulutusta ja vähentävät siten järjestelmien tehokkuutta. Biofilmi on varmasti tuttu ilmiö meille kaikille esim. omissa keittiö- tai kylpyhuonealtaissa tai vaikkapa saunan lauteilla. Lisäksi voimme havaita biofilmiä kukkien varsissa maljakossa (van Doorn ym., 1991). Monitahoisuutta lisää se, että ongelma-alueet esiintyvät erilaisilla teknologia-alueilla esim. fysikaalisessa kemiassa, biologiassa, lääketieteessä ja laitesuunnittelussa. Biofilmillä on lukuisten haittavaikutusten ohella myös tärkeitä sovelluksia kuten esim. biofilmin hyötykäyttö jätevesien puhdistuksessa ja bioprosesseissa joissa hyödynnetään pintoihin kiinnitettyjä mikrobeja (Bryers, 1990; Kronlöf, 1994). Ongelmallisia esimerkkejä biofilmi-ilmiöistä lääketieteen alalla ovat hammaskiven muodostuminen hampaan pinnalle, limakalvoinfektiot ja infektiot, joihin liittyy kontakti vieraan materiaalin esim. katetrin kanssa.

Vesijärjestemissä putken sisäpinnalla oleva biofilmi saattaa vähentää nestevirtausta jopa 50 %. Kirjallisuudessa esitetyn arvion mukaan 600 MW:n voimalan höyryturbiinin lämmönvaihtimessa tämänkokoinen biofilmikerros voi johtaa jopa puolen miljoonan dollarin energiatappioihin vuodessa (Lewin, 1984). Vastaavasti, jos lämmönvaihtimessa esiintyvän biofilmin paksuus on 250 µm, saattaa seurauksena olla 50 %:n tehohäviöt (Goodman, 1987). Prosessilaitteisiin ja -putkiin ongelma on tullut tekniikan kehittymisen myötä. Tässä biofilmien aiheuttamat haitat ovat lähinnä energiahävikkiä, tuotteiden saastumista ja korrosiota (Mattila-Sandholm & Wirtanen, 1991). Esimerkkejä löytyy myös öljyteollisuudesta, missä biofilmimikrobien aiheuttamat korroosiot putkistoissa voivat aiheuttaa miljoonan dollarin päivittäiset öljyhävikit ja ympäristön kannalta mittaamattomat vahingot (Lewin, 1984).

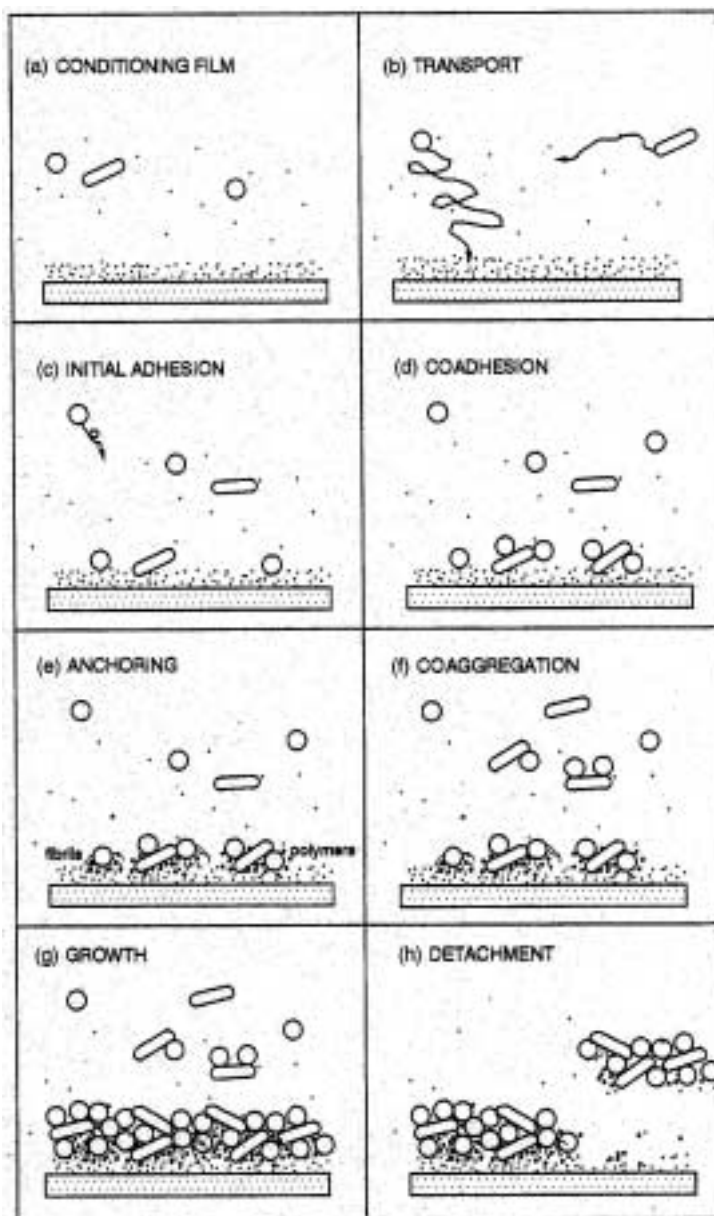
Biofilmi-ilmiötä kutsutaan myös nimellä biofouling jolloin siihen liittyy proteiinien ja mineraalien adsorptiota. Seuraavassa on esimerkkejä biofilmien aiheuttamisista ongelmista prosessissa (Characklis, 1981; Mattila-Sandholm & Wirtanen, 1991; Allison ym., 2000; Morton, 2000; Verran & Jones, 2000):

- **materiaalin korrosio ja rakenteiden rappeutuminen** lauhduttimissa, vesi- ja viemäriverkoissa ja jäähdytystorneissa
- **energiahävikit** prosessien lämmityksessä, lauhduttimissa ja massansiirrossa pumpattaessa
- **alenettu tehokkuus** ioninvaihto- ja kalvoprosesseissa, prosessiantureissa ja – laitteissa sekä tarkastuslasien ja miesluukkujen toimivuudessa
- **immobilisoitujen järjestelmien saastuminen** bioprosesseissa
- **heikentynyt tuotelaatu** elintarviketeollisuuden tuotannossa ja pakkausmateriaalin valmistuksessa
- **heikentynyt vedenlaatu (esim. patogeeneja)** jäähdytysjärjestelmissä ja veden jakelussa.

### 2.1.1 Biofilmin muodostus

Biofilmin muodostuminen alkaa, kun mikrobisolu kiinnittyy pinnalle (adheesio). Adheesio eli kiinnittyminen on ensin reversiibeli, minkä jälkeen se muuttuu irreversiibeliksi. Biofilmin muodostuminen (kuva 1) on dynaaminen monitahoinen prosessi, jossa tärkeimmät komponentit ovat alustamateriaalin ja mikrobien ominaisuudet sekä nestemäärä (Characklis & Cooksey, 1983; Bryers, 2000; Busscher & van der Mei, 2000; Jass & Walker, 2000). Adheesio ei tarvitse johtaa biofilmin syntyyn, mutta se on biofilmin syntymisen perusedellytys. Fouling eli orgaanisen lian kasaantuminen pinnalle edeltää usein mikrobien adheesiota. Epätasaiset pinnat edistävät mikrobien kiinnittymistä sekä lika-kerrosten kasaantumista. Epätasaisuus lisää alustan pinta-alaa ja antaa mikro- beille ”piilopaikkoja” (Characklis & Cooksey, 1983). Biofilmi koostuu aina mikrobisoluista ja niiden erittämistä tuotteista kuten esim. polysakkaridirihamas- tosta ja glykoproteiineistä ns. glykokalyksista. Biofilmissä elävät mikrobit ovat metabolisesti aktiivisia, ja niiden aktiviteetit kohdistuvat ravinteiden hankintaan (Costerton ym., 1987; Busscher & van der Mei, 2000; Jass & Walker, 2000). Biofilmin sisällä on voimakkaita ioninvaihtoalueita mikrobisolujen ja ympäri- vän nesteen välillä.





Kuva 1. Eri vaiheet biofilmin muodostuksessa: a) orgaanisen materiaalin kertyminen pinnalle (conditioning film = pinnan käsittely neesteessä olevalla orgaanisella ja epäorgaanisella aineella), b) mikrobien kulkeutuminen pinnalle, c–d) mikrobien tarttuminen pintaan ja toisiinsa, e–f) mikrobien kiinnittyminen pintaan ja toisiinsa, g) mikrobikasvu pinnalla ja h) mikrobien irtoaminen pinnalta (Busscher & van der Mei, 2000).

Polysakkarideista koostuvan suojakerroksen ansiosta antibakteeriset aineet kuten desinfiointiaineet eivät pääse tunkeutumaan mikrobisoluihin, ja täten mikrobit jatkavat lisääntymistään suojakerroksen sisällä (Costerton & Lashen, 1983; Wirtanen, 1995; Allison ym., 2000). Biofilmin muodostukseen liittyy usein limanmuodostusta. Limanmuodostus on käsitteellisesti samankaltainen ongelma kuin biofilmi silloin, kun limanmuodostus tapahtuu pinnalla (kuva 2). Limalla ja biofilmillä on suojaavan tehtävän lisäksi myös konsentroiva tehtävä esim. metallit tai desinfiointiaineet konsentroituvat näihin kerroksiin (Allison ym., 2000; Stewart ym., 2000). Limaongelmat liittyvät puhdistusongelmiin elintarvike- ja prosessiteollisuudessa (Raaska, 2002).



*Kuva 2. Mikrobit tuottavat limaa laitepinnalla, mikä aiheuttaa tuotannon saastumista ja prosessissa ajettavuusongelmia. Vasemmalla on esimerkki Bacillus spp. -biofilimuodostuksesta ruostumattomalla teräspinnalla ja oikealla esimerkki Klebsiella spp. -limanmuodostuksesta.*

Biofilmi on ns. stressi-ilmiö ja näin ollen yksi mikrobien suojautumiskeino erilaisia antibakteerisia tekijöitä vastaan. Laitteistoissa ja kiertopesujärjestelmissä biofilmi suojaa mikrobeja pesu- ja puhdistusaineita vastaan. Perinteiset mikrobiologiset menetelmät eivät sovi hyvin biofilmin havainnoimiseen, parhaat tutkimusmenetelmät perustuvatkin mikroskooppiaan (Costerton ym., 1987; Caldwell ym., 1992; Wirtanen, 1995; Wirtanen ym., 1997; Bryers & Fletcher, 2000). Suurin osa biofilmin kokonaistilavuudesta on vettä, joten kuivalla pinnalla näkyvä biofilmi on murto-osa siitä, mitä se on kosteassa ympäristössä (Mattila-Sandholm & Wirtanen, 1991). Virtaava neste vaikuttaa biofilmin muodostukseen mm. biofilmikerroksen paksuuteen. Laminaarinen virtaus sai aikaan 1300 µm:n paksuisen biofilmin samassa ajassa kuin turbulentsissa virtauksessa syntyy 300 µm:n paksuinen biofilmi (Characklis & Picologlou, 1978). Nestefaasissa oleviin muuttujiin kuuluvat ravinteet, ionit, mikrobimäärä, mikrobilaji, biofilmin lämpöenergian saanti sekä biofilmi-osasten irtoamiseen liittyvät tekijät.

## 2.1.2 Biofilmin esiintyminen teollisuusjärjestelmissä

Biofilmin muodostus voi olla erittäin voimakasta vesijärjestelmissä (Fletcher & Floodgate, 1973, Geesey ym., 1977; Block, 1992; Morton, 2000). Näissä vesijärjestelmissä suuret pinta-alat sekä korkeat ravinneäärät aktivoivat biofilmin muodostumista tukkien suodattimia ja suuttimia prosessiteollisuudessa (Costerton ym., 1987; Flemming & Griebe, 2000).

Mikrobien kolonisaatio juomavesiputkistoihin on melko kauan tunnettu ongelma (LeChevallier ym., 1984, 1988; van der Wende ym., 1989). Juomavedessä on tarpeeksi ravinteita biofilmin synnylle, mikä puolestaan osoittaa, että biofilmin syntyyn ei tarvita paljon ravinteita. Juomavesiputkistojen biofilmeissä esiintyneitä mikrobeita ovat *Flavobacterium* spp., *Moraxella* spp., *Acinetobacter* spp., *Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp., *Alcaligenes* spp. ja *Achromobacter* spp. Myös koliformiset organismit muodostavat biofilmiä, ja tärkeimpiä niistä ovat *Escherichia coli*, *Klebsiella* sp., *Enterobacter cloacae* sekä *Serratia marcescens* (LeChevallier ym., 1987; van der Wende ym., 1989). Kloorin käyttö voi induoida biofilmin syntyä, esimerkkinä tästä mainittakoon *Pseudomonas* spp., jota on todettu suurina määrinä klooratussa vedessä (van der Wende ym., 1989). Biofilimuodostumisen estäminen on tärkeää, sillä biofilmi voi suojata tarttuvia tauteja aiheuttavia organismeja ja nämä organismit voivat myös itse olla osana biofilmiä. *Legionella pneumophila* on yksi esimerkki haitallisesta organismista, jonka on osoitettu muodostavan biofilmiä kiinteistöjen kuumavesijärjestelmissä (Barlett ym., 1986; Murga ym., 2000). Putkistojen biofilmiongelmissa tulee ottaa huomioon ennalta ehkäisevien toimenpiteiden vaikutus, kuten veden säännöllinen laadunvalvonta ja seuranta orgaanisten ainesosien kertymisestä. Ennaltaehkäisy ja oikeaoppinen suunnittelu sekä biofilmin ongelmatiikan sisäistäminen on tärkeää (Mattila-Sandholm & Wirtanen, 1991; Block, 1992).

Jäähdytysvesiverkkojen biofilmiä on tutkittu melko paljon (Miller & Bott, 1982; Duddridge ym., 1983; Characklis, 1990; Block, 1992). Jäähdytysvesiverkot jaetaan rakenteensa perusteella avoimiin ja suljettuihin järjestelmiin. Avoimissa järjestelmissä vesi otetaan suoraan järjestelmään luonnonvesilähteestä, kuten merestä tai järvestä, kierrätetään prosessin kautta ja palautetaan takaisin lähteeseen. Suljetussa järjestelmässä vesilähteen ja prosessin väliin on rakennettu suljettu kiertojärjestelmä, jossa samaa vettä kierrätetään lämmönsiirtimien välissä. Toimivuuden ja puhtaanapidon kannalta suljettu järjestelmä on parempi, koska siinä voidaan mikrobitaso pitää alhaisena säännöllisin mekaanisin tai kemiallisin puhdistustoimin.

Avoimissa järjestelmissä mikrobitasoa ei voida pitää alhaisena muuten kuin erikoisjärjestelyin, kuten suodattamalla vesi ennen syöttöä järjestelmään (Mattila-Sandholm & Wirtanen, 1991). Näkyvin biofilmihaitta jäädytysverkoissa on lämmönjohtuvuuden huonontuminen jopa 10 %:iin suunnitellusta (Karsa & Stafford, 1989). *P. fluorescens*, joka löytyy yleisesti useista teollisuuden vesijärjestelmistä, muodostaa biofilmiä parhaiten +25 °C:ssa, ja filmin muodostus vähenee suuresti, jos lämpötila lasketaan +5 °C:ssa. Käytännössä matalissa lämpötiloissa biofilmin muodostus vähenee, mutta ongelmaksi tulevat silloin kylmässä kasvavat mikrobit (Wirtanen, 1995). Jäädytysvesijärjestelmissä biofilmi aiheuttaa limanmuodostuksen lisäksi korroosiota putkistossa ja lahoamista puurakenteissa (Puckorius, 1978).

Teollisessa vesijärjestelmässä biofilmin muodostuksen valvonta voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen: mikrobien määrän, saostumien ja korroosion valvontaan (Lamot, 1989, Nestor & Cappeline, 1979). Korroosio on sähkökemiallinen prosessi, jossa potentiaaliero kehittyy kahden eri metallin tai kahden eri alueen välille (Nestor & Cappeline, 1979; Gaylarde, 1990). Korroosion syntyyn vaikuttavat tekijät ovat mm. metallin epäpuhtauudet, suuret lämpötilaerot (20 °C → 80 °C), anaerobiset alueet, ympäröivään nesteeseen liuenneet ravinteet ja epäorgaaniset suolat sekä nesteen happamuus ja sähköjohtokyky (Nestor & Cappeline, 1979; Lamot, 1989; Varjonen ym., 1991). Mikrobiperäinen korroosio syntyy joko suoraan tai epäsuoraisesti mikrobitoiminnan kautta. Se ei ole sama asia kuin biofilmi, mutta nämä ilmiöt esiintyvät usein yhdessä (Barlett ym., 1986; Sequeira, 1988). Korroosiota aiheuttavat mikrobit ovat useimmiten anaerobisia ja sulfaattia pelkistäviä (Costerton ym., 1987). Mikrobiperäisestä korroosiosta johtuen kierto-vesijärjestelmissä esiintyy valtavia materiaalillisia tappioita (Mattila-Sandholm & Wirtanen, 1991; Varjonen ym., 1991; Geesey ym. 2000).

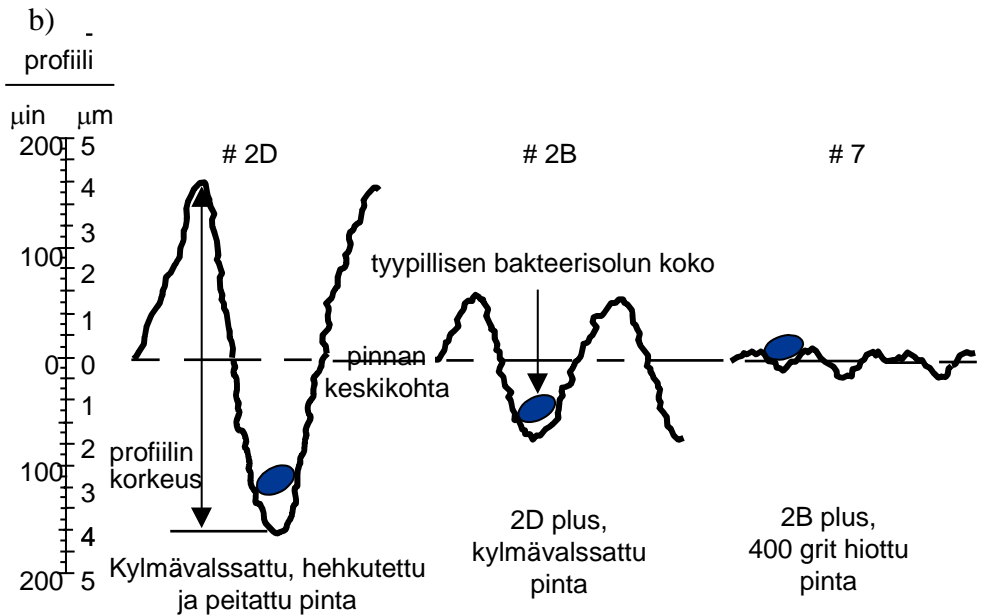
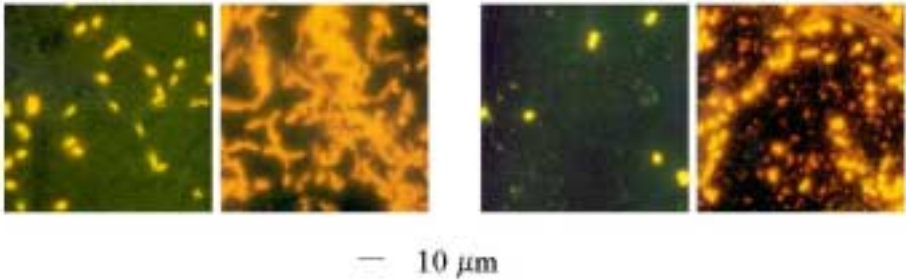
Biofilmiongelmat tulevat esiin herkimmin elintarvike- ja rehuteollisuudessa, missä käsitellään eloperäistä materiaalia. Biofilmin muodostukseen tarvitaan vain pienehköjä nestemääriä, kuten esim. kondenssivettä pinnalla. Elintarvike-teollisuudessa esiintyvä makkaroiden ja lihan limoittuminen liittyy biofilmin muodostukseen kun tuotepinnoilla olevat mikrobit muodostavat polysakkarideista ja glykoproteiineista koostuvaa limamateriaalia ympärilleen (Korkeala ym., 1988; Mattila & Frost, 1988). Elintarviketeollisuuden laitesuunnittelussa pintamateriaalin ominaisuudet, kuten sileys ja kunto, mahdolliset säröt, hiushalkeamat sekä ns. kuolleet kulmat prosessilaitteistoissa, ovat täten hyvin keskeisiä estettäessä biofilmin muodostusta. Ongelmia voi esiintyä millä

alueella tahansa, mutta ne kasaantuvat paikkoihin, joihin puhdistustoimet syystä tai toisesta eivät yllä (Mattila-Sandholm & Wirtanen, 1991; Curiel ym., 1996). Putkistoissa ja laitteissa esiintyvät ylimääräiset taskut ja mutkat sekä ylipitkät yhteet muodostavat katvealueita, jotka eivät tyhjene prosessiaineesta tai joihin pesun vaikutus ei yllä. Nämä katvealueet muodostavat mikrobeille oivia lymy-paikkoja. Biofilmin muodostuminen erilaisille laite- ja käsittelypinnoille on erittäin tärkeä ongelma-alue koko prosessiteollisuuden kannalta. Biofilmiongelmien ennaltaehkäisy on monin verroin kannattavampaa kuin jälkikorjailu. On selvää, että hiotulla pinnalla syntyy vähemmän biofilmiä kuin karhealla. Charaklis (1990) totesi myös, että vaikka pintakarheuden tärkeys tiedetään biofilmin syntymisen kannalta, ei kvantitatiivista tietoa pintakarheuden ja biofilmin suhteesta ole tarjolla. Kuvassa 3a esitetään kuvat *L. monocytogenes* -bakteerin kasvusta kylmävalssatulla ja elektrolyyttisesti kiillotetulla ruostumattomalla teräspinnalla. Pintamateriaalille onkin syytä asettaa sileysvaatimukset, jolloin mahdollisetaan puhdistuvuus- ja desinfiointitoimien pääsyä eri alueille (kuva 3b). Taulukossa 1 esitetään ruostumattoman teräksen eri pintakäsittelymenetelmillä saatavia pinnankarheusarvot ( $R_a$ -arvot), ne vaihtelevat 0,2–4  $\mu\text{m}$  (Charaklis, 1990; Curiel ym., 1993a, b, 1996).

Laitteiden tiivisteisiin kertyy helposti likaa ja ravinteita, mikä edistää mikrobin kiinnittymistä ja biofilmin syntyä. Lisäksi esimerkiksi kumi materiaalina on otollinen alusta mikrobeille (Zyska, 1988). Kun teollisuudessa käytettyjä tiivistemateriaaleja liattiin laboratorikokeissa elintarvikepilaajilla, kuten *P. fluorescens*illa ja terveydelle haitallisilla bakteereilla, kuten *L. monocytogenes*ellä ja *Yersinia enterocolitica*lla (Mosteller & Bishop, 1989, 1993). Bremer ym. 2001 totesivat, että *L. monocytogenes* muodosti biofilmiä teräspinnalla sekakasvustossa yhdessä *Flavobacterium* spp:n kanssa.

Mikroskopointituloksista huomattiin että *L. monocytogenes* muodosti biofilmin ja desinfiointiainekokeissa se esti bakteerisolujen tuhoamista (Wirtanen ym. 1994). Frank ja Koffi (1990) tutkivat *L. monocytogenes* -bakteeria ja totesivat sen vastustuskyvyn lisääntyneen biofilmin muodostumisen jälkeen kaikille testatuille desinfiointiaineille ja myös lämpökäsittelylle. Tutkimuksessa kävi ilmi, että etenkin kationiset ja anioniset pinta-aktiiviset aineet eivät tehonneet pinnalla kasvavaan listeriaan. Herald ja Zottola havaitsi jo 1988 listerian kiinnittyvän laitteistojen pintaan laajalla lämpötila-alueella (10–35°C).

a)



Kuva 3. a) *Listeria monocytogenes* -bakteerin kasvua kylmävalssatulla ja elektrolyytisesti kiillotetulla ruostumattomalla teräspinnalla (AISI 304, 2B): epifluoresenssikuvat vasemmalta oikealle ovat 2 ja 10 vrk kasvatettua biofilmiä kylmävalssatulla ruostumattomalla teräs-pinnalla sekä 2 ja 10 vrk kasvatettua biofilmiä elektrolyytisesti kiillotetulla ruostumattomalla teräspinnalla.

b) Pinnan epätasaisuus lisää pinta-alaa ja vaikeuttaa pesujen lopputulosta. Vertailukuva pintakarheudesta ja bakteerien koosta (Characklis, 1990).

*Taulukko 1. Ruostumattoman teräksen pinnankarheusarvot ( $R_a$ -arvot) eri käsittelyillä (Curiel ym., 1993a).*

Pintakäsittelymenetelmä	Pinnankarheusarvo ( $R_a$ -arvo) $\mu\text{m}$
Kylmävalssaus	0,2–0,5
Kuumavalssaus	> 4
Lasikuulapuhallus	1,0–1,2
Karstanpoisto	0,6–1,3
Kiiltohehkutus	0,4–1,2
Peittäus	0,5–1,0
Elektrolyyttinen kiillotus	#
Mekaaninen kiillotus	
500 grit	0,1–0,25
320 grit	0,15–0,4
240 grit	0,2–0,5
180 grit	$\leq 0,6$
120 grit	$\leq 1,1$
60 grit	$\leq 3,5$

# käsittely ei paranna  $R_a$ -arvoa, pinnan huippukohdat pyöristyvät ja puhdistettavuus paranee

Ilmastointikanavien biofilmiongelmien aiheutuvat kostutukseen käytettävästä vesijärjestelmästä tai kondenssiveden kertymisestä pinnoille (Tarvainen ym., 1994). Tutkimustulosten perusteella ilmastointikanavien suodattimet sekä kanavien seinämät voivat toimia biofilmin muodostumiskohteina (Shelley, 1990). Mikäli ilmastointilaitteeseen muodostunut biofilmi sisältää patgeenisia mikrobeja saastunut laite voi toimia tartunnan levittäjänä. Ilmankostuttimien puhdistus ja puhtaanapito on täten ensiarvoisen tärkeää (Karsa & Stafford, 1989). Mikrobitason poistaminen putkistoista biofilmin muodostumisen jälkeen on erittäin vaikeaa ja biofilmin esiintyminen on epätoivottavaa juuri sen vuoksi, että se suojaa patgeenisia mikrobeja (Barlett ym., 1986; Heinzl, 1988; Rossmoore, 1988; Murga ym., 2000). Ilmanvaihtojärjestelmien puhtaanapito voidaan ratkaista esim. käytännöllisellä rakennesuunnittelulla tai käyttämällä ilmankuivauslaitteita. Ilman suhteellinen kosteus olisi pidettävä alhaisena n. 30 % (Mattila-Sandholm & Wirtanen, 1991). Miten biofilmin muodostuminen ja mikrobitalon nousu käytännössä estetään,

riippuu kulloinkin suunnittelun kohteena olevan laitoksen käytännöistä. Esimerkiksi jäähdytys- ja kiertovesijärjestelmien kasvustoa voidaan hallita syöttämällä jäähdytysjärjestelmään hyväksi havaittua biosidiä tai muuttamalla prosessin pH:ta (Lamot, 1989; Mattila-Sandholm & Wirtanen, 1991). Bioteknisissä prosesseissa vaaditaan useimmiten hyvää aseptisuutta ja siten laitteistolta edellytetään hyvää pestävyyttä ja steriloitavuutta (Curiel ym., 1993a, b).

Biofilmin muodostuminen on oire toimintahäiriöstä ja käytettävät keinot pitäisi kohdistaa syiden eikä seurausten poistoon. On helpompi työstää biofilmiä aiheuttavat "laitetaudit" etukäteen hyvällä suunnittelukäytännöllä (*Good Design Practice*) kuin jälkikäteen käyttämällä prosessiin soveltuvia materiaaleja ja rakenneratkaisuja.

## **2.2 Elintarviketeollisuuden tilaratkaisujen merkitys laitehygieniassa**

Riina Tolvanen, Elintarvike- ja ympäristöhygienian laitos, Helsingin yliopisto  
Gun Wirtanen, VTT Biotekniikka

Laitehygieniaan liittyy hygieenisen laitesuunnittelun lisäksi myös tilaratkaisujen huomioonottaminen laitoksen suunnittelussa. Hygieenisten periaatteiden mukaan suunniteltu laite ei voi toimia parhaalla mahdollisella tavalla, mikäli se on sijoitettu siten, että laitteen puhdistus on hankalaa ja kontaminaatiopaine suuri. Toisaalta taas huonomminkin suunnitellulla laiteella voidaan saavuttaa odotettua parempi hygieninen taso, mikäli tilaratkaisut ovat sellaiset, että laitteen kontaminaatiopaine on pieni ja laitteen puhdistus on helppoa ja perusteellista (Holm, 1980).

Rakennusten ja vastaanottoalueiden asemapiirustus ja sijoitus, prosessi- ja pakkausosastojen sekä taukutilojen sijoitus tuotantorakennuksissa, rakennusten ulkoiset puitteet, seinät, ikunnat, ovet, katot ja lattiat ovat tärkeitä suunnittelu-kohtia laitosta suunniteltaessa (Lelieveld, 2002a). International Standards Organization (ISO) 9000:n mukaiseen laatujärjestelmään liittyy mm. suunnitteluhenkilöstön koulutus ja ammattitaidon ylläpito, suunnittelutyön ohjaus ja opastus, projektin toiminta- ja suunnitteluohjeiston soveltaminen, projektin laatusuunnittelun noudattaminen, normiston ja esimerkkiratkaisujen hyväksikäyttö sekä viranomaismääräysten ja lakien huomioonottaminen (taulukko 2). Prosessi-



suunnittelun avulla luodaan perusteet hygienian ylläpitoon. Osana suunnittelua on myös puhdistusmenetelmien määrittely, johon kuuluu pesuohjelmat ja -tavat, puhtaanapitovälineet, pesu- ja desinfiointiaineet, jne. (Mattila-Sandholm & Wirtanen, 1991). Myös laitoksessa käytettävien tuotantohyödykkeiden, kuten veden, höyryn ja apuaineiden laatuun tulee kiinnittää huomiota, koska huonoilla hyödykkeillä pilataan hyvinkin prosessi. Suunnittelun kiinteänä jatkona seuraa laitoksen käyttöönotto ja samanaikainen käyttöhenkilöstön koulutus, joka on jatkuvaa toimintaa koko laitoksen käytön ajan ja jonka yhtenä keskeisenä osana on tuotantohygienian periaatteiden opettaminen (Mattila-Sandholm & Wirtanen, 1991).

### **2.2.1 Linjan selkeys ja osastointi**

Erilaisia bakteereita, hiivoja ja homeita esiintyy elintarviketuotantotiloissa, erityisesti raaka-aineiden säilytystiloissa. Mikrobin tuloa tuotantotiloihin ei voida täysin estää, mutta niiden leviäminen korkean hygienian alueille ja laitteiden kontaminaatio on pyrittävä minimoimaan (Gravani, 1999). Elintarvikelaitos tulisi suunnitella siten, että prosessin vaiheet seuraavat toisiaan ilman, että tuotteita täytyy välissä kuljetella edestakaisin. Linjan selkeyden tavoitteena on estää mikrobiologista ristikontaminaatiota raaoista tuotteista kypsien tuotteisiin tavaroiden, tuotteiden, ilman tai henkilökunnan välityksellä (Hulland, 1980).

Laitoksessa on oltava riittävän suuret työskentelytilat niin, että työ voidaan suorittaa hygieenisesti. Raaka-aineiden varastointiin on varattava riittävästi tilaa siten, että raaka-aineet on helppo purkaa ja sopiva määrä raaka-aineita voidaan ottaa käsiteltäväksi prosessiin. Raaka-aineiden vastaanotto tulee olla erillään tuotanto- ja pakkausalueista (Hayes, 1992; Shapton & Shapton, 1998).

Erilaisia toimintoja varten tarkoitettuja huonetiloja on sijoitettava niin, että raaka-aineet ja valmisteet sekä kypsennetyt ja kypsennämättömät valmisteet samoin kuin pakatut ja suojaamattomat raaka-aineet ja valmisteet voidaan pitää riittävästi erillään toisistaan ja että kontaminaation vaaraa ei ole (MMM, 1999). Myös pakkaamo erotetaan kypsien tuotteiden käsittelyalueesta. Eri osastoilla ei käytetä samoja työvälineitä, eikä laitteita tulisi siirtää osastolta toiselle, koska työvälineiden ja laitteiden mukana mikrobit voivat levitä osastolta toiselle (Gravani, 1999).

*Taulukko 2. Suunnittelukohteet prosessissa (Mattila-Sandholm & Wirtanen, 1991).*

Suunnittelun kohde	Suunniteltava osa kohteessa
prosessisuunnittelu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prosessiparametrit</li> <li>- laiteratkaisut</li> <li>- hygieniatason ylläpidon periaatteet</li> </ul>
laitesuunnittelu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- materiaalit ja niiden pintakäsittely</li> <li>- varusteiden saumat ja liitoskohdat</li> <li>- tarkistettavuus ja puhdistettavuus</li> <li>- tyhjentyvyys ja puhdistuvuus</li> <li>- eristys</li> </ul>
putkistosuunnittelu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- venttiilit, liitoskohdat ja saumat ym.</li> <li>- materiaalit ja niiden pintakäsittely</li> <li>- tyhjentyvyys ja puhdistuvuus</li> <li>- kannakkeiden ja tukipylväiden sijoitus</li> <li>- eristys</li> </ul>
laitteiden sijoitussuunnittelu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- laitteiston peseytyvyys ja tyhjentyvyys</li> <li>- laitteiston huolto mahdollisuudet</li> <li>- toimintojen järjeistäminen</li> <li>- oikeaoppinen layout</li> </ul>
automatisointi suunnittelu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tuotannon hallittavuus</li> <li>- tuotannon varmuus</li> </ul>
tuotannon hallinnan suunnittelu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- työsuunnittelu</li> <li>- materiaalivirtojen seuranta</li> <li>- häiriöiden raportointi</li> </ul>
sähköistyksen suunnittelu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- laitteiden suojaus</li> <li>- valaistus</li> </ul>
rakennus- ja rakennesuunnittelu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pintamateriaalit ja niiden pintakäsittely (esim. maalaus)</li> <li>- viemäröinti, läpiviennit ja kaltevuudet</li> <li>- pintojen, laitteiden ja prosessilinjojen puhdistettavuus</li> <li>- laitoksen eri toimintaosien layout</li> <li>- ilmastointi</li> </ul>
tuotanto-organisaatio ja henkilöstö	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tehtäväkokonaisuuksien järjeistäminen</li> <li>- vastuunjako selkeäksi</li> <li>- koulutus</li> </ul>

Raaka ja kypsä puoli erotetaan siten, että tavaroiden lisäksi myös ihmisten liikkuminen on rajoitettua ja tapahtuu ainoastaan sulun kautta. Sulkutiloille on tilasuunnittelussa varattava riittävästi tilaa. Sulkutiloissa on käsien pesu- ja desinfiointimahdollisuus ja desinfiointialtaat, joissa jalkineet puhdistetaan sulkutilasta tuotantotilaan poistuttaessa. Korkean hygienian alueelle siirryttäessä vaihdetaan puhtaat työvaatteet (Gürakan & Bozoglu, 2000).

Henkilökunnan taukotilat tulee sijoittaa siten, että tuotantotiloissa liikkuminen on mahdollisimman vähäistä. Eri osastoiden henkilökunnilla tulee olla erilliset taukotilat ja WC:t. Henkilökunnan WC-tiloista ei saa olla suoraa kulkua tuotantotiloihin (Hayes, 1992).

### **2.2.2 Laitteiden sijoittelu**

Laitteiden sijoittelussa tulee ottaa huomioon puhdistuksen aiheuttamat vaatimukset. Laitteiden ympärillä on oltava riittävästi tilaa, jotta niiden käyttö ja puhdistus ei hankaloituisi. Sellaiset laitteet, kuten kuljettimet, joissa ei tuotannon aikana tehdä työtä, sijoitetaan usein ahtaasti seinien vierille. Tällöin kuitenkin pesu hankaloituu. Laitteita ei tulisi sijoittaa kiinni seiniin, kattoon tai muihin laitteisiin. Riittävästä välimatkasta muihin rakenteisiin on useita suosituksia. EHEDG-ohjeistusten mukainen minimiväli laitteen ja seinän tai lattian välillä on 30 cm (Curiel ym., 1996). Gürakan ja Bozoglu (2000) suosittelevat laitteiden sijoittelua 90 cm:n etäisyydelle lattiasta ja seinistä ja 45 cm:n etäisyydelle katosta.

### **2.2.3 Rakenteet ja valaistus**

Kattojen ja ylärakenteiden on oltava helposti puhtaana pidettäviä. Putket ja johdot on sijoitettava siten, että ne eivät kulje linjojen yli niin, että niistä voisi pudota pölyä tai tiivistymisvettä linjan laitteisiin tai tuotteisiin. Ikkunoiden tulisi olla tiiviitä, ja sellaisia, että niitä ei voi avata tuotantotiloissa. Valaistuksen on oltava riittävä siivouksen helpottamiseksi ja hyvän pesutuloksen varmistamiseksi (Gravani, 1999). Valaistuksen voimakkuudeksi työpisteissä suositellaan vähintään 220 luksia. Sähköjohdot on tarvittaessa koteloitu tiloissa, joissa käsitellään suojaamattomia raaka-aineita tai valmisteita (MMM, 1999).

#### **2.2.4 Ilmanvaihto**

Ilmavälitteistä tuotteiden saastumista pilaajamikrobeilla, kuten maitohappobakteereilla, on todettu (Björkroth, 1997), joten myös ilman kulku raa'alta puolelta kypsälle puolelle olisi estettävä. Korkean hygienian alueille säädetään ylipaine, jotta ilma ei kulkeutuisi näille alueille päin (Hayes, 1992). Ilmanvaihdon on oltava tehokas, ja tarvittaessa on järjestettävä hyvä höyryn poisto. Ilman vaihtuvuus ja tuloilman määrä riippuvat prosessista. Kypsennykseen sopii 20-kertainen ilmanvaihto tunnissa, varastoissa taas riittää 1,5-kertainen vaihtuvuus (Hayes, 1992).

## 3. Määräykset ja ohjeistukset

### 3.1. Lainsäädäntö

Kaarina Aarnisalo ja Satu Pahkala, VTT Biotekniikka

Elintarviketeollisuuden laitesuunnittelulle ja -valmistukselle on olemassa vähän lainsäädäntöä. Keskeisin lainsäädäntö löytyy EU:n konedirektiivistä (Anon., 1998), joka käsittelee koneiden yleisten terveys- ja turvallisuusvaatimusten lisäksi hygieenistä suunnittelua lyhyesti (89/392/EEC). Konedirektiivi on päivitetty v. 1998 (98/37/EU). Tässä direktiivissä annetaan seitsemän perusvaatimusta koneiden suunnittelulle.

- Materiaalien, jotka ovat kontaktissa elintarvikkeiden kanssa, tulee olla puhtaita ja näin ollen puhdistettavia ennen jokaista käyttökertaa.
- Pintojen liitoksineen tulee olla sileitä eikä niissä saa olla hiottuja reunoja tai halkeamia, jotka voivat kerätä orgaanista materiaalia.
- Liitoskohdissa ulkonemia, teräviä reunoja ja syvennyksiä tulee olla mahdollisimman vähän. Hitsaaminen ja jatkuvat liitokset ovat suositeltavia. Ruuveja ja niiden päitä ei tule olla, jollei se teknisesti ole välttämätöntä.
- Pintojen tulee olla helposti puhdistettavia ja desinfioitavia, kun laitteen helposti irrotettavat osat on purettu. Laitteiden sisäpintojen kaarevuuden tulee olla riittävä perusteellisen puhdistuksen suorittamiseen.
- Nesteiden, esim. pesuvesien, pitäisi poistua koneesta esteettömästi.
- Hyönteisten tai nesteiden ei pitäisi päästä koneen hankalasti puhdistettaviin osiin
- Kone on suunniteltava niin, että muut kuin elintarvikekelpoiset voiteluaineet eivät pääse kosketuksiin elintarvikkeen kanssa.

Yleisten ohjeiden lisäksi elintarviketeollisuuden koneille on annettava suositeltavat puhdistus-, desinfiointi- ja huuhteluaineet sekä puhdistusmenetelmä (koskee myös suljettuja osia esim putkia). Lisäksi direktiivissä vaaditaan, että kaikissa vuoden 1995 jälkeen EU:ssa myydyissä koneissa, jotka vastaavat perusstandardeja, tulee olla CE-merkintä.

Elintarvikkeiden kanssa kosketuksiin joutuville materiaaleille on olemassa lainsäädäntöä. Pääosa säädöksistä on yhdenmukaisia Euroopan yhteisön säädösten kanssa ja laadittu puitedirektiivin (direktiivi 89/109/ETY) nojalla. Lain-

säädännön perimmäinen tarkoitus on suojata ihmisten terveyttä mahdollisilta haitallisilta aineilta, jotka voivat siirtyä materiaalista tai tarvikkeesta elintarvikkeeseen. Säädökset koskevat kaikkia materiaaleja ja tarvikkeita, kuten pakkauksia, astioita, ruokailuvälineitä, koneita ja laitteita sekä rakenteita, jotka tarkoituksensa käytettäessä joutuvat kosketukseen elintarvikkeiden kanssa. Tällaisia säädöksiä sisältävän Kauppa- ja teollisuusministeriön hallinnon alalle kuuluvan elintarvikelain (361/95) nojalla on annettu säädökset "Päätös elintarvikkeen kanssa kosketukseen joutuvista tarvikkeista" (400/96) ja "Asetus elintarvikkeen kanssa kosketukseen joutuvista muovisista tarvikkeista" (1067/2000). Lisäksi aikaisemman elintarvikelain nojalla on annettu päätöksiä koskien esim. tarvikkeista liukenevia metalleja tai keraamista materiaalia. Tähän mennessä onkin annettu erityisiä määräyksiä keraamisista materiaaleista, sellofaanista, muoveista sekä paperista ja kartongista. Toistaiseksi meiltä puuttuvat yksityiskohtaiset kansalliset ja yhteiseurooppalaiset määräykset eräille materiaaleille, kuten lasille, kumille, vahoille, metallimateriaaleille, puulle ja tekstiileille. EY:n puitedirektiivin yleisohjeet koskevat joka tapauksessa näitäkin materiaaleja. Pyrkimys on, että kaikille materiaaleille laaditaan yhteiset ja kattavat eurooppalaiset määräykset. Elintarvikesäädäntöä koskevista yleisistä periaatteista ja vaatimuksista on annettu asetus EY 178/2002 ja siihen sisältyvät myös säännökset elintarvikkeiden kanssa kosketuksiin joutuvista materiaaleista. Suomessa puuttuvat määräykset monilta osin, mutta voidaan nojautua eräiden muiden maiden, lähinnä Saksan, Alankomaiden ja Yhdysvaltojen, suosituksiin. Yhdysvalloissa FDA:n (Food and Drug Administration) määräykset Elintarvikkeiden kanssa kosketuksiin joutuvista materiaaleista löytyvät osasta 21 Food and Drugs, pykälistä 173-189. Saksassa määräyksiä on antanut Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (BgVV; Sipiläinen-Malm, 2002). Elintarviketeollisuudessa käytettävien voiteluaineiden lainsäädännöstä ja standardeista kerrotaan tämän kirjallisuuskatsauksen kohdassa 5.4.1.

### **3.2. Standardit ja ohjeistukset**

Kaarina Aarnisalo, Satu Pahkala ja Gun Wirtanen, VTT Biotekniikka

Elintarviketeollisuuden laitteiston hygieeniseen suunnitteluun on olemassa vähäisen lainsäädännön lisäksi kansainvälisiä ja eurooppalaisia standardeja ja ohjeistuksia. Valtaosa standardeista on meijeriteollisuuden laitteistoille, ja International Dairy Federation (IDF) -järjestöllä on niiden teossa keskeinen

asema (Holah, 2000). EU:n komissio on valtuuttanut Eurooppalaisen standardointijärjestön (CEN) laatimaan standardeja konedirektiivin vaatimusten tueksi. European Hygienic Engineering and Design Group (EHEDG) on mukana neuvoa-antavana osapuolena CENin työryhmissä, joissa laaditaan ISO-standardeja elintarviketeollisuuden laitteille (Anon., 2002c).

### 3.2.1 Standardit laitteille elintarvikevalmistuksessa

CEN laatii elintarviketeollisuuden laitteistoille standardeja, joita Suomessa suomentaa Suomen standardoimisliitto SFS. Tärkein näistä on yleinen standardi EN 1672-2: 1997 "Elintarvikelineet. Perusteet. Osa 2: Hygieniavaatimukset". Standardi koskee (velvoittavassa osassa lueteltuja) elintarvikelineitä, joita käytetään panos- ja jatkuvatoimisiin prosesseihin, avoimiin ja suljettuihin prosesseihin ja joissa käytetään mitä tahansa käyttö-, lämmitys- tai ohjausenergian lajia. Standardissa käsiteltäviä asioita ovat mm. rakennemateriaalit, liitokset, kiinnittimet, laitteiden tyhjentyminen, sisäkulmat ja -nurkat, laakerit ja akselien läpiviennit, instrumentointi, hallintaelimet ja katve- ja roiskealueet. Erilaisille laitteille tarkoitettuja SFS:n standardeja ovat lisäksi:

- SFS-EN 453 Vaivauskoneet
- SFS-EN 454 Vatkauskoneet
- SFS-EN 1673 Pyörivällä paistokehikolla varustetut uunit
- SFS-EN 1674 Taikin kaulintakoneet
- SFS-EN 1678 Vihannesten paloittelukoneet
- SFS-EN 1974 Viipalointikoneet
- SFS-EN 12041 Kaulintakoneet
- SFS-EN 12043 Taikinannostatuskoneet
- SFS-EN 12505 Ravintoöljyjen ja -rasvojen valmistuksessa käytettävät sentrifugit
- SFS-EN 12852 Yleiskoneet ja tehosekoittimet
- SFS-EN 13289, 13378, 13379 Pastanvalmistuskoneet/-linjat.

Lisäksi on olemassa useita kansainvälisiä standardeja. Yhdysvalloissa standardeja ovat laatineet sellaiset organisaatiot kuin 3-A Sanitary Standards Committee, the National Canners Association, American Society of Mechanical Engineers (ASME) ja Baking Industry Sanitary Standards Committee. 3-A laati alunperin standardeja meijeriteollisuuden laitteille, nykyisin 3-A-standardeja

tuotantoturvallisuudesta on laadittu kaikille elintarviketeollisuuden aloille sekä juoma- ja lääketeollisuuteen (Forsythe & Hayes, 1998; Helmke, 2002). 3-A laatii esim. materiaalien spesifikaatioita, suunnittelu- ja asennuskriteereitä ym. Standardeja on saatavissa monille laitteille liittimistä säiliötankkeihin. ASME laatii standardeja yllä mainittujen alojen laitteiden suunnitteluun, rakentamiseen ja teolliseen valmistamiseen. Heidän suosittelemansa standardit voidaan hyväksyä Yhdysvaltain kansallisiksi standardeiksi (Forsythe & Hayes, 1998). IDF laatii standardeja meijeriteollisuuden laitteistoille. Lisäksi on olemassa paljon kansallisia standardeja, esim. British Standard (BS) ja Dansk Standard (DS). BS-standardeista löytyy mm. useampia standardeja elintarviketeollisuudessa käytettäville ruostumattomille teräksille.

### **3.2.2 Yleisohjeet**

EHEDG laatii ohjeistuksia elintarviketeollisuuden laitteiden hygieeniseen suunnitteluun. Tällä hetkellä valmiina on 17 yleisohjetta prosessi- ja laitesuunnittelun eri aiheista (Taulukko 3). Näiden prosessi- ja laitesuunnitteluaiheisten yleisohjeiden lisäksi EHEDG on toimittanut kuusi testimenetelmäyleisohjetta (Anon., 2002c).

## **3.3 Keskeiset järjestöt laitehygienialalla**

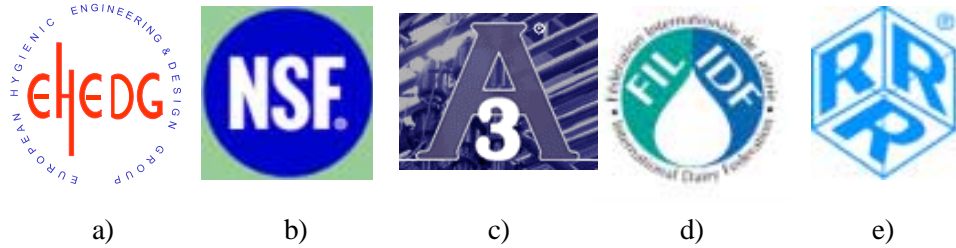
Gun Wirtanen, VTT Biotekniikka

Laitesuunnittelussa hygienian merkitys on viime aikoina kasvanut. Aihetta käsitteleviä, keskeisiä järjestöjä ovat eurooppalainen EHEDG, amerikkalaiset National Sanitation Foundation (NSF) International ja 3A sekä kansainvälinen meijerialan järjestö IDF. Pohjoismainen R<sup>3</sup>-yhdistys on mukana ilmanlaatua koskevissa asioissa mm. kouluttamassa suunnittelijoita ja laitekäyttäjiä oikean järjestelmän valitsemisessa ja sen huoltamisessa. Mainittujen järjestöjen logot esitetään kuvassa 4 (Anon., 2002a, c, d, h & j).



*Taulukko 3. EHEDG:in yleisohjeiden aiheet (Anon., 2002c).*

Dokumentti	Aihe
<b>Yleisohjeet prosessi- ja laitesuunnittelun tueksi</b>	
1	Nestemäisten elintarvikkeiden pastörinti
3	Elintarvikkeiden aseptinen pakkaaminen
6	Jatkuvatoiminen lämpösterilointi nestemäisille elintarvikkeille
8	Hygieenisten laitteiden suunnittelukriteerit
9	Ruostumattoman teräksen hygieeninen hitsaaminen
10	Suljettujen laitteiden hygieeninen suunnittelu
11	Elintarvikkeiden hygieeninen pakkaaminen
12	Palasia sisältävän elintarvikkeen lämpökäsittelyprosessi
13	Avoimien laitteiden hygieeninen suunnittelu
14	Hygieenisten venttiilien suunnittelu
16	Hygieenisten putkiliitosten suunnittelu
17	Hygieenisten pumppujen, homogenisaattorien ja kostutuslaitteiden suunnittelu
18	Ruostumattoman teräksen passivointi
20	Hygieenisten erikoisventtiilien suunnittelu ja käyttö
21	Altistuskoe pakkauskoneiden hygienian arvioimiseen
22	Hygieeniset suunnittelukriteerit kuivatuotteiden valmistukseen
23	Elintarvikekelpoisen voiteluaineen valmistus ja käyttö
<b>Testimenetelmiä</b>	
2	Testimenetelmä asennettujen elintarvikeprosessilaitteiden puhdistuvuuden arvioimiseksi
4	Testimenetelmä asennettujen elintarvikelaitteiden pastöroitavuuden arvioimiseksi
5	Testimenetelmä asennettujen elintarvikelaitteiden steriloitavuuden arvioimiseksi
7	Testimenetelmä elintarvikeprosessilaitteiden bakteeritiiveyden arvioimiseen
15	Testimenetelmä asennettujen keskikokoisten elintarvikeprosessilaitteiden puhdistuvuuden arvioimiseksi
19	Testimenetelmä bakteerien läpäisemättömyyden arvioimiseksi hydrofobisista membraanisuodattimista



Kuva 4. Keskeisten laitehygieniäjärjestöjen logot: a) European Hygienic Engineering & Design Group (EHEDG), b) National Sanitation Foundation (NSF) International, c) 3-A, d) International Dairy Federation (IDF) ja e) Pohjoismainen R<sup>3</sup>-yhdistys (Anon., 2002a, c, d, h & j).

### 3.3.1 European Hygienic Engineering & Design Group

Eurooppalaisen lainsäädännön mukaan (uusimmat EU-direktiivit: 98/37/EU ja 94/43/EU) elintarvikkeiden käsittely, valmistus, prosessointi ja pakkaaminen tulee tehdä hygieenisesti hygieenisillä laitteilla hygieenisissä tuotantotiloissa. EHEDG (siltoin European Hygienic Equipment Design Group) perustettiin v. 1989 päämääränään parantaa hygieniatasoa elintarvikkeiden tuotannossa ja pakkaamisessa, koska selviytyminen direktiivien vaatimuksista oli pääasiassa jätetty elintarviketeollisuudelle. Ryhmään kuuluu edustajia elintarviketeollisuudesta, laitevalmistajista, viranomaisista ja tutkimuslaitoksista (Anon., 2002c).

EHEDG:in keskeisiin toimintoihin kuuluu yleisohjeiden laatiminen hygieenisen suunnittelun ja turvallisuuden parantamiseksi elintarviketuotannossa käytettävien prosessilaitteissa esim. pastöinti-, sterilointi- ja pakkauslaitteissa. Järjestö toimii aktiivisesti myös rakennus-, sähköasennus- ja teurastamosuunnittelussa. Laajat englanninkieliset yhteenvedot yleisohjeista julkaistaan myös Trends in Food Science and Technology -lehdessä (Anon., 2000c). Tiedonkulku yllä mainittujen tahojen kesken tapahtuu järjestön alaryhmissä, joissa jäsenet voivat olla joko aktiivisesti mukana laatimassa yleisohjeita tai kirjeenvaihtojäsenenä saamassa tietoa toiminnasta.

EHEDG järjestää joka toinen vuosi symposiumin. Osa toiminnasta tapahtuu omilla kielillä alueellisissa ryhmissä, joita on perustettu tai on perusteilla Pohjoismaiden EHEDG Nordicin lisäksi Alankomaissa, Belgiassa, Espanjassa,

Puolassa, Ranskassa ja Saksassa. Alueellisten ryhmien eräänä tehtävänä on yleisohjeiden käännökset ja informaatio- ja keskustelutilaisuuksien järjestäminen. EHEDG Nordicin toiminta-alueetta ovat Suomen lisäksi Ruotsi, Tanska ja Norja. EHEDG:issä on 25 aihealaryhmää (Taulukko 4). EHEDG:in toiminnasta saa lisätietoa myös internetin osoitteesta <http://www-ehedg.org/>.

EHEDG:in hyväksymät elintarvikealan tutkimuslaitokset, jotka ovat akkreditoineet tarvittavan testimenetelmän ja osoittaneet että sen tutkijat osaavat sertifioida laitteita EHEDG:in yleisohjeen 8 mukaisesti, tekevät laitesertifiointia. Tästä syystä EHEDG on aktiivisesti ollut mukana yleisohjeiden ja standardien maailmanlaajuisessa yhtenäistämässä. Yhdysvalloissa toimivien 3-A Sanitary Standards, Inc. ja NSF International -organisaatioiden kanssa EHEDG on sopinut yhteisten englanninkielisten yleisohjeiden julkaisemisesta (Anon., 2002a, c, h).

*Taulukko 4. Aakkosellinen lista EHEDG-alaryhmistä (Anon., 2002c).*

Alaryhmät EHEDG-järjestössä	
• Anturit	• Prosessivesi
• Elintarvikekuljetukset maanteitse	• Pumput, homogenisattorit ja kostuttimet
• Elintarvikelaitteissa käytettävät materiaalit	• Putket ja putkiliitokset
• Hitsaus	• Rakennussuunnittelu
• Hygieenisten järjestelmien yhteensovittaminen	• Riskienhallinta
• Ilmanlaatu järjestelmät	• Suunnitteluperiaatteet
• Kalan ja lihan prosessointilaitteet	• Sähköasennukset
• Kuljettimet	• Testimenetelmät
• Kuivamateriaalin käsittely	• Teurastamot
• Kylmälaitteet	• Valmennus ja koulutus
• Lämpökäsittely	• Venttiilit
• Mekaaniset tiivisteet	• Voiteluaineet
• Pakkauskoneet	

### **3.3.2 National Sanitation Foundation**

NSF International perustettiin 1944, ja sen tehtävänä oli laatia standardeja, tehdä tuotetestausta ja sertifiointipalvelua kansanterveys- ja turvallisuusalalla. Vuonna 1985 NSF International avasi Eurooppa-toimistonsa Brysselissä. NSF-järjestön toimesta on laadittu yli 50 American National Standards Institute (ANSI) -standardia. Organisaation tietotaitoa hyödynnetään myös asiakirjoissa, jotka eivät ole pakollisia ja jotka sisältävät aiheeseen liittyviä yleisiä mielipiteitä. NSF/ANSI-standardeja päivitetään jatkuvasti, jotta niiden sisältö olisi ajan tasalla tekniikan kanssa. Lisätietoja järjestöstä saa Internetistä osoitteesta <http://www.nsf.org/>.

### **3.3.3 3-A Sanitary Standards, Inc.**

Kaksi kauppaliittoa ja yksi ammattijärjestö yhdessä perustivat 3-A-yhdistyksen 1920-luvulla, ja yhdistyksen nimi valittiin siten, että se edustaisi kaikkia kolmea perustajajärjestöä. Nämä ovat the International Association of Food Industry Suppliers (IAFIS), International Association for Food Production (IAFP) ja Milk Industry Foundation (MIF). 3-A:n laatimat tuotantoturvallisuusstandardit sisältävät laitteille spesifikaatioita materiaaleista, suunnittelu- ja asennuskriteereitä yms. 3-A-sihteeristöstä on saatavilla lista olemassa olevista standardeista, joita on laadittu liittimiselle säiliötankeille. 3-A:n hyväksytty käytäntö kattaa joko kokonaisuutena toimivan prosessin tai järjestelmän yhteenliitetyistä laitteista. Tähän kokonaisuuteen voi myös sisältyä ohjeita saniteetilaitteista ja tarkastuskäytännöistä. Lisätietoa 3-A:n standardeista ja hyväksytyistä käytännöistä saa Internetistä (<http://www.3-a.org/>). Järjestön standardit ovat käytössä kansainvälisesti Yhdysvaltojen ja Kanadan lisäksi mm. Euroopassa, Australiassa, Uudessa-Seelannissa, Japanissa ja Meksikossa. 3-A edustaa Yhdysvaltoja ISO:n ja IDF:n teknisissä komiteoissa, joissa työskenteleään kansainvälisiä standardeja (Anon., 2002a). Vuoden 2003 alusta 3-A Sanitary Standards Inc:n toiminta-alue ja rakenne uusitaan. Uusi hallitus koostuu jäsenistä, jotka edustavat seuraavia järjestöjä ja organisaatioita: AAFIS, IAFP, IDFA, ADPU, 3-ASC, FDA, USDA ja 3-A. Toiminnot hoituvat seuraavissa kolmessa elimessä: toimitusjohtajan kansliassa, 3-A standardien valmisteluelimessä ja kolmannen osapuolen verifiointitoimien hallintoelimessä (Helmke, 2002).

### 3.3.4 International Dairy Federation

IDF toimii meijerialan keskustelufoorumina ja tiedotuskeskuksena, joka on perustettu meijerialan toimesta pääasiallisesti sen omalle väelle 38 jäsenmaassa. Samalla tämä liitto toimii linkkinä meijerialan ja muiden kansainvälisten järjestöjen välillä. Liiton avainalueet ovat karjanhoito, meijeriala kehityksmaissa, meijerialous ja -markkinointi, meijeriteknologia, hygienia ja turvallisuus meijerialalla, elintarvikealan standardit ja riskien hallinta sekä maitotuotteiden määritysmenetelmät ja ravitsemustiede. Lisätietoa IDF:stä on saatavilla mm. liiton www-sivuilta: <http://www.fil-idf.org>. IDF:n toimisto on Brysselissä (Anon., 2002d).

### 3.3.5 Pohjoismainen R<sup>3</sup>-yhdistys

Pohjoismainen R<sup>3</sup>-yhdistys perustettiin 1967 Ruotsissa, ja vuonna 1970 yhdistykseen liittyivät Tanska, Norja ja Suomi. Yhdistys on jäsenenä International Confederation of Contamination Control Societies (ICCCS) -järjestössä. R<sup>3</sup>-yhdistyksen tavoitteena on luoda ihmisen ja tuotteen suojaksi sellainen ympäristö järjestelmiseen, jossa epäpuhtauksien taso ilmassa ja pinnoilla on alhainen ja kontrolloitu. Yhdistyksen jäsenilleen tarjoama kurssi-valikoima käsittää mm. R<sup>3</sup>-peruskursseja ja erikoiskursseja R<sup>3</sup>-tekniikan eri aihealueista, joita ovat: lääke- ja elintarviketeollisuus, elektroniikka, konepajateknikka, optiikka ja LVI-laitteet. R<sup>3</sup>-yhdistyksen virallinen julkaisu "Nordisk Journal för Renhetsteknik" ilmestyy vähintään viisi kertaa vuodessa. Lehdessä julkaistaan artikkeleita alan erikoisteemoistaseekä informaatiota tuotteista, yrityksistä, standardeista, kursseista, seminaareista ja muusta alan liittyvistä aiheista (Anon., 2002j). Lisätietoja yhdistyksestä saa Internetistä osoitteesta <http://www.r3nordic.se> (osoite on vuoden 2003 alusta <http://www.r3nordic.org>).

## 4. Hygienian kannalta ongelmalliset laitteet elintarviketeollisuudessa

### 4.1 Ongelmalliset laitteet eri elintarviketeollisuuden aloilla

Kaisa Saloniemi, Elintarvike- ja ympäristöhygienian laitos, Helsingin yliopisto

Elintarvikehygienian kannalta ongelmallisissa laitteissa on rakenteita, jotka keräävät likaa ja/tai vaikeuttavat tehokasta pesua ja desinfiointia. Huonosti suunnitellun laitteen pesu vie paljon aikaa ja vaatii runsaasti työtä. Riittämätön pesu ja desinfiointi voivat johtaa puutteelliseen hygieniaan ja tuotteiden kontaminoitumiseen.

Laitteessa voi olla liian paljon tai hankalasti irrotettavia osia, jotka tekevät kunnollisesta puhdistuksesta hyvin työlästä. Tällöin laite jää usein puhdistamatta riittävän hyvin. Laitteen pintamateriaalit voivat olla epätasaisia, huokoisia tai kuluneita, jolloin pinnat ovat vaikeita puhdistaa. Laite voi olla sisäpinnoiltaan liian ahdas, jolloin sen peseminen on vaikeaa. Ruuvit, mutterit, epätasaiset hitsausaumamat ym. voivat kerätä likaa ja puhdistua huonosti. Ns. kuolleet alueet keräävät elintarvikejäämiä, mahdollistavat mikrobien kasvun ja tuotteen kontaminaation. Esimerkiksi väärin suunniteltu tankki ei tyhjene kokonaan itsestään, vaan tankkiin jää niin elintarviketta kuin pesuliuoksiakin. Laitteiden moottorit voivat olla väärin sijoitettuja ja huonosti suojattuja, jolloin laitteen pesu on hankalaa ja moottorista voi siirtyä likaa ja mikrobeja laitteen muille pinnoille. Samoin huonosti suunnitellut tukirakenteet voivat kerätä likaa tai häiritä pesua (Hayes, 1992).

Eri elintarviketeollisuuden aloilla on erilaisia laitteita. Myös hygienian kannalta ongelmalliset laitteet vaihtelevat osittain eri aloilla. Esimerkiksi meijereissä ongelmallisia laitteita ovat erilaiset putkistot ja tankit. Kuitenkin tietyt laitteet, kuten kuljettimet, viipalointi- ja kuutiontikoneet jäädyttimet, täyttökoneet ja pakkauslaitteet ovat käytössä monilla eri aloilla. Nämä laitteet ovat myös tavallisia *L. monocytogenes* -kontaminaatiopaikkoja (Tompkin ym., 1999). Taulukossa 5 esitetään eri elintarviketeollisuuden laitteita, joissa on esiintynyt *L. monocytogenes* -kontaminaatioita.

#### 4.1.1 Meijeriteollisuuden ongelmalliset laitteet

Meijeriteollisuuden laitevaatimukset poikkeavat muista aloista lähinnä sen takia, että raaka-aine ja usein myös tuotteet ovat meijerissä nestemäisiä. Meijereissä tarvitaankin erilaisia putkistoja ja säiliöitä maitoa varten. Maito pastöroidaan patogeenien tuhoamiseksi, mutta tuotteet voivat jälkikontaminoitua pastöroinnin jälkeen jatkoprosessoinnin ja pakkaamisen aikana. *L. monocytogenes* -kontaminaation kannalta merkittäviä laitteita meijeriteollisuudessa ovat putkistojen ja tankkien lisäksi mm. kuljettimet, annostelu- ja täyttökoneet sekä jäädyttimet (Pritchard ym. 1995, Miettinen ym. 1999). Mikä tahansa raakamaidossa esiintyvä patogeeni voi periaatteessa esiintyä myös meijerin tuotantoympäristössä (Cotton & White, 1992).

*Taulukko 5. Eri elintarviketollisuuden alojen laitteita, joissa on esiintynyt Listeria monocytogenes -kontaminaatioita.*

Ala	Laite	Viite
Meijeriteollisuus	Annostelukone	Cotton & White 1990, Pritchard ym. 1995, Miettinen ym. 1999, Lyytikäinen ym. 2000.
	Jäädytin	
	Kuljetin	
	Pakkauskone	
	Säiliö	
Kalateollisuus	Täyttökone	Autio ym. 1999, Rørvik 2000, Fonnesbech Vogel ym. 2001a.
	Filerointikone	
	Nahoittaja	
	Pakkauskone	
	Siivutuskone	
Lihateollisuus	Suolauslaite	Samelis & Metaxopolous 1999, Tompkin ym. 1999, Aguado ym. 2001, Lundén ym. 2002a, Suihko ym. 2002.
	Kuljetin	
	Kutteri	
	Kuutionilaite	
	Maseerauslaite	
	Pakkauskone	
Suikalointikone		
Viipalointikone		

Meijeriteollisuudessa käytetään ns. clean-in-place-puhdistusjärjestelmää. Clean-in-place-menetelmä eli CIP tarkoittaa puhdistusmenetelmää, jossa laite voidaan puhdistaa purkamatta sitä osiin. Putkistojen, pumppujen, venttiilien ja erilaisten säiliöiden elintarvikkeen kanssa kosketuksissa olevien pintojen tulee olla kosketuksissa myös puhdistus- ja desinfiointiliuosten kanssa.

Cotton ja White (1992) selvittivät sekä nestemäisiä maitotuotteita että jäätelöä valmistavissa meijereissä todennäköisempiä kontaminaatiopaikkoja, joissa voi esiintyä ympäristöpatoogeneja. Salmonellaa ei esiintynyt lainkaan. *L. monocytogenes* ja *Y. enterocolitica* -bakteereja esiintyi noin 7 %:ssa ympäristönäytteitä. Kuljettimet ja viemärit osoittautuivat tärkeimmiksi patogeenien pesiytymispaikoiksi. *Listerioita* eristettiin myös joidenkin laitteiden, esim. pakkaus- ja täyttökoneiden sekä jäädyttimien, alta.

Miettinen ym. (1999) selvittivät *L. monocytogenes* esiintymistä jäätelöä valmistavan laitoksen tiloissa, laitteissa ja jäätelössä vuosina 1990–1997. Ympäristöstä ja laitteista otetuista näytteistä noin 5 %:ssa esiintyi *L. monocytogenes*. Tutkimuksen mukaan ongelmallisimmin laite laitoksessa oli pakkauskone ja sen kuljetinhihna. Kun kuljetushihnan rakenteita muutettiin ja pesuja tehostettiin saatiin laitteessa vuosia esiintynyt *L. monocytogenes* -kanta eliminoitua (Miettinen ym. 1999). Myös australialaisessa tutkimuksessa (Sutherland & Porritt 1996) kuljettimet havaittiin sekä meijerien tuotanto- että kylmätiloissa *L. monocytogenes* -kontaminaatiolähteiksi.

Suomessa vuosina 1998–1999 esiintyneen listeriaepidemian aiheuttajaksi todettiin kontaminoitunut voi. Epidemian aiheuttanut *L. monocytogenes* -kanta eristettiin ko. laitoksen ruuvikuljettimesta, pakkauskoneesta ja lattiakaivoista. Tehostetun pesun ja desinfioinnin jälkeen ei laitoksen ympäristönäytteistä enää löydetty *L. monocytogenes* (Lyytikäinen ym. 2000).

Pritchard ym. (1995) selvittivät *Listeria*-lajien esiintymistä 21 meijerin tuotantotiloissa ja laitteissa. Lähes 30 %:ssa laitoksista laitteissa havaittiin *Listeria* spp. -kontaminaatio. Noin 90 %:ssa laitoksista *Listeria*-lajeja esiintyi tuotantotilojen lattioissa, seinissä ja viemäreissä. *L. monocytogenes* eristettiin mm. kuljettimista, tankeista ja täyttökoneista. Tutkimuksen perusteella havaittiin, että tuotantotiloissa eli lattioilla, lattiakaivoissa ja seinissä esiintyvä *L. monocytogenes* -kontaminaatio ei välttämättä johda laitteiden saastumiseen. *Listerian* esiintymisen tuotantotiloissa ja laitteissa kertoo kuitenkin tuotteen todellisesta jälkikon-



taminaatoriskistä. *L. monocytogenes* esiintyi myös laitteiden alapuolella. Pritchard ym. (1995) pitivät mahdollisena, että pestessä muodostuvat aerosolit siirtävät kontaminaation myös itse laitteeseen.

Jacquet ym. (1993) tutkivat juuston kontaminoitumista meijerissä. *L. monocytogenes* -kantoja eristettiin hyllyiltä, joissa juustoja kypsytettiin, juustojen pesulaitteesta ja pesuliuoksesta. Tutkimuksen mukaan juustot kontaminoituivat kypsytämisen ja pesemisen aikana, sillä ennen näitä vaiheita juustoista ei löydetty *L. monocytogenes*.

#### 4.1.2 Kalateollisuuden ongelmalliset laitteet

Kylmäsavustetut ja graavatut kalatuotteet ovat hygienian kannalta ongelmallisimpia kalateollisuuden tuotteita. Niitä ei lämpökäsitellä tuotantoprosessin aikana eikä ennen käyttöä. Lämminsavustettujen kalojen valmistuksessa käytetty lämpötila ja savustus aika tuhoavat suurimman osan bakteereista. Tuote voi kuitenkin jälkikontaminoitua esim. pakkaamisen aikana ja koska muiden bakteerien määrä on vähäinen, on *L. monocytogenes* -kontaminaation kannalta ongelmallisia laitteita ovat suolauslaitteet, nahanpoistolaitteet, filerointi- ja viipalointikoneet (Autio ym., 1999; Rørvik, 2000). Nämä laitteet ovat usein rakenteeltaan monimutkaisia ja vaikeita puhdistaa ja desinfioida.

Autio ym. (1999) tutkivat kylmäsavustettua kirjolohta valmistavan laitoksen *L. monocytogenes* -kontaminaatiolähteitä. Näytteitä otettiin laitteista, ympäristöstä ja kaloista eri vaiheissa tuotantoa. Laitoksen kontaminoituneimmat alueet olivat suolaus-, viipalointi- ja pakkausalueet. Pahin *L. monocytogenes* -lähde oli suolaukseen käytetty automaattinen injektiosuolaukone. Siihen kertyi suolalaukan kierrätyksen seurauksena rasvaa ja proteiineja kaloista. Laite ei puhdistunut pesuissa kunnolla ja *L. monocytogenes* esiintyikin toistuvasti laitteessa. Suolaus- ja viipalointikoneiden tehostetuilla pesuilla ja desinfiointeilla *L. monocytogenes* saatiin eliminoitua laitoksesta. Myös Fonnesbech Vogelien ym. (2001a) tutkimuksessa viipalointikoneet ja automaattiset injektiosuolaukoneet havaittiin kontaminoituneiksi *L. monocytogenes*.

Eklundin ym. (1995) tutkimuksessa ei pesun ja desinfiointin jälkeen kylmäsavulohta tuottavan laitoksen laitteista saatu eristettyä *L. monocytogenes*. Tuo-

tannon aikana *L. monocytogenes* esiintyi kuitenkin mm. fileitä siistivässä trimmauslaitteessa ja kierrätetyssä suolalaukassa.

#### 4.1.3 Lihateollisuuden ongelmalliset laitteet

*L. monocytogenes* -bakteeria esiintyy liha- ja broilerituotteiden ja einesten raaka-aineissa, joten prosessin aikana mahdollisesti suoritettavan lämpökäsittelyn tulee olla riittävän tehokas tuhoamaan sen. Suurin riski tuotteen hygieenisen laadun kannalta onkin mahdollinen jälkikontaminaatio lämpökäsittelyn jälkeen (Tompkin ym. 1999). Kypsennettyjä lihavalmisteita prosessoivat laitteet voivat jälkikontaminoida tuotteen. Erityisesti monimutkaiset laitteet, joissa on hygieenisesti epäedullisia rakenteita, kuten viipalointi- ja kuutiointilaitteet sekä pakkauskooneet, ovat alttiita pitkäaikaisille *L. monocytogenes* -kontaminaatioille (Lundén ym. 2002a). Taulukossa 6 esitetään lihateollisuuden laitteiden ongelmakohtia Tompkinin (2002) tutkimuksessa.

Taulukko 6. Laitteiden *Listeria*-kontaminaatiolähteitä (Tompkin, 2002).

Laite	Kontaminaatiolähde	Tuote
Kuljetin	Ontto hammaspyörä	Makkara
	Ontot telat	Kypsä lihavalmiste
	Ontot tukitangot	Lihapihvit ja nakit
	Kulunut kuljetinhihna	Kypsä lihavalmiste
Viipalointilaite	Kuluneet tiivisteet	Leikkele
	Tuotejäämiä koneistossa	Pepperoni
Pakkauskoone	Koneen suojakannessa halkeama	Makkara
	Tuotetta työntävät terässauvat	Makkara

Samelis ja Metaxopolous (1999) tutkivat *L. monocytogenes* esiintymistä lihanjalostuslaitoksella. Normaalin päivittäisen pesun ja desinfioinnin jälkeen yksi laitoksen kuttereista ja maseerauslaitteista oli edelleen kontaminoitunut *L. monocytogenes*llä. Kutterissa oli rakenteita, jotka oli vaikea irrottaa pesuja varten ja osia, jotka eivät olleet ruostumatonta terästä. *L. monocytogenes*stä ja muita *Listeria*-lajeja esiintyikin jatkuvasti laitteessa. Sen sijaan maseerauslaitteen kontaminaatio-ongelmat johtuivat riittämättömästä puhdistusohjelmasta. Kun laitetta alettiin pestä tehokkaammin ja desinfioida päivittäin, *L. monocytogenes*stä ei enää todettu laitteessa.

Suihko ym. (2002) selvittivät *L. monocytogenes* esiintymistä liha-, siipikarja- ja kala- ja äyriäisvalmisteita tuottavissa laitoksissa. Kuljettimet havaittiin ongelmallisimmiksi laitteiksi ja niissä havaittiin *L. monocytogenes* -kontaminaatiota myös normaalin puhdistuksen jälkeen. Joillakin laitoksilla tietyt kannat esiintyivät sekä tuotannon aikana että pesujen jälkeen toistuvasti, mikä kertoo laitoksen pysyvästä kontaminaatiosta. *Listeria*-lajeja esiintyi Tompkinin (2002) mukaan kuljettimissa, joissa sellaisenaan syötäväksi tarkoitettuja tuotteita kuljetettiin, mm. silloin kun kuluneiden kuljetinhihnojen tai kuljettimien puhdistusta on hankaloitunut linjan sijainnista johtuen.

Aguado ym. (2001) tutkivat *L. monocytogenes* esiintymistä keitetyissä lihavalmisteissa ja valmisteiden kontaminaatioreittejä. Kantoja tyypittämällä pääteltiin, että lihavalmisteet olivat kontaminoituneet viipalointi- ja pakkausprosessissa. Tutkijat pitivät todennäköisenä, että viipalointikone oli pahin tuotteiden kontaminaatiolähde.

Lundén ym. (2002a) raportoivat erään *L. monocytogenes* -kannan siirtyneen kuutiointilaitteen mukana keitettyjä lihatuotteita valmistavalta laitokselta toiselle. Kantaa esiintyi kuutiointikoneen kuljetinhihnalla, leikkuuterissä, ulkopinnoilla, ohjauspaneelissa ja työkalusarjassa, jolla laite purettiin pesuja varten. *L. monocytogenes* saatiin eliminoitua laitteesta vasta, kun laitteen pesu- ja desinfiointiohjelmaa tehostettiin.

Lawrence ja Gilmour (1994) selvittivät *L. monocytogenes* esiintymistä siipikarjan lihaa prosessoivassa laitoksessa ja sen tuotteissa. *L. monocytogenes*stä esiintyi mm. kuljetinhihnoilla, laitteiden teräspinoilla ja viemäreissä. Raakaa lihaa käsittelevällä puolella 26 %:sta tuotantotiloista ja laitteista otetuista näytteistä eristettiin

*L. monocytogenes* ja vastaavasti kypsää lihaa käsittelevällä puolella näytteistä 15 % oli *L. monocytogenes* -positiivisia.

## 4.2 Havainnot suomalaisessa elintarviketeollisuudessa

Kaarina Aarnisalo, VTT Biotekniikka

Syksyllä 2001 käynnistyi kolmivuotiseksi suunniteltu "Hygieeniset laitteet elintarviketeollisuudessa" -projekti, jossa on mukana tutkimusosapuolina VTT Biotekniikka ja Helsingin yliopiston Eläinlääketieteellisen tiedekunnan Elintarvike- ja ympäristöhygienian laitos, yritysosapuolina kuusi suomalaista yritystä ja lisäksi Elintarvikkeiden tutkimussäätiö. Mukana on kaksi pesu- ja desinfiointiainevalmistajaa, kaksi siivous- tai kunnossapitoyritystä (huolto) ja kaksi laitevalmistajaa. Projektin päärahoittaja on Teknologian kehittämiskeskus (Tekes). Elintarviketeollisuus on mukana hankkeessa projektiin osallistuvien yritysten asiakasyrityksinä, joissa tehdään projektiin liittyviä tutkimuksia.

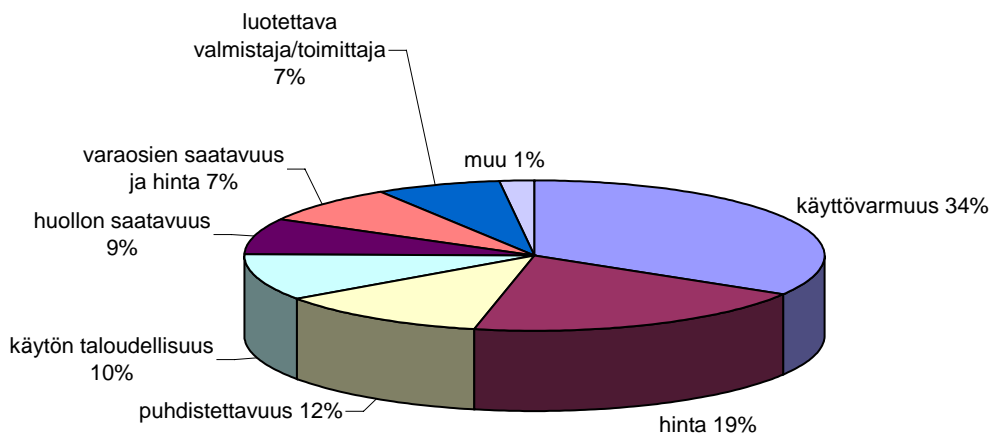
Projektin yhtenä tavoitteena on koota ja tuottaa tietoa siitä, mitkä ovat elintarviketeollisuuden ongelmallisimpia laitteita ja miksi nämä laitteet aiheuttavat ongelmia. Tiedon kokoamiseksi projektin puitteissa lähetettiin 184 suomalaiseen elintarvikerytykseen loppuvuonna 2001 kysely laitehygieniasta. Kyselyn vastausprosentiksi saatiin 15 %, jonka jälkeen keväällä 2002 kysely lähetettiin vielä uudelleen niille yrityksille, jotka eivät siihen olleet vastanneet. Näin saatiin vastausprosentiksi 24 % (44/184 vastaajaa). Kyselyn saatteessa pyydettiin vastaanottajaa toimittamaan kysely yrityksen sille henkilölle, joka parhaiten tuntee laitehygieniakysymykset. Suurin vastaajaryhmä oli yrityksen laatupäällikkö/hygieniavastaava (19/42 vastaajaa, 45 %).

Kyselyssä kysyttiin 34 kysymystä liittyen laitehygieniaan. Kysyttiin vastaajien taustatietoja, mitkä ovat ongelmallisimmat laitteet ja miksi, mistä laitteet hankitaan ja kuinka kotimaasta ja ulkomailta hankitut laitteet eroavat hygienianhallinnaltaan, laitteiden puhdistettavuudesta ja puhdistuksesta, yhteistyöstä laitehygieniaan vaikuttavien eri osapuolten välillä, laitteissa käytetyistä voiteluaineista ja tiedonhankinnasta laitehygieniakysymyksissä.

Valtaosassa yrityksistä työntekijöitä oli 10–90 välillä (27/42 vastaajaa, 64 %). Laitteinvestointeihin rahaa käytetään vuosittain keskimäärin 2,2 % (vaihteluväli oli 0,02–10%).

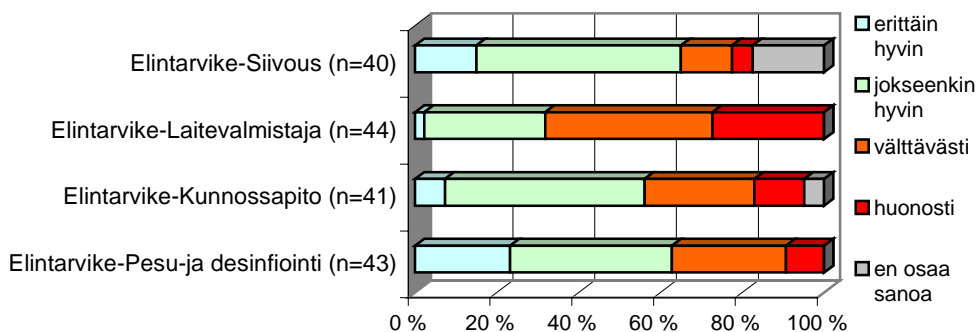
Ongelmallisimmiksi laitteiksi todettiin pakkauskoneet, kuljettimet, annostelukoneet, jäädyttimet ja siivutus koneet. Osittain siksi, että näitä laitteita löytyy lähes kaikilta elintarviketeollisuuden aloilta. Kyselyssä kysyttiin minkälaisia parannusehdotuksia toivottaisiin laitteisiin erityisesti. Vastauksissa toivottiin mm. laitteiden rakenteisiin selkeyttä, purkamisen ja kokoaminen mahdollisimman helpoksi. Kotelosuojien sisään ei saisi päästä esim. raaka-ainetta ja niiden tulisi olla helposti irrotettavia. Laitteiden tulisi olla vesipesun kestäviä, esim. elektroniikka voi olla ongelmana.

Tavallisimmat ja tärkeimmät laitteiden hankintamaat ovat Saksa ja Suomi, ja ulkomailta laitteista hankitaan 61–80 % (tavallisin vastaus). Laitteiden hankintaan vaikuttaa puhdistettavuus keskimäärin 12 %, käyttövarmuus oli tärkein tekijä ja sen osuus oli 34 % (kuva 5). Kyselyssä pyydettiin jakamaan 100 % päätökseen vaikuttavien eri tekijöiden kesken.



Kuva 5. Laitteiden ostopäätökseen vaikuttavat tekijät (n=38).

Tiedonkulkuun elintarvikeyrityksen ja siivous-, laitevalmistaja- sekä kunnossapito- ja huoltoyritysten välillä laitehygieniaan liittyvissä asioissa tarvitaan kyselyn perusteella tehokkuutta, erityisesti elintarvikeyrityksen ja laitevalmistajien kesken (kuva 6). Parhaiten tietoa laitehygieniakysymyksiin saadaan vastaajien mukaan pesu- ja desinfiointiainevalmistajilta.



*Kuva 6. Yhteistyön ja tiedonkulun sujuvuus laitehygieniakysymyksissä eri osapuolten välillä.*

# 5. Laitteiden rakenteet ja pintamateriaalit

## 5.1 Hygieenisen laitesuunnittelun periaatteet

Gun Wirtanen, VTT Biotekniikka

Raaka-aineet voivat toimia tuotteiden mikrobiologisen kontaminaation aiheuttajina. Tuote voi myöskin kontaminoitua mikrobeilla prosessoinnin ja pakkauksen aikana, mikäli laitteisto on hygienian kannalta huonosti suunniteltu ja se on vaikea puhdistaa ja desinfioida. Tällöin mikrobit voivat selviytyä ja lisääntyä laitteistojen halkeamissa ja kuolleissa osissa olevissa tuotejäätymissä. Vaikka tavoitteena on, että laite täyttää tarkoituksen, johon se on suunniteltu, hygieniavaatimukset voivat joskus olla ristiriidassa toiminnallisten vaatimusten kanssa. Yleensä tällaisissa tapauksissa voidaan löytää hyväksyttävissä oleva kompromissiratkaisu. Mikäli kompromissiin ei päästä ja tuoteturvallisuuden kannalta hygieniavaatimusten täyttäminen on välttämätöntä on tingittävä laitteen toimintavaatimuksista. Laitesuunnitteluinsinööreillä on yleensä hyvä käsitys elintarvikereprosessien tarvittavista vaatimuksista ja ratkaisumalleista prosessiturvallisuuden, sähkön, mekaniikan, massan- ja energiansiirron näkökulmista. Hygieeninen näkökulma on usein saanut vähemmän huomiota. Tämä on kuitenkin tärkeää elintarviketeollisuudessa sekä tuotteiden mikrobiologisen turvallisuuden että laadun kannalta (Curiel ym., 1993b).

Hygieenisen suunnittelun tulisi perustua mekaniikan, prosessin ja mikrobiologian yhdistämiseen oikealla tavalla. Hygieniavaatimukset tulisi huomioida heti prosessia suunniteltaessa, sillä niiden täyttäminen voi kasvattaa laitteen elinikää, vähentää kunnossapitoa ja johtaa tuotantokustannusten alenemiseen. Tuotteen kontaminaatioherkyys vaikuttaa suurelta osalta laitteiston hygieniavaatimuksiin prosessoinnin ja pakkauksen aikana. Esimerkiksi kuivat tuotteet eivät ole mikrobeille edullinen kasvualusta ja siksi laitteistojen vaatimukset eivät ole yhtä tiukat kuin vesipitoisempien tuotteiden valmistuksessa käytettäville laitteistoille (Curiel ym., 1993b).

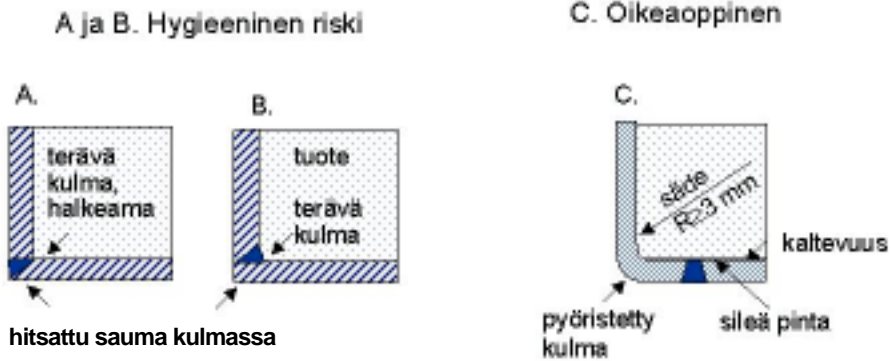
Yleisohjeessa 8 käsitellään hygieenisen ja aseptisen elintarviketuotantolaitteiston oleellisia suunnitteluperiaatteita. Tätä yleisohjetta voidaan soveltaa niin panoskuin jatkuvatoimisiin, avoimiin ja suljettuihin prosessilaitteistoihin, jotta laitteet ja järjestelmät eivät vaikuttaisi haitallisesti tuotteen mikrobiologiseen turvallisuuteen ja laatuun. Yleisohjeessa 8 julkaistu katsaus hygieenisestä suunnittelusta

on EHEDG-järjestön hyväksymä. Siinä käsitellään elintarviketuotantolaitteistojen toiminnallisia vaatimuksia hygienian kannalta, hygieenisen suunnittelun periaatteita, materiaalivalintoja ja valmistusta (Curiel ym., 1993b).

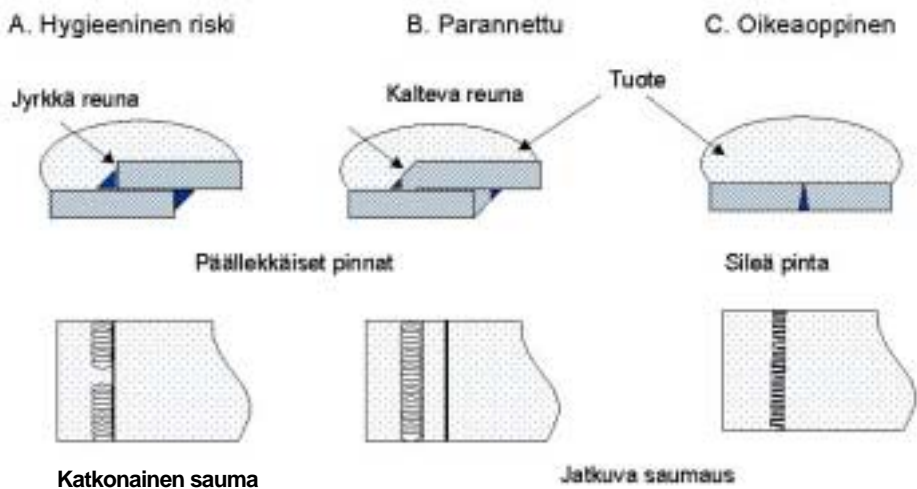
### **5.1.1 Avointen prosessilaitteiden ja -järjestelmien hygieeninen suunnittelu**

Tämä yleisohje (Dokumentti 8) käsittelee avointen prosessilaitteistojen olennaisimpia hygieniavaatimuksia. Siinä kuvataan laitteistojen valmistuksessa ja rakentamisessa käytettävät menetelmät antaen esimerkkejä siitä, kuinka olennaisimmat suunnittelukriteerit voidaan saavuttaa avoimissa prosessointilaitteissa. Erikoistuotteiden laitteille ja valmistusprosesseille voi olla tarpeen tiukemmat erikseen määriteltävät vaatimukset. Jos vaatimuksia ei voida täyttää, puhdistettavuus täytyy osoittaa testaamalla. Ympäristöolosuhteita ei ole otettu huomioon tässä yleisohjeessa. Myös avoimiin prosesseihin sovellettavat ohjeet ympäristöön vaikuttavista aiheista on julkaistu erikseen. Tässä yleisohjeessa käsitellään elintarvikkeiden kanssa kosketuksissa olevien laitteiden osien materiaalivalintoja, pinnan laatua, kulmia (kuva 5), saumoja (kuva 6), liitoksia (kuva 7), laakereita, hihnoja (kuva 8), kansien ja suojakuorien liittäminen laitteisiin (kuva 9) ja tankkeihin (kuva 10), lisälaitteiden läpiviennit (kuvat 11–12) ja rakenteiden sekä järjestelmien asennusta (kuvat 13–14), pintojen kuivattavuutta, ei-kosketuksissa olevien elintarvikelaitteiden osien suunnittelussa huomioitavia asioita yms. (Curiel ym., 1996).

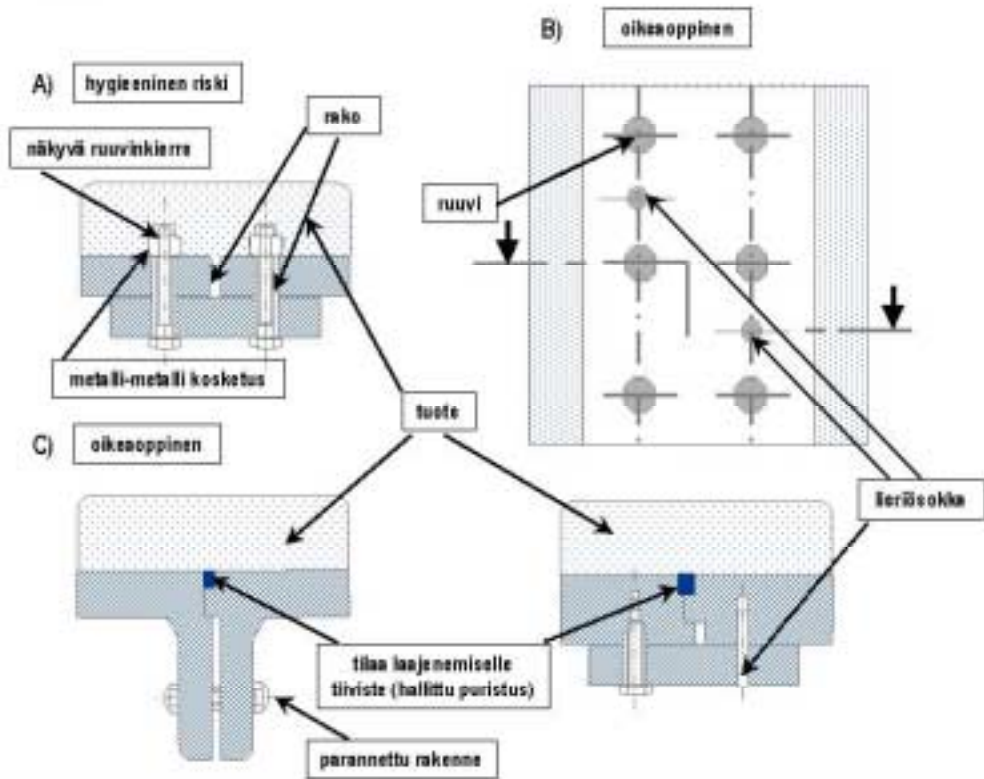




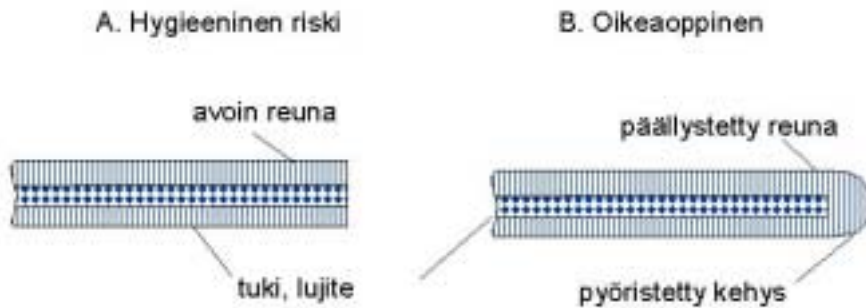
Kuva 5. A–B) Hygieeninen riski kulmassa esiintyy, kun kulma on suorakulmainen ja sauma on kulmassa. C) Hygieenisessä ratkaisussa saumakohta on siirretty kulmasta ja lisäksi kulma on pyöristetty (Curiel ym., 1996).



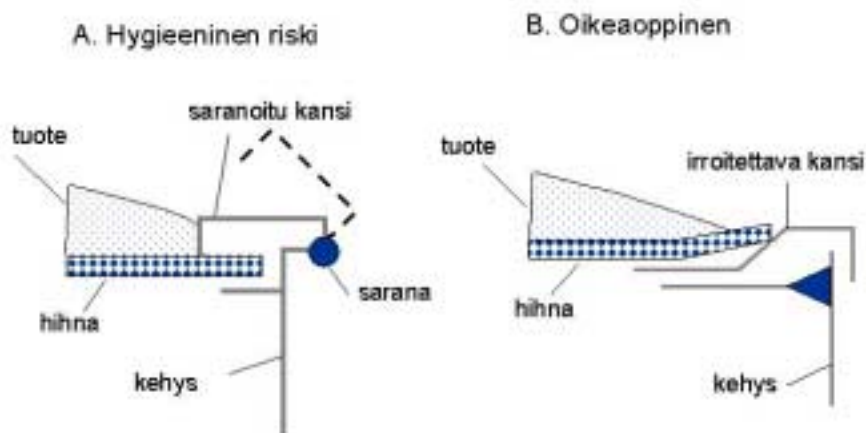
Kuva 6. Hitsatut saumat: A) hygieenisesti epäilyttävä sauma, B) parannettu saumamalli ja C) oikeaoppinen sauma (Curiel ym., 1996).



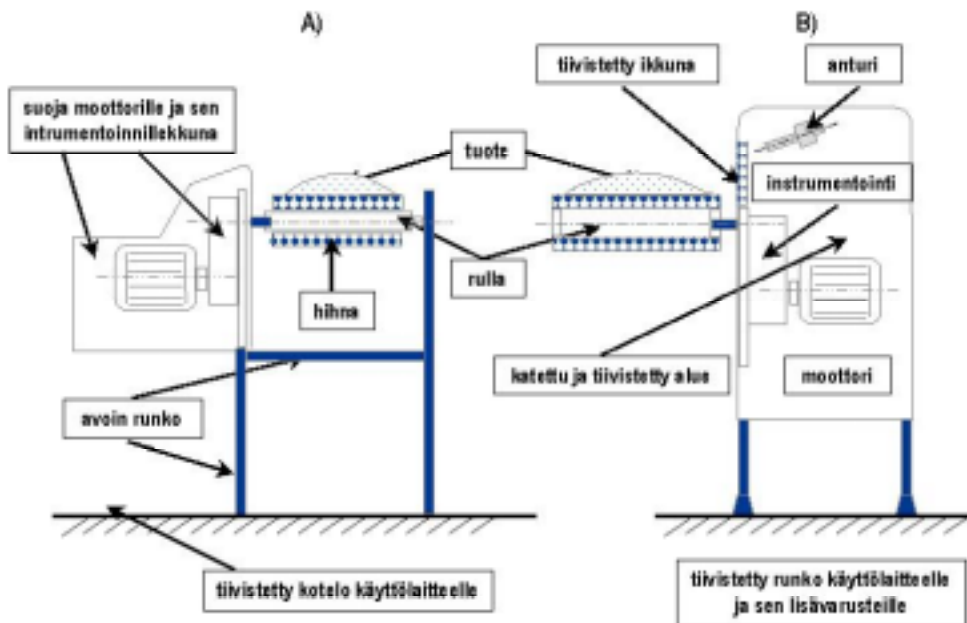
Kuva 7. Ruuviliitokset: A) hygieenisesti epäilyttävä liitos, jossa ruuvi on elintarvikepuolella, B–C) parannetut liitokset (Curiel ym., 1996).



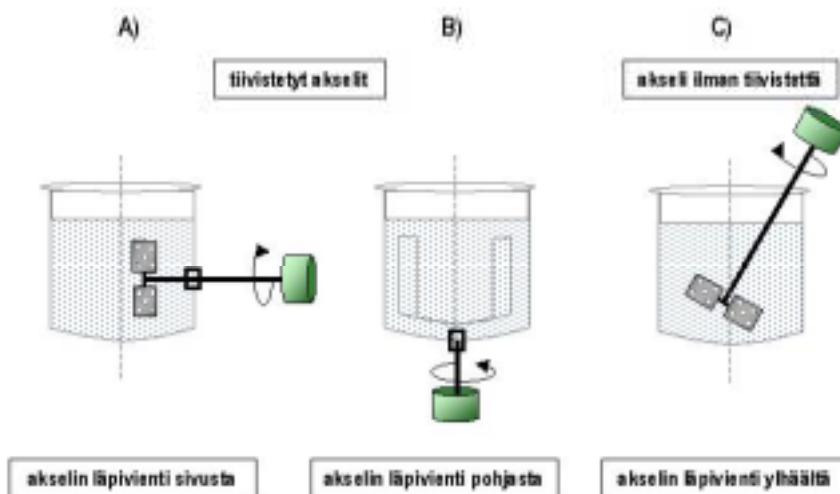
Kuva 8. Hihnan vahvistaminen A) virheellisellä ja B) oikeaoppisella tavalla (Curiel ym., 1996).



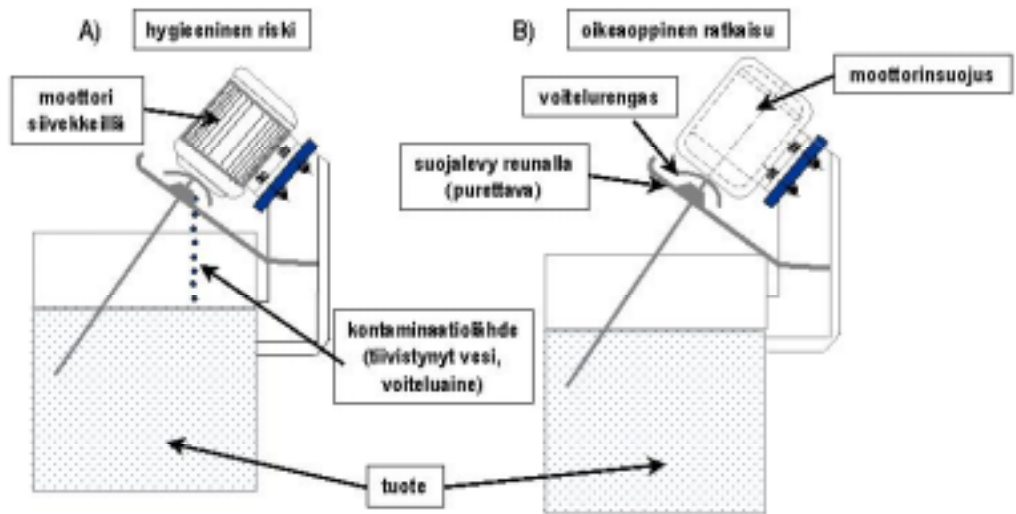
Kuva 9. Kannen asentaminen tankkiin A) virheellisellä ja B) oikeaoppisella tavalla (Curiel ym., 1996).



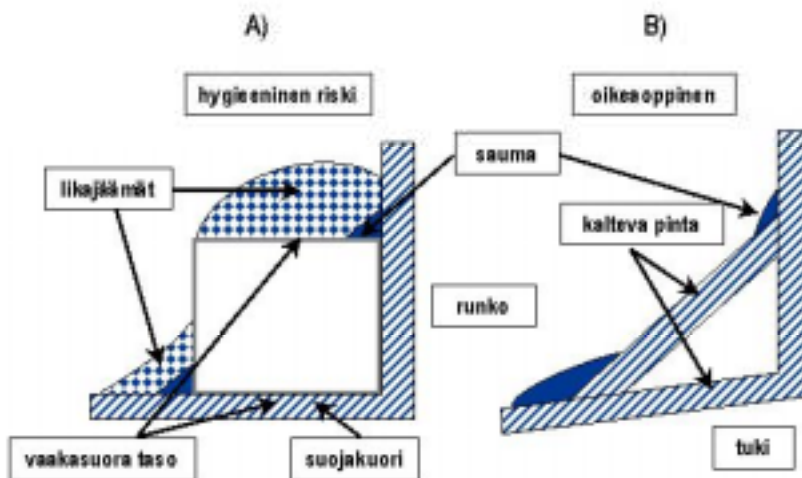
Kuva 10. Suojakuoren oikeaoppinen asentaminen linjalle (Curiel ym., 1996).



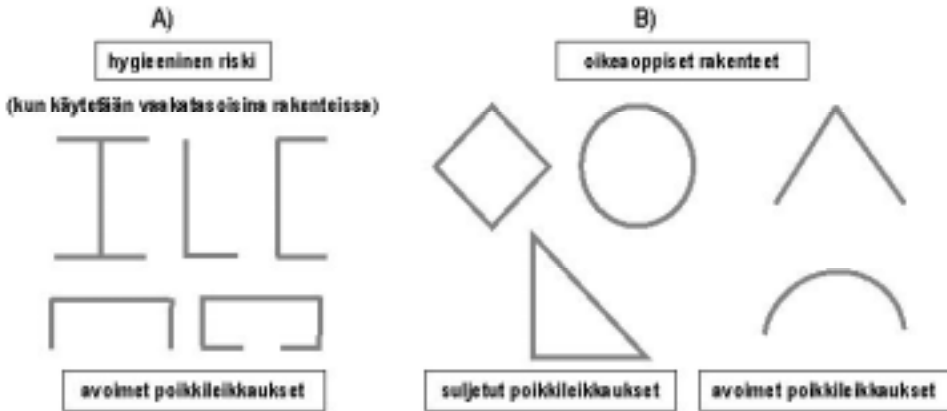
Kuva 11. Lisälaitteen, esim. sekoittimen, oikeaoppinen asentaminen tankkiin (Curiel ym., 1996).



Kuva 12. Tankissa olevan tuotteen suojaaminen lisälaitteesta tippuvasta nesteestä, esim. kondenssivedestä tai öljystä: A) hygieeninen riski ja B) oikeaoppinen ratkaisu (Curiel ym., 1996).



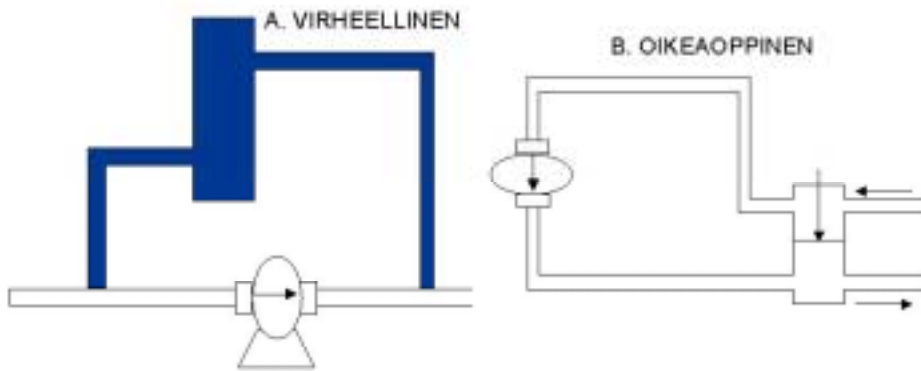
Kuva 13. Rakenteiden asennukset: A) virheellisellä ja B) oikeaoppisella tavalla (Curiel ym., 1996).



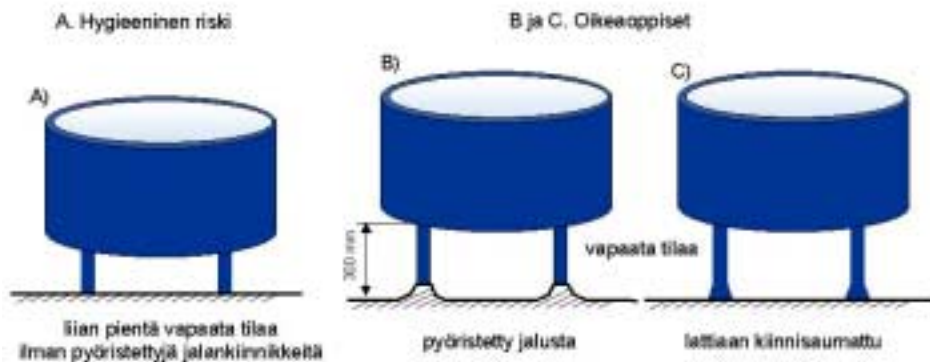
Kuva 14. Rakenteiden läpileikkaukset: A) virheellisellä ja B) oikeaoppisella tavalla tehtynä (Curiel ym., 1996).

### 5.1.2 Hygieeninen suunnittelu suljettuja elintarvikeprosessointilaitteita varten

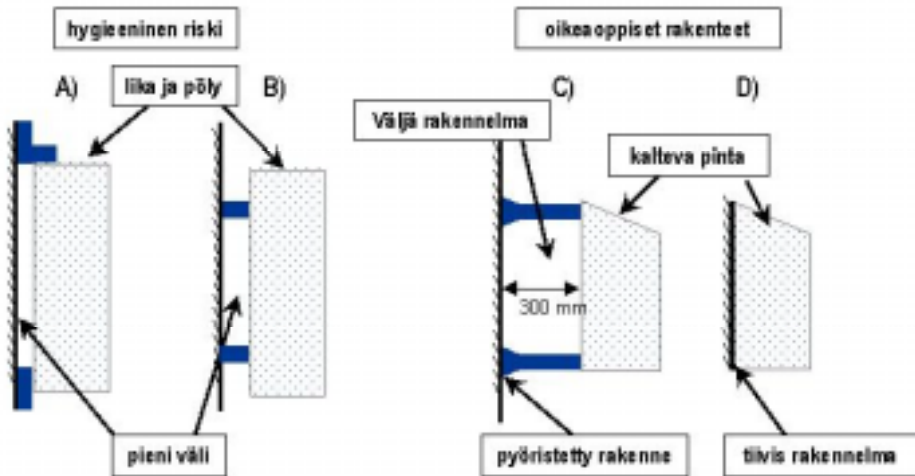
Hygieenisten rakennekriteereiden saavuttamiseksi on yleisesti useita erilaisia ratkaisuja. Yleisohjeessa 10 esitellään, miten hygieenisen suunnittelun periaatteita on sovellettavissa suljettuihin prosessilaitteistoihin. Tässä yleisohjeessa kuvataan myös valmistusmenetelmiä, joilla suljettujen prosessien hygieenisyyttä voidaan ylläpitää. Huolta on pidettävä siitä, ettei laitteen osien hygieenisissä ominaisuuksissa jousteta, kun uusitaan tai laajennetaan prosessilinja siten, että linjaan muodostuu uusia varjoalueita ja kuivumattomia alueita. Tässä dokumentissa esitetyt esimerkit havainnollistavat rakenneperiaatteita, ja on muistettava, että muita hyväksyttäviä ratkaisuja on olemassa. Ohjeessa on esimerkkiratkaisuja siitä, miten halkeamia ja katvealueita (kuva 15) voidaan välttää sekä miten tuotantolinjan prosessilaitteita voidaan yhdistää, jotta puhdistus ja laitteen kuivuminen toimitsevat esteettömästi (kuvat 16–18). Huomiota kiinnitetään erityyppisiin liitoskohtiin, tiivistäisiin (kuva 19), antureiden läpivientiin (kuva 20), eristykseen (kuva 21), sisäkulmien muotoon ja pinnankarheuteen (Curiel ym., 1993a).



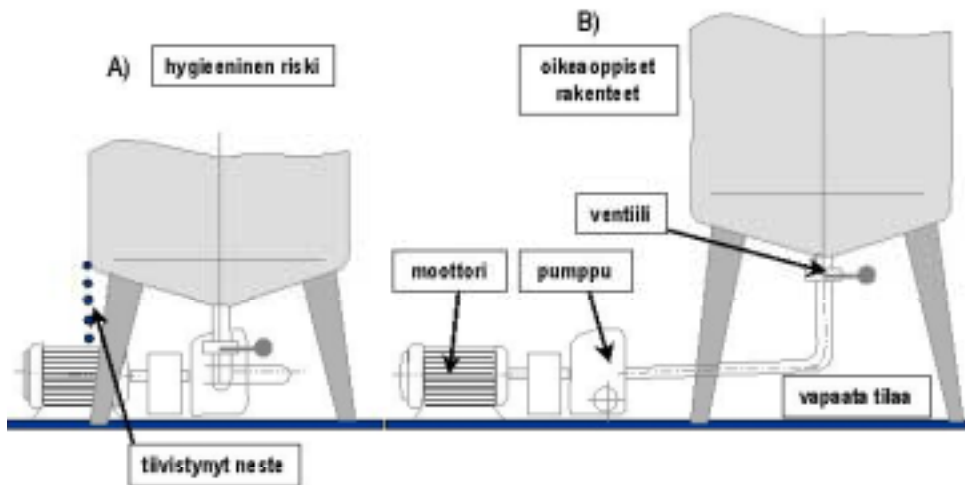
Kuva 15. Laitteiden asentaminen linjalle A) hygieenisesti virheellisellä tavalla, mikä aiheuttaa katvealueen, ja B) oikeaoppisella tavalla ilman kuolleita alueita (Curiel ym., 1993a).



Kuva 16. Laitteiden kiinnitys lattiaan, jotta pesutoimet ja huollot mahdollistuisivat: A) hygieenisellä riskillä ja B–C) oikeaoppisella tavalla (Curiel ym., 1996).

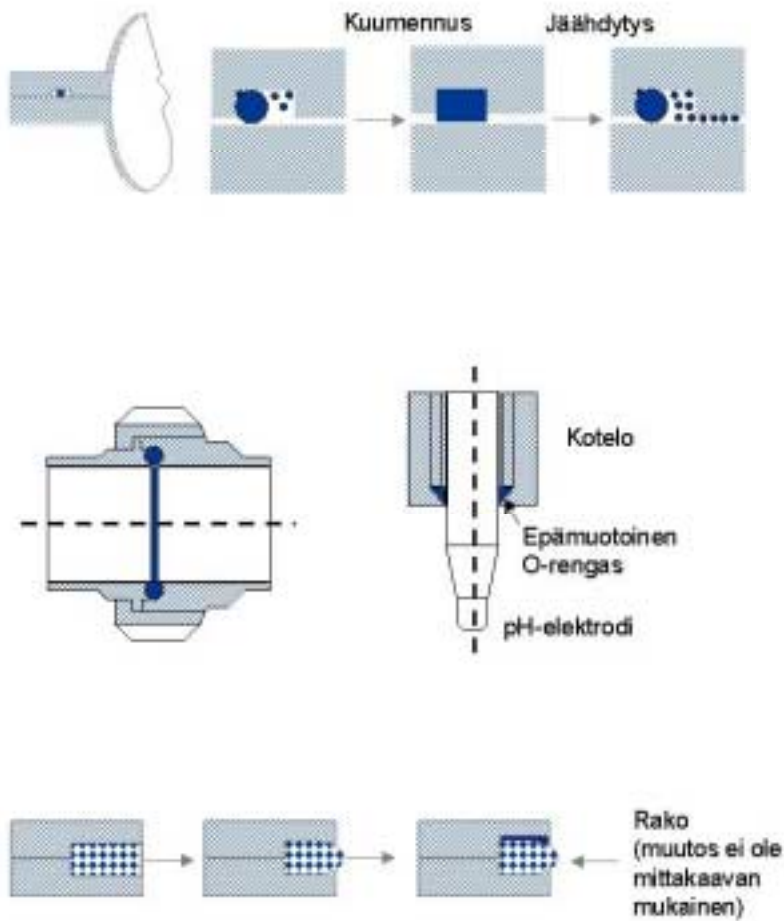


Kuva 17. Laitteiden kiinnitys seinään jotta pesutoimet ja huollot mahdollistuisivat: A–B) hygieenisellä riskillä ja C–D) oikeaoppisella tavalla (Curiel ym., 1996).

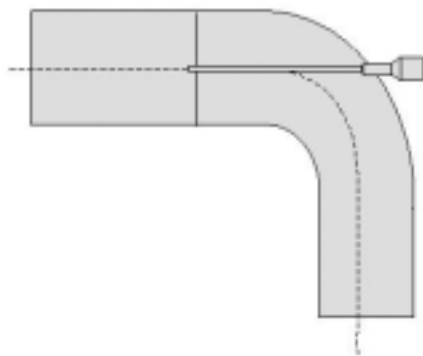


Kuva 18. Pääsy laitteiden alle, jotta huollot olisivat mahdollisia: A) hygieeninen riski ja B) oikeaoppinen tapa (Curiel ym., 1996).

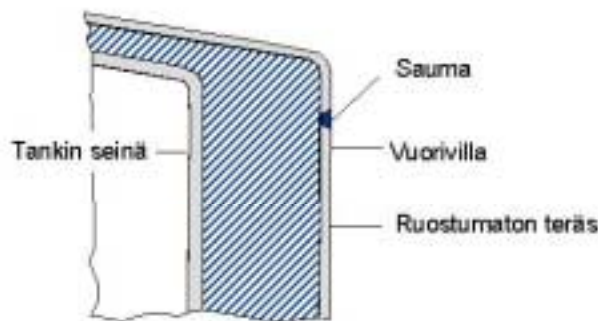




*Kuva 19. Tiivisteiden käyttö (vrt. kohta 5.3.6): o-renkaan käyttö virheellisesti (ylhäällä) ja oikeaoppisesti (keskellä). Tiivistemateriaalin valinnassa on huomioitava materiaalin ominaisuudet (alhaalla), ettei hygieenisiä epäkohtia muodostu prosessin aikana (Curiel ym., 1993a).*



*Kuva 20. Oikeaoppinen anturiläpivienti, joka ei aiheuta katvealuetta linjalla (Curiel ym., 1993a).*



*Kuva 21. Putken tai tankin oikeaoppinen eristäminen (Curiel ym., 1993a).*

## 5.2 Laitteiden hygieenisesti ongelmalliset rakenteet ja erilaiset ratkaisumallit

Kaisa Saloniemi, Elintarvike- ja ympäristöhygienian laitos, Helsingin yliopisto  
Gun Wirtanen, VTT Biotekniikka

### 5.2.1. Purettavuus ja pestävyys

Elintarviketeollisuuden laitteiden puhdistamisen ja ylläpidon helppous tulee ottaa huomioon jo laitteen suunnitteluvaiheessa. Laitteen pitää olla helposti purettavissa osiin puhdistusta varten ja uudelleen kasattavissa sen jälkeen, ellei laitetta puhdisteta ns. CIP-tekniikalla (Hayes, 1992). Irrotettavia osia tulisi olla mahdollisimman vähän ja niiden tulisi olla kooltaan ja muodoltaan sellaisia, että yksi työntekijä pystyy käsittelemään niitä. Osia varten tulisi olla sopivia kärryjä, telineitä tms., jotta niitä ei tarvitse laskea lattialle puhdistuksen aikana. Laite pitäisi voida purkaa ja koota ilman työvälineitä tai mahdollisimman yksinkertaisten välineiden avulla (Hayes, 1992).

Elintarvikkeen kanssa kosketuksissa olevien pintojen tulee kestää niin elintarvikkeita kuin pesu- ja desinfiointiliuoksia kaikissa käytetyissä olosuhteissa (Curiel ym., 1993b). Ongelmia voi syntyä esimerkiksi silloin, kun laite on valmistettu ruostumattomasta teräksestä, mutta ruuvit ja mutterit ovat ruostuvia. Jos laitteessa on osia, jotka eivät kestä normaalia pesua ja puhdistusta, ne tulee voida helposti irrottaa pesujen ajaksi. Laitteiden hygienian ja pestävyyden kannalta on tärkeää välttää pieniä taskuja ja rakoja, joiden peseminen on vaikeaa tai mahdotonta (Curiel ym., 1993b). Näihin koloihin voi kertyä elintarviketta ja mikrobit voivat lisääntyä niissä, koska pesu- ja desinfiointiliuokset eivät tunkeudu niihin. Koloissa elävät bakteerit voivat kontaminoida prosessoitavan elintarvikkeen (kuvat 2–3). Kohdassa 5.1 kerrotaan tarkemmin laitteiden hygieenisistä rakenteista myös puhdistamisen kannalta.

Laitteiden moottorit tulee sijoittaa siten, että ne eivät häiritse laitteen puhdistusta eikä niistä voi siirtyä kontaminantteja laitteisiin. Ideaalitapauksessa moottorit sijoitetaan tiloihin, joissa ei käsitellä elintarvikkeita (Sprenger, 1995). Moottorien ulkopintojen tulee olla sileitä ja helposti puhdistettavia ja tiiviitä siten, että laite voidaan pestä kunnolla (kuva 12). Erityisesti kaikki sähkökomponentit tulee olla ehdottoman vesitiiviisti suojattuja (Hayes, 1992; Curiel ym., 1996).

## 5.2.2 Eri laitteiden hygieenisesti ongelmalliset rakenteet ja ratkaisumallit

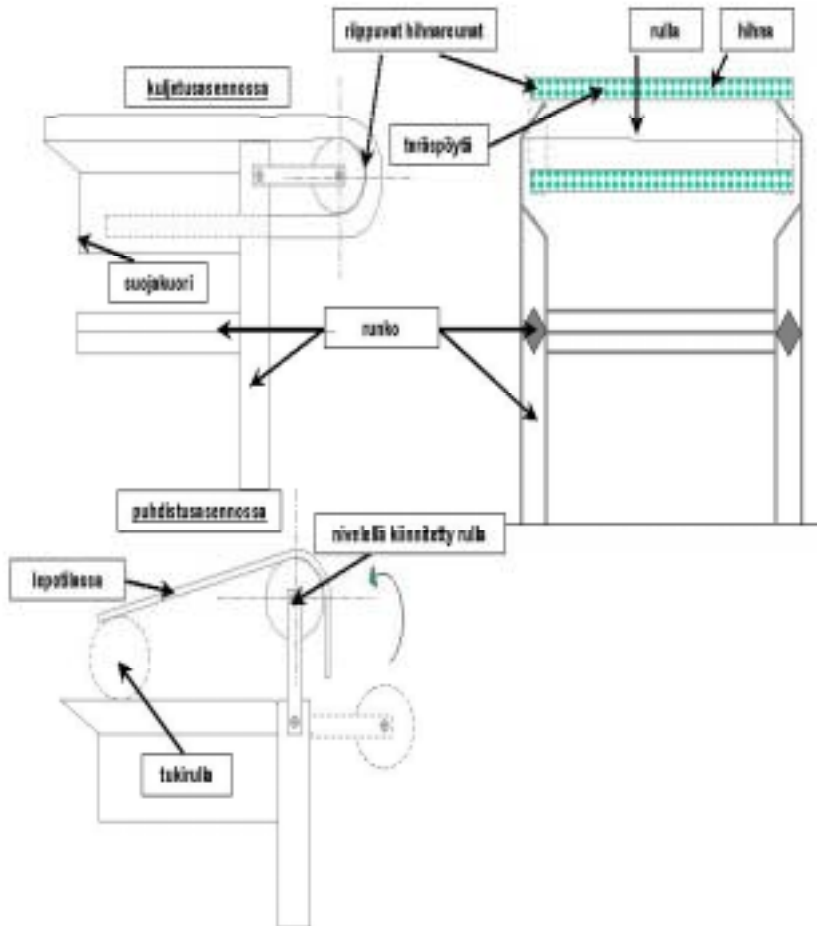
Tompkinin ym. (1999) mukaan *L. monocytogenes* -kontaminaatio on yleinen mm. täyttö- ja pakkauskoneissa, kuljettimissa, siivutus- ja kuutiointikoneissa, sekoittajissa ja spiraalijäähdyttimissä. Laitteiden tukirakenteet, moottorien suojarakenteet ja ohjauspaneelit ovat monissa laitteissa mahdollisia *L. monocytogenes* pesiytymispaikkoja.

### Kuljettimet

Erityisesti kuljettimet ovat merkittäviä ympäristöpatogeenien pesiytymispaikkoja. Kuljettimet voivat lisäksi kulkea lähes koko tuotantoalueen halki ja ne voivat siten levittää kontaminaatioita (Cotton & White, 1992). Kuljettimissa ongelmallisia rakenteita *L. monocytogenes* kannalta ovat ontot päätyrullat, huokoiset kuljetinhihnat ja hihnojen kaapimet (Tompkin ym., 1999). Miettisen ym. (1999) tutkimuksessa erään jäätelöä valmistavan laitoksen *L. monocytogenes* -ongelmat johtuivat pääasiassa pakkauskoneen hihnakuljettimen huonosta hygieniasta. Kuljetinhihnan rakenteita muuttamalla ja pesuja tehostamalla *L. monocytogenes* saatiin eliminoitua laitoksesta.

Hihnakuljettimien hihnat tulee voida löystyttää, jotta hihnan ja päätyrullien alla oleva tila ja hihna molemmin puolin saadaan puhdistettua. Hihnakuljetin tulee voida pestä molemmin puolin hihnan pyöriessä (kuva 22). Hihnan materiaalien ja rakenteiden tulee olla sellaisia, että elintarvikkeita ja likaa tarttuu kiinni mahdollisimman vähän ja että hihna puhdistuu helposti pesuissa. Jatkuva hihnan pesu ja huuhtelu tuotannon aikana on suositeltavaa (Hayes, 1992; Curiel ym., 1996). Toisaalta hihna ei saa olla märkä pesujen takia. Hihnaa voitaneen tulevaisuudessa puhdistaa ultraäänellä taukojen aikana.

Kuljettimia ei saa laitoksessa sijoittaa liian korkealle, jolloin niiden puhdistaminen, desinfiointi ja tarkistaminen on vaikeaa tai lähelle lattiaa, jolloin kontaminaatoriski on suuri. Jos kuljetinhihna kuitenkin sijoitetaan korkealle, se tulee voida laskea puhdistuksen ajaksi tai laitteeseen tulee asentaa turvalliset rappuset ja telineet puhdistusta varten (Curiel ym., 1996; Tompkin ym. 1999).



Kuva 22. Hihnan oikeaoppinen asentaminen prosessointia ja puhdistamista varten (Curiel ym., 1996).

### Automaattiset injektiosuolauskoneet

Automaattiset injektiosuolauskoneet ovat yleisesti käytössä eri elintarviketeollisuuden aloilla. Suolauslaitteet ja suolalaukan kierrättäminen ovat merkittäviä *L. monocytogenes* -kontaminaatiolähteitä. Suolalaukkaan kertyy kierrätyksen aikana esimerkiksi kaloista rasvaa ja proteiineja, jotka voivat jäädä huonosti puhdistuvaan suolauskoneeseen. Nämä taas toimivat ravintona ja kiinnittymisalustana bakteereille, jolloin suolauskone kontaminoi suolattavat elintarvikkeet (Autio ym. 1999).

Suolalaukan kierrättämistä perustellaan usein kustannussyillä. Injektio- menetelmällä toimivissa automaattisissa suolauslaitteissa suolalaukan kierrättä- misestä voitaisiin luopua käyttämällä elintarvikkeet tunnistavaa sensoria, jolloin laite ruiskuttaisi suolalaukkaa vain elintarvikkeisiin eikä sitä menisi hukkaan.

### Viipalointi- ja kuutiointi- yms. laitteet

Erityisesti kypsien tuotteiden pienentämiseen käytetyissä laitteissa ei saa esiintyä *L. monocytogenes* -kontaminaatiota. Viipalointi- ja kuutiointilaitteissa on kuiten- kin monimutkaisia, hygienisesti huonoja rakenteita. Esimerkiksi teräpakat ovat usein hankalia purkaa pesuja varten. Lundénin ym. (2002a) tutkimuksessa eräästä kuutiointikoneesta eristettiin toistuvasti vuosien ajan tietty *L. monocytogenes* -kanta. Sitä esiintyi mm. laitteen leikkuuterissä ja ulkopin- noilla.

Teräpakkojen tulisi olla helposti purettavissa ja puhdistettavissa. Pakkojen tulisi olla irrotettavia ja mahdollisuuksien mukaan teräpakkoja tulisi olla kahdet: toisen pakan ollessa käytössä toinen olisi pesussa. Myös jatkuva pesu linjan toimiessa voi parantaa laitteen hygieniää (Hayes, 1992). Terät eivät kuitenkaan saa olla märkiä käytön aikana.

### Spiraali-jäähdyttimet

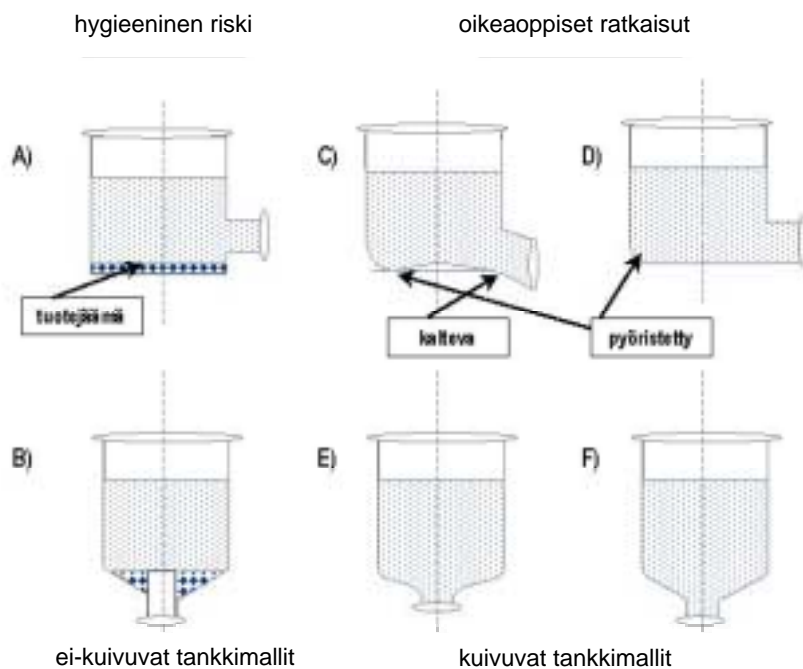
*L. monocytogenes* on eristetty spiraali-jäähdyttimissä kuljettimista, tukirakenteista ja ilmankiertolaitteista. Kuljettimilta putoavat elintarvikkeet on vaikea puhdistaa laitteen tukirakenteilta ja spiraalin alta. Ilmankiertolaitteiden aiheuttama kova ilmavirtaus voi levittää sekä likaa että kontaminantteja. Runko-osat tulee olla vinoutettuja, jotta lika huuhtoutuu helposti pois. Kuljetinta voidaan pestä myös tuotannon aikana. Ultraäänipuhdistusta voitaneen tulevaisuudessa soveltaa spiraali- jäähdyttimien hihnakuljettimien puhdistamiseen. Huoneessa, jossa spiraali-jäähdytin sijaitsee tulee olla riittävästi tilaa pesua varten.

### Putkistot ja tankit

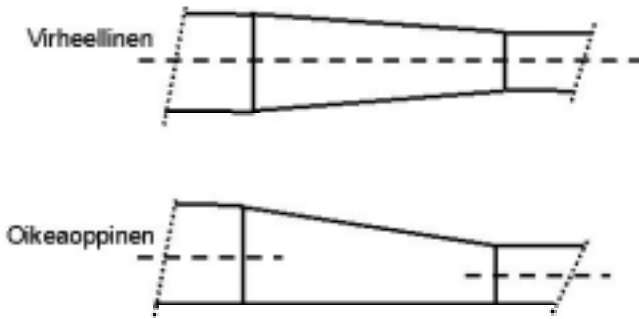
Tankkien ja säiliöiden pitää olla suunniteltu siten, että ne tyhjenevät itsestään (kuva 23). Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tankista ulosvievä putki sijoite- taan tankin alimpaan kohtaan eikä putkea saa liittää siten, että putki tunkeutuu

säiliön sisään (Curiel ym., 1993a, 1996). Tällä estetään elintarvikkeiden ja pesuliuosten kertyminen säiliön pohjalle (Hayes, 1992).

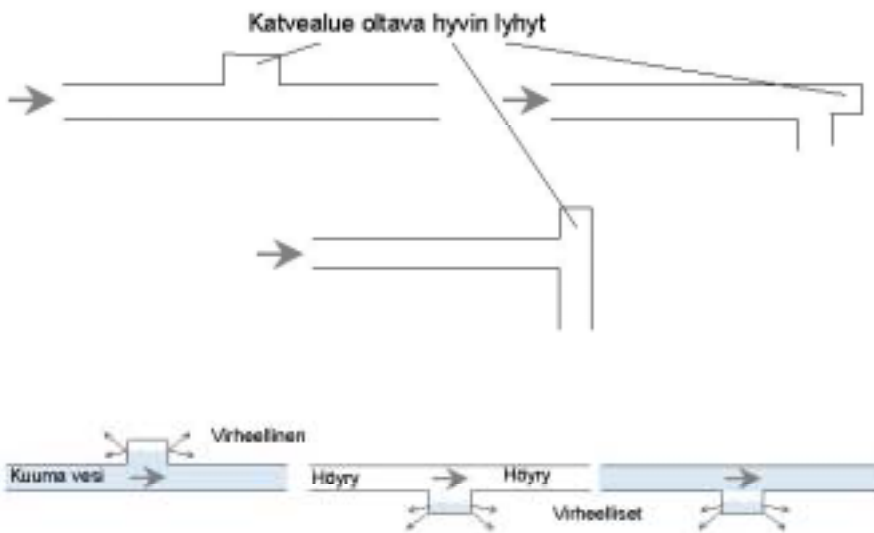
Putkien tulee olla hieman kallistettuja nesteen kulkusuuntaan, jotta niihin ei jää elintarvikkeita tai pesuliuoksia (kuvat 23–24). Putkistojen tulee olla riittävästi tuettuja, jotta ne eivät taivu mutkalle, koska mutkiin voi kertyä elintarviketta tai pesuliuoksia (Curiel ym., 1993a, b, 1996). Putkistoissa tulee mahdollisuuksien mukaan välttää ns. kuolleita alueita (kuva 25), joihin voi kertyä elintarviketta tai likaa (Hayes, 1992; Curiel ym., 1993a).



Kuva 23. Esimerkkejä tankkien kuivumisesta: A–B) hygieenisesti virheellisellä ja C–F) oikeaoppisella tavalla (Curiel ym., 1996).



Kuva 24. Putkien kuivumismahdollisuudet ovat asennustöistä riippuvaisia: virheellinen ja oikeaoppinen asennus (Curiel ym., 1993a).



Kuva 25. Putkitöissä on vältettävä erityyppisten kuolleiden alueiden ja katve-alueiden muodostumista (Curiel ym., 1993a).



## 5.3 Rakennemateriaalit ja niiden ominaisuudet

Kaarina Aarnisalo, VTT Biotekniikka

Elintarviketeollisuudessa käytettävien materiaalien tulee täyttää joitakin erityisvaatimuksia. Standardin EN 1672-2: 1997 "Elintarvikelineet. Perusteet. Osa 2: Hygienia-vaatimukset" mukaan materiaalin pinnan ja pinnoitteiden on oltava kestäviä, puhdistettavissa olevia ja tarvittaessa desinfioitavissa olevia, niissä ei saa olla rakoja, niiden on kestävä tarkoitettuun käytössä halkeilematta, lohkeilematta, hilseilemättä ja kulumatta niin, että ei-toivottujen aineiden tunkeutuminen elintarvikkeeseen estyy. Materiaalien on sovellettava tarkoitettuun käyttöön. Lisäksi materiaalien tulisi olla verraten edullisia ja helposti saatavilla olevia (Landré, 1987).

Standardin EN 1672-2: 1997 mukaan elintarvikealueella käytettävien materiaalien on yleisten vaatimusten lisäksi oltava tarkoitetuissa käyttöolosuhteissa korroosionkestäviä, myrkyttömiä ja imemättömiä. Materiaalit eivät saa aiheuttaa elintarvikkeeseen ei-toivottuja haju-, väri- tai makumuutoksia, eivätkä ne saa myötävaikuttaa elintarvikkeen kontaminoitumiseen, eikä niillä saa olla muitakaan haitallisia vaikutuksia elintarvikkeeseen. Pintojen on oltava puhdistettavia ja tarvittaessa desinfioitavia. Tästä johtuen niiden on oltava sileitä, yhtäjaksoisia ja tiiviitä. Pinta on muotoiltava ja viimeisteltävä siten, että valmistuksen joutuminen vahingossa elintarvikealueen ulkopuolelle estetään niin hyvin kuin mahdollista ja estetään myös valmistuksen palautuminen takaisin. Pinnat on viimeisteltävä niin, ettei valmistetta pääse kerääntymään pieniin rakoihin, mikä voisi aiheuttaa kontaminaatiovaaran. Pintojen tulee olla inerttejä elintarvikkeille ja pesu- ja desinfiointiaineille normaalissa käytössä eivätkä ne saa absorboitua elintarvikkeisiin. Pintojen tulisi olla mekaanisesti stabiileja, eikä niissä saisi olla ruostetta.

Edelleen standardin EN 1672-2: 1997 "Food processing machinery – Basic concepts – Part 2: Hygiene requirements" mukaan elintarvikkeeseen koskemattomalla alueella olevien pintojen on oltava korroosionkestävää materiaalia tai materiaalia, joka on käsitelty niin, että se on korroosionkestävä (pinnoitettu tai maalattu). Lisäksi pintojen on oltava puhdistettavissa olevia ja tarvittaessa desinfioitavissa olevia eivätkä ne saa aiheuttaa elintarvikkeen kontaminaatiota eikä niillä saa olla haitallista vaikutusta elintarvikkeeseen.

Materiaalien, jotka eivät ole tuotteen kanssa kosketuksissa, tulee olla mekaanisesti stabiileja, tasaisiksi viimeistelyjä, ruostumattomia ja helposti puhdistettavia. Laitteistojen maalaaminen on ei-toivottua, eivätkä pinnat saisi olla maalattuja ainakaan tuotteen kanssa kosketuksissa olevissa osissa. Mikäli pintoja, jotka eivät ole tuotteen kanssa kosketuksissa, on maalattu, ne eivät saisi olla kohdissa, joissa pinnoilta voi hilseillä vanhaa maalipintaa tuotteeseen (Curiel ym., 1993b; Forsythe & Hayes, 1998).

Pinnanlaadun määrittämisessä voidaan käyttää seuraavia keinoja (Landré, 1987):

- käytetyn menetelmän spesifikaatio (esim. hiominen sopivalla karkeudella)
- standardit
- pinnankarheuden ( $R_a$ ) spesifikaatio ISO 468 "Surface roughness – Parameters, their values and general rules for specifying requirements" ja ISO 4287/1 "Surface roughness – Surface and its parameters" mukaisesti.

Kun laitteissa käytetään ja yhdistellään erilaisia materiaaleja, tulee muistaa, että esim. pesuliuos voi toimia elektrolyytinä ja eri materiaalit galvaanisena parina (Commeau, 1987).

### 5.3.1 Teräs

Elintarvikekoneiden tavallisin rakennemateriaali on austeniittinen ruostumaton teräs. Austeniittiset teräkset sisältävät erittäin vähän hiiltä, mutta suuria määriä joitakin muita metalleja, kuten kromia ja nikkeliä (Forsythe & Hayes, 1998). Ruostumattoman teräksen korroosionkestävyyden saa aikaan lähinnä juuri sen suuri kromipitoisuus, joka on 12 % tai enemmän (Marriott, 1994). Ruostumattomuus johtuu teräksen pinnalle muodostuvasta kromioksidikerroksesta hapen läsnäollessa (Forsythe & Hayes, 1998). Tämän lisäksi kestävyteen vaikuttavat myös muut aineet kuten molybdeeni, typpi, kupari, titaani, niobium, rikki ja hiili (Marriott, 1994). Elintarvikelaitteistoihin sellaisenaan sopivia teräslevyjä ja -putkia on saatavissa runsaasti. Mikäli pinta ei prosessoinnissa vaurioidu, ei tällaista pintaa tarvitse käsitellä. Jos käytetty teräslaatu on sopimaton tai laitteessa on esim. hitsaussaumojia, voidaan pinta hioa (grinding), kiillottaa, painekiillottaa (burnishing) tai lasikuulapuhaltaa sen saamiseksi sileäksi (Landré, 1987). Elintarvikekoneiden rakenteisiin soveltuvia teräksiä löytyy AISI- (American Iron and Steel Institute), DIN- (Deutsches Institut für Normung) ja ACI- (Alloy Designations for Cast Stainless Steels) -luetteloista.

Tarjolla on paljon erilaisia ruostumattomia teräksiä. Tyypillisesti käytetään teräslaatuja, jotka sisältävät 15 % kromia ja 8 % nikkeliä. Tähän ryhmään kuuluvat myös 300-sarjan teräkset (Forsythe & Hayes, 1998).

300-sarjan teräkset sisältävät nikkeliä, molybdeenia tai titaania kestävyuden ja korroosionkestävyyden parantamiseksi. 304-laatu on käytetyin teräslaatu elintarvikekoneissa niissä sovelluksissa, joissa ei jouduta käsittelemään korkeita klooripitoisuuksia. Jos klorideja on käsiteltävä, molybdeenia sisältävä AISI-316 tai titaania sisältävä vaihtoehto on parempi. Yleensä ruostumattomat terästyypit AISI-304, AISI-316 ja AISI-316L tarjoavat riittävän ruostesuojan. AISI-316-terästä suositellaan käytettäväksi esim. venttiileissä, roottoreissa ja akseleissa, kun taas AISI-316L-laatu on paremmin hitsattavissa ja soveltuu siten paremmin esim. putkistojen ja tankkien valmistukseen. Teräslaadun valinta erilaisiin sovelluksiin riippuu prosessin ja käytettyjen puhdistusmenetelmien korrodoivuudesta (Curiel ym., 1993b). Lähes täydellinen korroosiosuoja on Hastelloy-teräksellä, joka sisältää yli puolet nikkeliä ja lisäksi kromia, molybdeeniä, rautaa ja volframia (Forsythe & Hayes, 1998).

Teräslaaduilla AISI-410 ja AISI-409, Duplex-teräksellä AISI-329 ja Incoloy 825 -teräksillä ei esiinny jännityskorroosiomurtumia toisin kuin esim. AISI-316-laadulla, ja näitä teräksiä voidaankin käyttää joissakin erityissovelluksissa. Niukkahiilistä seostamatonta terästä on käytetty laajalti koneiden tukirakenteissa ja muissa rakenteissa, jotka eivät joudu suoraan kosketukseen tuotteen kanssa. Se on kuitenkin erittäin herkkä ruostumiselle (Forsythe & Hayes, 1998).

Elintarviketeollisuudessa käytettävän teräksen tulisi olla pinnankarheudeltaan sileää, jotta se voidaan hyvin puhdistaa. Suositeltu pinnankarheusarvo  $R_a$  on  $0,8 \mu\text{m}$  tai tämän alle. Käytännössä tämä saavutetaan käyttämällä kylmävalssattua terästä (joilla tyypillisesti  $R_a = 0,3 \text{ mm}$ ). Tätä terästä on saatavilla sovelluksiin, joiden seinämänvahvuus on  $\leq 4\text{mm}$ . Jos seinämänvahvuus on suurempi, käytetään yleensä kuumavalssattua terästä, jonka pinnankarheus on n.  $5 \mu\text{m}$  eli elintarvikelaitteiston sisäpinnoille sopimaton. Tällainen pinta tulee kiillottaa mekaanisesti ja tarvittaessa elektrolyyttisesti (Eastwood ym., 1993). Hitsaus- saumojen tulisi olla yhtä sileitä kuin materiaalit, joihin sauma on tehty (Wainess & Hopkin, 2000).

Tuotetta koskevilla pinnoilla olevien hitsaussamojen tulisi olla (Wainess, 1987)

- sileitä (jatkuvia ja tasaisia) eikä
- niissä saisi olla syöpymiä
- karheita kohtia tai
- palaneita kohtia ja
- niiden tulisi kestää rasitus, joka sauman kohdassa on tarpeellinen.

### **5.3.2 Rauta**

Musta- ja valurautaa on käytetty, samoin kuin niukkahiilistä seostamatonta terästä, tukirakenteissa. Myös nämä aineet ovat erittäin herkkiä ruostumaan, mutta maalaamalla on voitu estää ruostumista jonkin verran. Sinkillä päällystettyä (galvanoitua) rautaa ei tulisi käyttää laitteistoissa, koska sinkki kuluu nopeasti pinnalta paljastaen suojaamattoman raudan (Forsythe & Hayes, 1998).

### **5.3.3 Kupari ja sen seokset**

Kupari, kuten myös sen seokset messinki ja pronssi, on verrattain korroosionkestävä ja sillä on hyvä lämmönjohtokyky. Panimoteollisuutta lukuun ottamatta se ei ole kuitenkaan hyvä rakennemateriaali elintarviketeollisuuden laitteistoihin, sillä se voi reagoida tuotteen kanssa etenkin suolaliuoksen läsnäollessa esim. värjäämällä tuotteen, tuhoamalla C-vitamiinia tai hapettamalla rasvaa ja öljyä (Forsythe & Hayes, 1998).

### **5.3.4 Muut metallit**

Alumiinia käytetään erilaisten astioiden valmistuksessa, sillä se on helposti muotoiltavaa ja johtaa hyvin lämpöä. Alumiini on kuitenkin hyvin reaktiivinen metalli ja sen käyttömahdollisuudet ovat rajalliset, samoin kuin myös tinalla. Sinkin ohella muita myrkyllisiä metalleja, joita ei tule käyttää elintarviketeollisuuden laitteissa, ovat kadmium, antimoni, elohopea ja lyijy. Titaanilla on parempi korroosionkestävyys kuin ruostumattomilla teräksillä, se puhdistuu hyvin ja on kevyempää kuin teräs, mutta sen käyttöä rajoittaa kallis hinta (Forsythe & Hayes, 1998).

### 5.3.5 Muovit

Erilaisia muoveja käytetään nykyään runsaasti elintarviketeollisuuden laitteissa. Hygieeniseen laitesuunnitteluun sopivia muoveja ovat (Curiel ym., 1993b)

- polypropyleeni (PP)
- polyvinyylidikloridi, kovamuovi (PVC)
- asetaalikopolymeeri
- polykarbonaatti (PC)
- HDPE (High Density Polyethylene).

Myös Teflonia (PTFE, polytetrafluorietyleni) voidaan käyttää, mutta sillä on joitakin haittapuolia. Se on huokoinen materiaali, ja voi näin olla vaikeasti puhdistettavissa. Lisäksi se ei ole kovin kimmoisa materiaali. Täten se ei sovellu tiivistemateriaalina aseptiseen prosessiin, missä lämpökäsittelyjen jälkeen tämän tyyppiset tiivisteet eivät kutistu samassa suhteessa kuin teräsosat (Curiel ym., 1993b). Nylon eli polyamidi on myös elintarviketeollisuudessa käytetty materiaali (Blackman & Frank, 1996). Nylonin hyviä ominaisuuksia ovat hyvä mekaaninen kestävyys, hankauksenkesto ja vahvuus sekä pieni kitkakerroin. Se kuitenkin absorboi jonkin verran vettä ja muita nesteitä (Callister, 2000).

Muoveilla on seuraavia etuja (Forsythe & Hayes, 1998):

- verraten edullinen hinta
- keveys
- haluttaessa läpinäkyvyys
- myrkyttömyys
- värjäämättömyys
- verraten hyvä korroosionkesto
- monilla muoveilla hyvä kestävyys happoja, emäksiä ja pesu- ja desinfiointiaineita kohtaan
- eri muoveilla erilainen kestävyys lämpötiloille.

Muoveilla on kuitenkin käytössä joitakin rajoituksia. Niitä käytetään esim. paljon putkistoissa, mutta ne eivät kestä kovin korkeita lämpötiloja ( $> 90^{\circ}\text{C}$ ). Ne myöskin kuluu helpommin kuin metallit ja ovat näin vaikeammin puhdistettavia. Eri muovilaatujen ominaisuudet vaihtelevat huomattavasti. Pääosin elintarviketeollisuudessa käytettävät muovit voidaan jakaa kahteen kategoriaan: 1) lämpömuovautuviin kestumuoveihin, joita voidaan muovata lämmön avulla toistuvasti aiheuttamatta suurempia kemiallisia muutoksia ja 2) kovamuoveihin,

jotka kovettuvat kuumennettaessa, mutta jos käsittely toistetaan, materiaali voi kärsiä (Forsythe & Hayes, 1998).

### 5.3.6 Elastomeerit ja kumit

Elastomeereja ja kumeja käytetään elintarviketeollisuudessa tiivisteissä ja tiivistysrenkaissa. Suositeltavia materiaaleja tähän tarkoitukseen ovat (Curiel ym., 1993b)

- etyleenipropyleenidieenimonomeeri (EPDM), joka ei ole resistentti öljylle ja rasvalle
- nitrilikumi
- nitrili/butylikumi (NBR)
- silikonikumi (sopii myös korkeisiin lämpötiloihin, 180°C asti)
- Viton-kumi (fluoroelastomeeri).

Elastomeerit voivat liian kovassa puristuksessa vaurioitua ja niitä voi joutua tuotteeseen tai tuotteen kanssa kosketuksissa oleville pinnoille niin, että se vaikuttaa heikentävästi puhdistuvuuteen. Elastomeereja täytyy tästä syystä valvoa säännöllisesti ja huomioida myös niiden lämpölaajeneminen (Curiel ym., 1993b). Tiivisteet ja "O-renkaat", joita käytetään HTST (High Temperature Short Time) -pastörintikäsitelyssä (72°C asti) eivät yleensä sovellu UHT (Ultra High Temperature) -prosesseissa (138°C:seen asti) käytettäviksi. Ne voivat liian korkean lämmön vaikutuksesta laajentua tuotetta sisältäville pinnoille ja osia tiivisteestä voi joutua tuotteeseen tai ainakin aiheuttaa tuotteeseen virhemakuja tai -hajuja (Wainess, 1987). Esimerkiksi tefloni voi tiivisteenä muuttua muotoaan liian korkeissa lämpötiloissa siten, että se kapenee ja pitenee niin, että liitoskohtaan muodostuu kontaminaatiota keräävä väli (ks. kuvan 19 alin kuva-rivi), ja toisaalta tiivistettä on sauman ulkopuolella niin, että se kerää kontaminaatiota tai osia siitä voi joutua tuotevirtaan (Lelieveld, 1994).

### 5.3.7 Lasi ja keraamimateriaalit

Lasia käytetään elintarviketeollisuuden laitteistoissa erittäin vähän. Jos sitä joissakin erityissovelluksissa (esim. näkö- tai valolasina, erittäin suolaisen liuoksen siirrossa) käytetään, sen tulee olla kestävä ja kuumuudenkestävää ja sen käytössä tulee noudattaa erityistä varovaisuutta (Forsythe & Hayes, 1998;

Wainess & Hopkin, 2000). Joissakin erityistarkoituksissa voidaan esim. laakerien pinnoituksissa käyttää keraamisia materiaaleja. Näiden materiaalien tulee olla inerttejä, myrkyttömiä, absorboimattomia ja liukenemattomia, eivätkä ne saisi olla huokoisia. Niiden tulee olla naarmuuntumattomia, eivätkä ne saa muuttaa muotoaan lämpötilan, kemikaalien tai normaalien tuotanto- tai pesu- ja desinfiointiprosessien vaikutuksesta (Landré, 1987).

### **5.3.8 Puu**

Puuta ja muita absorboivia materiaaleja ei tulisi käyttää elintarviketeollisuudessa.

### **5.3.9 Muut materiaalit**

Kertakäyttöiset laitteistojen osat, kuten tiivisteet tai suodattimet, voivat olla valmistettu puuvillasta, pellavasta, silkistä tai synteettisistä kuiduista. Nämä materiaalit eivät saa olla myrkyllisiä, ja niiden pitäisi olla valmistettuja niin, että niistä irtoaa mahdollisimman vähän kuituja. Niitä saa käyttää vain kohteissa, jotka täytyy purkaa puhdistusta varten (Wainess & Hopkin, 2000).

Elintarviketeollisuuden laitteistoissa käytetään kasvavassa määrin antimikrobiaalisia aineita. Eräs tällainen on triclosan, jota voidaan lisätä esim. kuljetinmateriaaleina käytettävien polymeerien sekaan. Toistaiseksi antimikrobiaalisten materiaalien käytön pitkäaikaisvaikutuksista löytyy vähän tietoa.

## **5.4 Laitteissa käytetyt konerasvat, voiteluöljyt ja kitkanpoistajat**

Kaarina Aarnisalo ja Gun Wirtanen, VTT Biotekniikka

### **5.4.1 Lainsäädäntö ja standardit**

Elintarviketeollisuudessa käytettävien voiteluaineiden valinnassa on otettava huomioon teollisuudenalan erityisvaatimukset. Yhdysvalloissa FDA (The American Food and Drug Administration) vastaa öljyjen ja lisäaineiden elintarvikekelpoisuusluokittelusta. USDA (United States Department of Agriculture)

on luokitellut voiteluaineita, jotka sisältävät vain FDA:n hyväksymiä komponentteja. USDA-H1-voiteluaineet ovat korkealaatuisia ja puhtaimpia voiteluaineita, jotka voivat joutua kosketuksiin tuotteiden kanssa tuotannon aikana. Nämä voiteluaineet ovat hajuttomia, mauttomia ja myös esteettisesti miellyttäviä. USDA-H2-luokkaan kuuluvat aineet, jotka eivät joudu kosketuksiin elintarvikkeiden kanssa. Lainvoimaisia nämä amerikkalaiset standardit ovat vain USA:ssa. Myös Euroopassa ja muualla maailmassa tunnustetaan ja hyödynnetään näitä luokitteluja (Jennings, 2000). USDA lopetti kuitenkin voiteluainehyväksynät vuonna 1998 (Köhler, 2001).

Nykyään NSF International ylläpitää luetteloa elintarviketeollisuuden käyttöön hyväksyttävistä voiteluaineista. Luettelon pohjana on USDA:n viimeisin versio. NSF International päivittää USDA:n listaamien aineiden luetteloa ja rekisteröi siihen uusia. Hyväksymismenettely on yhdenmukainen USDA:n aikaisemman kanssa (Yano, 2001). Järjestön hyväksymät ja päivittämät listat löytyvät "NSF White Bookista" mm. www-sivuilta osoitteesta: <http://www.nsf.org/usda/>.

Euroopassa lain vaatimukset voiteluaineille ovat väljemmät. Voiteluaineiden käyttöä säätelevät Eurooppalaiset hygieniastandardit elintarviketuotannossa käytettäville koneille (EU 392/89, 14.6.1989 ja EN 1672/2, 1.6.1997) ja EU:n elintarvikehygieniadirektiivi (EU 93/43, 16.4.1993). EU 392/89 koskee kaikkia elintarviketuotannossa käytettäviä koneita. Tässä standardissa kielletään kontaminoivien tai elintarviketeollisuuteen soveltumattomien voiteluaineiden käyttö. Elintarvikemachineita koskevan hygieniastandardin EN 1672/2 mukaan voiteluaineista ei saa joutua elintarvikkeisiin havaittavia hajuja, värejä tai flavoriaineita. Voiteluaineet eivät saa kontaminoida tuotetta, eikä niillä saa olla haitallista vaikutusta siihen (Köhler, 2001). EU:n elintarvikehygieniadirektiivi (EY 93/43) kattaa kaikki elintarviketuotannon vaiheet valmistuksesta myyntiin ja käsittää myös voiteluaineiden käytön sisällyttämisen tuotannon kriittisten pisteiden valvontaohjelmaan. Joidenkin maiden lainsäädäntöön sisältyy myös vaatimuksia voiteluaineiden käytöstä, kuten esim. Saksassa "German Law on Food Products and Associated Ancillaries (LMBG)". Tässä laissa kielletään käyttämästä elintarviketuotannossa apuaineita, joista voi siirtyä erilaisia ainesosia tuotteisiin paitsi mikäli tämä on teknisesti väistämätöntä, jolloin tällaisten aineiden tulisi olla vaarattomia ja neutraaleja maultaan ja hajultaan (Köhler, 2001). Myös ainakin Sveitsissä ja Itävallassa lakiin sisältyy voiteluaineita koskevia kohtia (Netuschil, 1995/1996).



Saksalainen standardointijärjestö DIN (Deutsches Institut für Normung) on laatinut kansallisen standardin DIN V 10517 elintarvikekelpoisten voiteluaineiden määritelmistä ja vaatimuksista. Vuoden 2002 loppuun mennessä pitäisi ilmestyä myös luonnos kansainväliseksi ISO-standardiksi. Laitehygieniäjärjestö EHEDGillä on voiteluaineaiheinen alajärjestö, joka on laatinut ohjeistuksen elintarvikekelpoisten voiteluaineiden tuotantoon ja käyttöön (Anon., 2002c).

### 5.4.2 Luokittelu

Voiteluaineet voidaan luokitella öljyihin, rasvoihin, pastoihin ja vahoihin. Ne voidaan myös luokitella niiden konsistenssin mukaan korkean tai matalan viskositeetin omaaviin aineisiin tai eri lisäaineilla aikaansaatuisten ominaisuuksien mukaan (Köhler, 2001)

Teknisten ominaisuuksien perusteella voiteluaineet on jaoteltu esim. eri järjestöjen (ISO, DIN, BS) standardeissa. Tunnetuimman luokittelun mukaan voiteluaineet voidaan jakaa vaihteistovoiteluaineisiin (ISO 6743/6, DIN 51517), hydraulioöljyihin (ISO 6743/4, DIN 51524), kompressoriöljyihin (ISO 6743/3, DIN 51506) ja voitelurasvoihin (ISO 6743/9, DIN 51825). Viskositeetin perusteella teollisuuden voiteluöljyt luokitellaan mm. ISO 3448 -standardissa ("Industrial Liquid Lubricants ISO Viscosity Classification") ja voitelurasvat on luokitellut American NLGI (National Lubricating Grease Institut) (van der Waa, 1995).

USDA jaotteli ja nykyään NSF International jaottelee elintarviketeollisuudessa käytettävät voiteluaineet kolmeen luokkaan: H1, H2 ja H3. H3-luokan voiteluaineet ovat elintarvikekelpoisia, tyypillisesti syötäviä öljyjä, joita käytetään esim. ripustuskoukkujen, kuljetuskärryjen yms. voiteluun. H1-luokan voiteluaineita käytetään kohteissa, joilla on satunnaisesti mahdollisuus joutua kosketuksiin elintarvikkeen kanssa. Yleisesti H3-luokan kriteerit täyttävät aineet täyttävät myös H1-luokan kriteerit. FDA:n CFR:ssä (Code of Federal Regulations) on määritelty joitakin muita kriteerejä H1-luokan aineille. H2-luokan voiteluaineet eivät ole elintarvikekelpoisia. Niitä käytetään sellaisissa laitteiden osissa, joissa ei ole mahdollisuutta elintarvikekontaktiin. Näihin voiteluaineisiin ei saa kuitenkaan olla lisätty raskasmetalleja tai karsinogeeniksi, mutageeniksi, teratogeeniksi tai mineraalihapoiksi luokiteltavia aineita (Yano, 2001). Voiteluaineet voivat täyttää hygieni- ja turvallisuuskriteerit, mutta olla teknisesti huonolaatuisia. H1- ja H2-luokitelluista aineista osa onkin luokiteltu vielä erityisen korkea-

laatusiksi aineiksi sekä teknisiltä että turvallisuusominaisuuksiltaan (Netuschil, 1995/1996).

Kuvassa 26 esitetään voiteluaineiden jako kaasumaisiin, nestemäisiin, kiinteisiin ja koheesiovoiteluaineisiin. Näistä kaasumaisten voiteluaineiden käyttö on merkityksetöntä niiden kalliiden kustannusten vuoksi (Netuschil, 1995/1996).

### **5.4.3 Elintarviketeollisuudessa käytettävien voiteluaineiden vaatimukset ja koostumus**

#### Vaatimukset

Voiteluaineet vähentävät kitkaa ja kulumista (Köhler, 2001). Tämän lisäksi ne

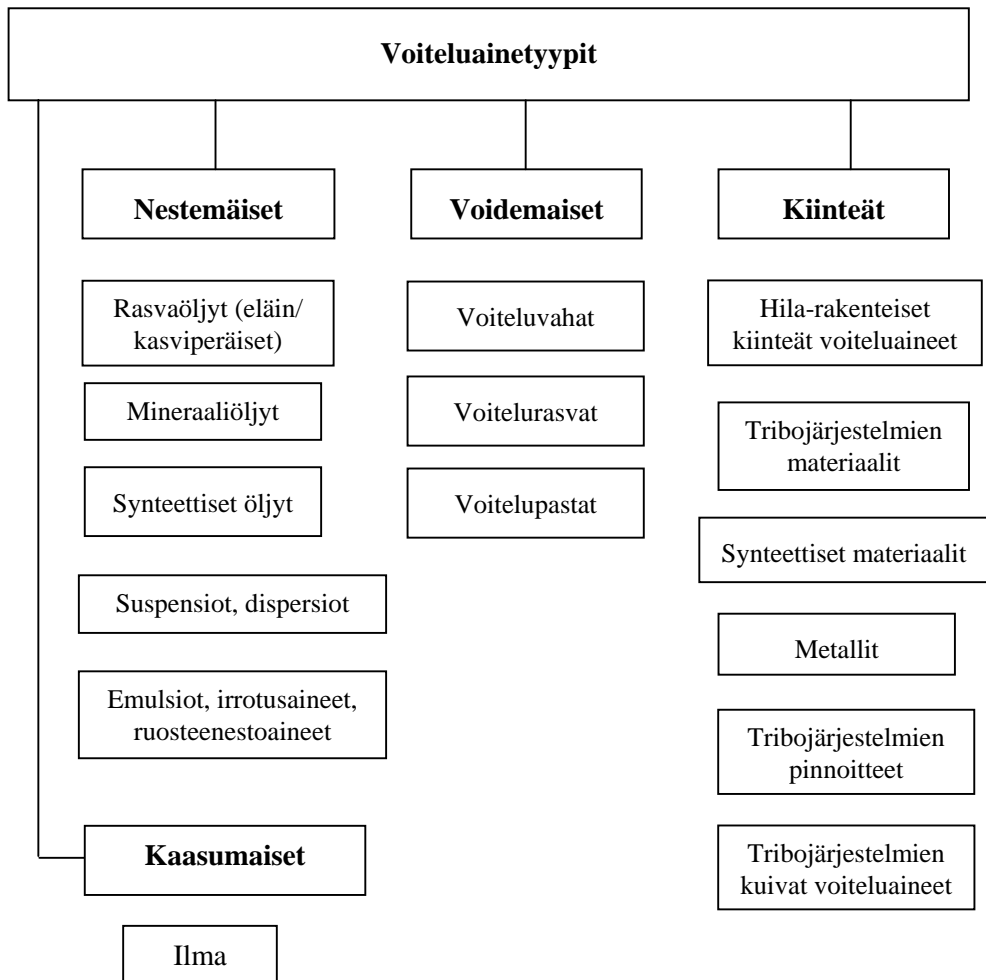
- johtavat lämpöä ja sähköä
- suojaavat pintoja
- estävät ulkoisten partikkelien pääsyä pinnoille
- poistavat laitteen käytössä ja kulumisessa syntyviä partikkeleja
- toimivat voimansiirtäjinä
- lisäävät järjestelmien tehokkuutta.

Näiden teknisten vaatimusten lisäksi voiteluaineilla tulisi olla seuraavia ominaisuuksia (Köhler, 2001):

- resistenttisyys prosessissa käytettäville hapoille, emäksisille liuoksille, alkoholille, puhdistus- ja desinfiointiaineille, vedelle ja höyrylle
- hyvät tiivisteominaisuudet
- hyvä korroosionesto
- soveltuvuus alhaisiin ja korkeisiin lämpötiloihin
- hyvä stabiilisuus ikääntyessä
- hyvä stabiilisuus paineessa, värinässä ja värähtelyissä
- inerttisyys laitteen eri materiaaleille.

Elintarviketekelpoisille voiteluaineille on joitakin erityisvaatimuksia (Köhler, 2001; Netuschil, 1995/1996). Niiden tulee

- täyttää lain vaatimukset elintarviketeollisuudessa käytettäville aineille
- olla fysiologisesti turvallisia
- olla neutraaleja maultaan ja hajultaan
- olla kansainvälisesti hyväksytyjä.



Kuva 26. Voiteluainetyypit (mukailtu Netuschil, 1995/1996).

Eri elintarviketeollisuuden aloilla vaatimukset voiteluaineille vaihtelevat. Esim. runsaasti vettä käytävissä kohteissa tulee tämä huomioida voiteluaineen valinnassa. Runkas vedenkäyttö poistaa voiteluaineita pinnoilta ja edistää bakteerien kasvua.

## Koostumus

Mineraaliöljypohjaisia voiteluaineita on käytetty teollisuudessa yleisesti. Synteettisten voiteluaineiden, joita käytetään runsaasti elintarviketeollisuudessa, etuna on mm. niiden korkea tekninen suorituskyky (mineraaliöljyjä parempi hapettumisen kesto ja lämpötilavaihteluiden kesto, soveltuvat hyvin pitkäkestoiseen voiteluun). FDA:n hyväksymistä komponenteista pystytään kehittämään erilaisia synteettisiä voiteluaineita (Netuschil, 1995/1996; Köhler, 2000).

Voiteluvahat ovat korkean molekyylipainon omaavia hiilivetyjä. Voitelurasvoissa pohjana on öljy, johon on lisätty paksunninta. Kiinteitä voiteluaineita käytetään lähinnä pintojen suojaamiseen. Tämänäyttöisiin voiteluaineisiin kuuluu kitkajärjestelmien voiteluaineet, pinnoitteet ja kuivat voiteluaineet, synteettiset materiaalit, metalli- tai mineraalijauheet, kuten PTFE, kupari, grafiitti ja molybdeenidisulfidi. Jauheita käytetään lisäaineina (Netuschil, 1995/1996). Taulukossa 6 on esitetty erilaisiin kohteisiin käytettyjen voiteluaineiden vaatimuksia (Netuschil, 1995/1996). Taulukossa 7 esitetään erilaisia voiteluaineissa käytettyjä komponentteja (Netuschil, 1995/1996).

FDA:n Code of Regulationissa määritellään kolme tyyppiä voiteluaineita, joita voidaan käyttää sovelluksissa, joissa ne joutuvat kosketuksiin elintarvikkeiden kanssa. Nämä tyypit ovat: 1) valkoiset mineraaliöljyt, 2) parafiiniöljyt/vaseliinit ja 3) tekniset valkoöljyt. Valkoisia mineraaliöljyjä ja parafiiniöljyjä/vaseliineja käytetään esim. irrotusaineina leipomotuotteissa, kuivattujen hedelmien ja vihannesten sekä makeisten valmistuksessa. Teknisiä valkoöljyjä käytetään mm. elintarvikepakkauksissa alumiinifolioiden valmistuksessa, eläinrehujen valmistuksessa sekä voitelu- ja ruosteenestoaineena elintarviketeollisuuden laitteistoissa. Nämä ovat pitkälle puhdistettuja öljytuotteita, joista on poistettu kaikki tyydyttymättömät rasvat ja aromi- ja väriaineet siten että ne täyttävät U.S. Pharmacopeian (USP) vaatimukset (Arbocus, 1997).

Taulukko 6. Voiteluaineiden valintakriteerejä (Netuschil, 1995/1996).

Koneenosa	Minimivaatimukset	Voiteluaineryhmien soveltuvuus			
		Teollisuus- voitelu- aineet	USDA H1	Korkeasuoritteiset elintarviketeollisuuden voiteluaineet	
				USDA H1	USDA H2
tiivisteet	neutraali kumille (EDPM), vedenkestävyys -20...+120 °C	riittämätön	riittämätön	hyvä	riittämätön
liukulaakerit	vedenkestävyys kulumissuojaus ruostesuojaus	hyvä	riittämätön	hyvä	hyvä
ketjut	kulumissuojaus vedenkestävyys ruostesuojaus	hyvä	riittävä	hyvä	hyvä
ruuvit	kulumissuojaus helppo purku -20...+120 °C	hyvä	riittävä	hyvä	hyvä
vierintä- laakerit	vedenkestävyys ruostesuojaus	hyvä	tydyttävä	hyvä	hyvä
venttiilit ja liittimet	vedenkestävyys höyrykestävyys ruostesuojaus	riittämätön	tydyttävä	hyvä	riittämätön
vaihteet	kestävyys kulumissuojaus	hyvä	riittävästä riittämät- tömään	hyvä	hyvä
hydrauliikka- järjestelmät	ruostesuojaus kestävyys kulumissuojaus	hyvä	riittävästä riittämät- tömään	hyvä	hyvä
pneumaattiset järjestelmät	ruostesuojaus kestävyys	hyvä	riittämätön	hyvä	hyvä
akseli-rumpu- liitoskohta	ruostesuojaus kulumissuojaus	hyvä	riittävä	hyvä	hyvä

*Taulukko 7. Voiteluaineiden sisältämiä komponentteja (Netuschil, 1995/1996).*

Voiteluaineen sisältämä komponentti	Teollisuusvoiteluaineet	Elintarviketeollisuuden voiteluaineet (USDA-hyväksytyt)	
		H1	H2
<b>Perusöljyt</b>			
mineraaliöljy	kyllä	ei	kyllä
valkoöljy	kyllä	kyllä	kyllä
polyalfaolefiini	kyllä	kyllä	kyllä
esteri	kyllä	kyllä	kyllä
silikoni	kyllä	kyllä	kyllä
perfluoralkyylietteri	kyllä	ei	kyllä
polyglykoli	kyllä	kyllä	kyllä
<b>Täyteaineet</b>			
litium	kyllä	ei	kyllä
alumiinikompleksi	kyllä	kyllä	kyllä
bentoniitti	kyllä	kyllä	kyllä
natrium	kyllä	ei	kyllä
polyurea	kyllä	ei	kyllä
kalsium	kyllä	kyllä	kyllä
barium	kyllä	ei	kyllä
<b>Lisäaineet</b>			
kloori	kyllä	ei	ei
rikki	kyllä	ei	ei
lyijy	kyllä	ei	ei
molybdeeni	kyllä	ei	ei
antimoni	kyllä	ei	ei
kadmium	kyllä	ei	ei
grafiitti	kyllä	ei	kyllä
nikkeli	kyllä	ei	ei

#### 5.4.4 Voiteluaineiden mikrobiologia

Radanvoiteluöljyjen kontaminaatio on ongelma elintarviketeollisuudessa ja panimoissa (Cook & Gaylarde, 1988; Rossmore, 1988; Ortiz ym., 1990; Netuschil, 1995/1996; Köhler, 2001; Yano, 2001). Radanvoiteluöljyjen mikrobiologinen

laatu ja niiden vaikutus prosessiin on pitkään ollut tutkimuksen kohteena panimo-teollisuudessa (Henriksson & Haikara, 1990; Köhler, 2001). Voiteluöljyt voivat olla kokonaan öljypohjaisia, mutta usein ne sisältävät myös vettä.

Useat mikrobit pystyvät elämään voiteluaineissa etenkin niiden likaannuttua orgaanisella aineksella ja niiden vesipitoisuuden ollessa suuri. Vesipitoiset öljyt ovatkin erittäin herkkiä mikrobikontaminaatiolle. Tuotannossa ja puhdistusprosessien aikana voiteluaineiden laatu heikkenee. Voiteluaineen vesipitoisuutta tulisi tarkkailla, sillä esim. yli 500 ppm vettä sisältävä öljy voi lyhentää voideltavien pintojen elinikää ja lisäksi vesi edistää bakteerien selviämistä ja kasvua (van der Waa, 1995). Elintarviketeollisuuden voiteluaineista on eristetty bakteereita, kuten *Acinetobacter* sp., *Algaligenes* sp., *Pseudomonas* sp. ja sulfaattiapelkistäviä bakteereita (Ortiz ym. 1990; Hamilton, 1991). Voiteluaineissa voi esiintyä myös tautia aiheuttavia bakteereita, kuten *L. monocytogenes* -bakteeria, joka on eristetty meijerin kuljettimien voiteluaineesta (Rossmore, 1988). *Legionella* ei myöskään ole harvinainen organismi voiteluöljyjen biofilmeissä (Barlett ym., 1986). Jo vuonna 1990 Ortiz ym. totesivat, että saastuneet voiteluöljyt voivat aiheuttaa korroosiota.

Voiteluaineisiin voidaan lisätä antimikrobiaalisia ainesosia estämään mikrobien kasvua (Anon., 1987; Rossmore, 1988; Hsu ym., 1991). Glutaraldehydi 25 ppm:n pitoisuudella voiteluaineessa oli tehokas biosidi *L. monocytogenes*, *P. fluorescens*, *Staphylococcus aureus* ja *Serratia marcescens* -bakteereille 30 min vaikutusajalla. Hiivoille ja homeille vaadittiin pidempi vaikutusaika ja korkeampi pitoisuus (Rossmore, 1988). Hsu ym. (1991) totesivat isothiatsolonin (10 ppm) tehokkaaksi biosidiksi *L. monocytogenes* -bakteerille kuljetinvoiteluaineessa.

#### 5.4.5 Voiteluohjelmat

Jotta voiteluaineiden käyttö elintarviketeollisuudessa olisi tehokasta, seuraavat seikat tulisi huomioida (Arbocus, 1997):

- Voiteluaineen valinnassa tulisi noudattaa laitevalmistajan ohjeita.
- Voiteluaineet tulisi varastoida puhtaissa ja kuivissa sisätiloissa ja välttää kontaktia kuumiin putkiin, uuneihin tms.
- Tuotekierron tulisi olla toimiva.

- Säilytys- ja käyttöastioiden tulisi olla puhtaita ja valmistettu muovista, ei lasista tai galvanoidusta metallista, ja niiden kannet tai korkit tulisi aina muistaa sulkea käytön jälkeen.
- Kun voitelurasvamerkkiä vaihdetaan, tulisi pestä vanha rasva huolellisesti pois. Elintarvikekelpoisten rasvojen käyttöön tarkoitettuja pistooleja tulisi käyttää vain tähän tarkoitukseensa. Liiallinen rasvaus ja ylimääräinen rasva voivat vahingoittaa tiivisteitä ja kontaminoida tuotteen.
- Voiteluöljyn määrä tulisi tarkistaa laitteen olla pysähdyksissä. Vaahtoaminen voi johtua väärästä öljymäärästä, kosteudesta, ilmasta, vuodosta tai vääräntyyppisestä öljystä.
- Akselien, hydraulijärjestelmien ja ilmakompressorien huollossa tulee huolehtia, etteivät öljy ja laite pääse kontaminoitumaan.

Toimivan voiteluohjelman laatiminen ja jatkuva ylläpito vähentävät seisokkiaikaa ja hävikkiä. Yhden ihmisen pitäisi vastata voiteluohjelman yksityiskohdista. Voiteluaineiden tulisi olla varastoituna oikein. Ohjelmaa varten tulisi määrittää laitteet, jotka vaativat voitelua, voideltavat kohdat niissä, mitä voiteluaineita käytetään missäkin kohdassa, voitelun tiheys, voiteluaineiden pinnoiltapoiston tiheys ja erityisohjeet esim. öljynäytteenotosta ja suodattimienvaihdosta. Laittevalmistajan ohjeita aineen käytöstä tulisi noudattaa. Jos prosessiolosuhteet poikkeavat paljon laitevalmistajan suosituksissaan huomioimista, tulisi voiteluaineiden valinnassa kysyä neuvoa voiteluainevalmistajalta. Laittevalmistajat voivat omissa suosituksissaan käyttää joko voiteluaineiden koostumusta tai niiden kaupanimiä. Nämä suositukset on sisällytetty laitteiden ohjekirjoihin. Kokemus ohjaa pitkälti voiteluaineiden valinnassa ja voiteluainetoimittajan säännöllinen konsultointi on suositeltavaa. Voiteluaineiden saatavuus ja riittävyys tulee varmistaa määrittämällä se piste, jolloin uutta ainetta on tilattava ja huolehdittava tuotekierrosta (Arbocus, 1983).



## 6. *Listeria monocytogenes* ominaisuudet laitehygienian kannalta

### 6.1 *L. monocytogenes* ja elintarviketeollisuus

Tiina Autio, Elintarvike- ja ympäristöhygienian laitos, Helsingin yliopisto

Elintarviketeollisuudelle *L. monocytogenes* on hankala patogeeni, jota tavataan tuotantolaitoksissa kosteissa ja kylmissä tiloissa (Eklund ym. 1995, Salvat ym. 1995). Erittäin hankalaksi *L. monocytogenes* tekee se, että se on varsin resistentti useita ulkoisia tekijöitä kohtaan. Se sopeutuu hyvin ympäristöolosuhteisiin ja voi muodostaa pinnoille biofilmejä (Jeong & Frank 1994). Pintoihin kiinnittyneet solut sietävät ulkoisia stressitekijöitä, kuten antimikrobisia aineita ja korkeita lämpötiloja (Ronner & Wong 1993). Kohdissa 6.2, 6.3 ja 6.4 tarkastellaan lähemmin *L. monocytogenes* kiinnittymistä pinnoille, herkkyyttä desinfiointiaineille, lämmölle ja happamuudelle.

#### 6.1.1 *L. monocytogenes* kasvuun vaikuttavia ominaisuuksia

*L. monocytogenes* on fakultatiivinen anaerobi, ja siten se pystyy kasvamaan niin hapettomissa kuin hapellisissa olosuhteissa. Se kykenee kasvamaan laajalla pH-alueella, lisääntymään alhaisessa lämpötilassa, kestää korkeaa suolapitoisuutta ja sietää melko hyvin nitriittiä ja nitraattia (Farber & Daley 1994). Taulukossa 9 esitetään *L. monocytogenes* kasvun rajat.

Taulukko 9. *Listeria monocytogenes* kasvun rajat.

Tekijä	Kasvurajat
Lämpötila	-0,4–45 °C
pH	4,1–9,6
minimi $a_w$	0,92

*L. monocytogenes* on todettu niin liha-, kala-, maito- kuin kasvistuotteissakin (Jacquet ym. 1993, Low & Donachie 1997, Nesbakken ym. 1996, Autio ym. 2002). Taulukossa 10 esitetään *L. monocytogenes* esiintyvyyttä elintarvikkeissa.

Riskielintarvikkeita ovat mm. tuorejuustot, vakuumpakatut tuotteet sekä ready-to-eat-elintarvikkeet (Farber & Peterkin 1991). Erityisesti kypsennetyt tuotteet, joissa kuumennuskäsittelyn vuoksi kilpailevien bakteerien määrä on alhainen, ovat jälkikontaminoituessaan *L. monocytogenes* -bakteerilla erittäin riskialttiita. Riskiä lisää kyseisten elintarvikkeiden pakkaaminen vakuumi- tai suojakaasupakkauksiin, joissa aerobisten pilaajabakteereiden aiheuttamat pilaantumismuutokset viivästyvät ja siten tuotteilla on usein pitkät myyntiajat. Tällöin *L. monocytogenes* pystyy lisääntymään vaikka tuotteet säilytettäisiinkin alhaisissa lämpötiloissa. On muistettava, että vaikka tuote sisältäisi hyvinkin suuria määriä *L. monocytogenes* -bakteeria, tätä ei voida aistinvaraisesti havaita, sillä bakteeri ei aiheuta muutoksia tuotteen hajussa, maussa tai rakenteessa.

*Taulukko 10. Listeria monocytogeneksen esiintyvyys elintarvikkeissa eri maissa.*

Elintarvike	Alkuperämaa	Esiintyvyys (%)	Viite
<b>Raa'at lihatuotteet</b>			
nauta	Iso-Britannia	35	MacGowan ym., 1994
palaliha	Saksa	43	Karsches & Teufel, 1988
palaliha, nauta	Japani	34	Iida ym., 1998
palaliha,sika	Japani	36	Iida ym., 1998
jauheliha	USA	8	Yu ym., 1995
	Tanska	28	Skovgaard ym., 1988
	Kanada	77	Farber ym., 1989b
	Norja	0	Rørvik & Yndestad, 1991
	Italia	19	Contanto ym., 1994
<b>Lihajalosteet</b>			
nakki	USA	8	Wang & Muriana, 1994
	Kanada	21	Tiwari & Aldenrath, 1990
	Tanska	6	Qvist & Liberski, 1991
porsaanmakkara	Italia	24	Levré ym., 1993
	Iso-Britannia	35	Gilbert, 1991
<b>Raaka siipikarja</b>			
broiler	Suomi	62	Miettinen ym., 2001
	Iso-Britannia	60	Pini & Gilbert, 1988

*Taulukko 10 jatkuu*

Elintarvike	Alkuperämaa	Esiintyvyys (%)	Viite
<b>Kalatuotteet</b>			
kylmäsavukala	Suomi	4–14	Keto & Rahkio, 1998, Lyhs ym., 1998, Hatakka ym., 2001
	Sveitsi	6–24	Jemmi, 1990, Guyer & Jemmi, 1991, Jemmi & Keusch, 1994
	Norja	9–33	Rørvik ym., 1991, 1995, 1997
	Islanti	3	Hartemink & Georgsson, 1991
	Uusi Seelanti	75	Hudson & Huss., 1994
	Kanada	1–4	Dillon & Patel, 1992, Dillon ym., 1994
	Tanska	35	Jørgensen & Huss, 1998
	Ruotsi	12	Loncarevic ym., 1996
	Iso-Britannia	3	Fuchs & Nicolaides, 1994
	lämminsavukala	Suomi	0–2
Sveitsi		0–9	Jemmi, 1990, Jemmi & Keusch, 1994
Uusi Seelanti		36	Hudson ym., 1994
Kanada		8	Dillon ym., 1994
Tanska		5	Jørgensen & Huss, 1998
Ruotsi		2	Loarevic ym., 1996
Iso-Britannia		0	Fuchs & Nicolaides, 1994
graavisuolattu kala	Suomi	6–32	Keto & Rahkio, 1998, Lyhs ym., 1998, Hatakka ym., 2001
	Tanska	33	Jørgensen & Huss, 1998
	Ruotsi	21	Loncarevic ym., 1996
<b>Maitotuotteet</b>			
tuorejuusto	Iso-Britannia	14	Pini & Gilbert, 1988
	Ranska	4	Pini & Gilbert, 1988
	Italia	16	Pini & Gilbert, 1988

### 6.1.2 *L. monocytogenes* -kontaminaatio tuotantolaitoksissa

*L. monocytogenes*in kontaminaatioreittejä elintarviketeollisuudessa voidaan selvittää molekyylibiologisten tyypitysmenetelmien avulla. Vertaamalla eri kohteista, esim. raaka-aineista, koneista, ympäristöstä ja lopputuotteista, eristettyjen kantojen DNA-sormenjälkiä toisiinsa voidaan selvittää kontaminaation lähteitä, levittäjiä ja ylläpitäjiä (Autio ym. 1999, Miettinen ym., 1999, Autio ym. 2000; Suihko ym. 2002).

Useissa tutkimuksissa on havaittu, että tietyt kannat esiintyvät laitoksessa toistuvasti ja toisaalta on myös kantoja, joita eristetään vain satunnaisesti. On todettu, että jotkut kannat voivat esiintyä laitoksissa persistoivina useiden kuukausien jopa vuosien ajan (Unnerstad ym. 1996, Miettinen ym. 1999, Lundén ym. 2002a). *Listeria*-kontaminaatiolle on tyypillistä, että tuotteen saastuminen tapahtuu useimmiten tuotantolaitoksessa prosessin aikana (Rørvik ym. 1995, Autio ym. 1999, Fønnesbech Vogel ym. 2001b) ja tuotteen saastumisen aiheuttavat laitoksessa persistoivat kannat. Persistoivia kantoja todetaan usein nimenomaan prosessilaitteissa. Laitteet ovatkin tärkeimpiä laitoksen *Listeria*-kontaminaation ylläpitäjiä ja levittäjiä laitoksessa ja laitteiden mukana *Listeria* on todettu siirtyvän myös laitoksesta toiseen (Lundén ym. 2002a). On epäselvää, mistä nämä laitokseen ja nimenomaan laitteisiin pesiytyvät kannat ovat peräisin ja miksi juuri ne aiheuttavat pysyvän kontaminaation eivätkä laitoksissa satunnaisesti esiintyvät kannat. Kantojen välillä on todettu eroja mm. Kiinnittymisessä ja herkkyudessa desinfiointiaineille, mitkä voivat osaltaan selittää kantojen valikoitumista. Näitä ominaisuuksia käsitellään yksityiskohtaisemmin kohdissa 6.2 ja 6.3.

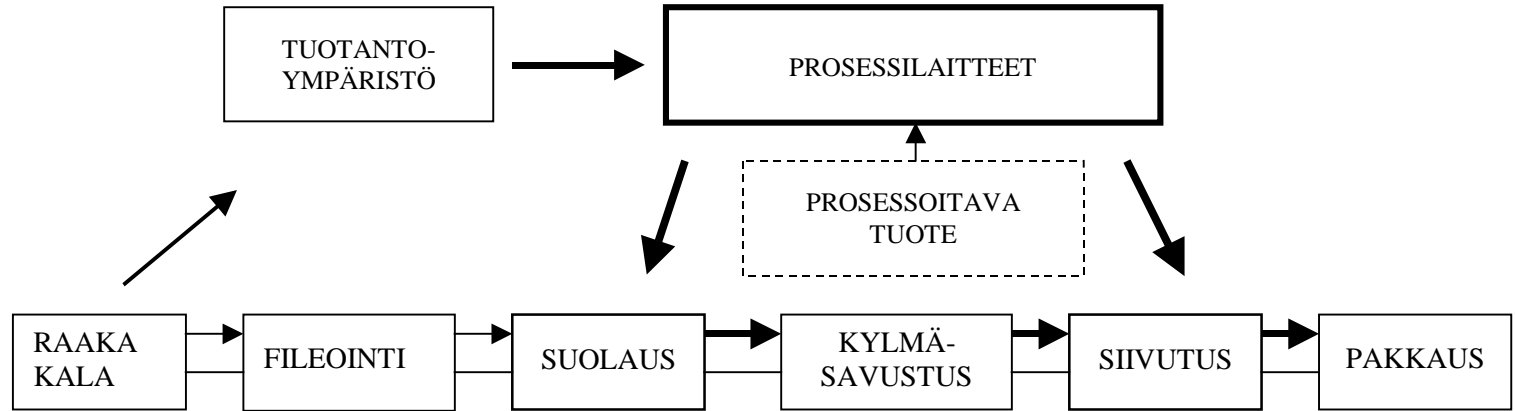
Kontaminaatioreitit tuotantolaitoksissa ovat usein varsin monimutkaisia ja kontaminaatiokohteita voi olla useita. Yhden tuotantolinjan eri prosessilaitteet voivat olla pysyvästi saastuneita eri *L. monocytogenes* -kannoilla (Autio ym. 1999). Esimerkiksi kylmäsavustetun kalan tyypillisimpiä saastumiskohteita ovat suolaus ja siivutus (Autio ym. 1999, Fønnesbech Vogel ym. 2001b), ja nimenomaan suolaus- ja siivutuslaitteiden pysyvä saastuminen on aiheuttanut tuotteen saastumista. Lisäksi prosessin aikana saastunut tuote voi levittää *Listeriaa* laitoksessa edelleen prosessoitavaan tuotteeseen kosketuksissa oleviin pintoihin mukaan lukien erilaiset laitteet, kuljettimet ja työntekijöiden kätet. Kuvassa 29 esitetään kylmäsavustetun kalan kontaminaatioreittejä.

### 6.1.3 *Listeria* torjunta

*Listeria* torjunnassa tulisi kiinnittää entistä enemmän huomiota saastumisen ennaltaehkäisyyn, sillä *Listeria*-kontaminaation hävittäminen tuotantolaitoksesta on usein ongelmallista ja vaatii erityistoimenpiteitä. Ongelmalliset laitteet joudutaan purkamaan mahdollisimman pieniin osiin ja puhdistamaan laitteet ja linjasto tehostetusti. Puhdistusta ja desinfiointia käsitellään kappaleessa 7.

Yleiset hygieeniset periaatteet ovat tärkeitä *Listeria* vastustamisessa. Laitos-suunnittelussa tulisi kiinnittää erityistä huomiota tuotantolinjojen suoraviivaisuuteen ja tilojen jaotteluun hygienialueisiin. Toimivassa laitoksessa hygienialueet on eroteltu toisistaan väliseinillä, kulkuväylät on minimoitu ja käynti korkean hygienian tiloihin tapahtuu sulkujen kautta. Tällöin pystytään tehokkaasti hallitsemaan niin henkilö- kuin tavaraliikennettä ja estämään risti-kontaminaatiota ja vähentämään kontaminaatiopainetta.

Koska prosessilaitteet ovat tärkeitä *Listeria*-kontaminaation ylläpitäjiä ja levittäjiä, tulisi niiden hygieenisen suunnittelun (luku 5) lisäksi kiinnittää riittävästi huomiota laitteiden sijoitteluun laitoksessa. Laitteet tulee sijoitella mahdollisimman väljästi, jotta hygieenisii työtapoja voidaan esteettä noudattaa. Väljä sijoittelu edesauttaa myös sitä, että laitteiden pesu ja puhdistus voidaan suorittaa tehokkaasti päivittäin ja laitteiden purkaminen puhdistusta varten helpottuu.



Kuva 29. Kylmäsavustetun siivutetun kalan mahdollisia *Listeria monocytogenes* kontaminaatioreittejä. Nuolet osoittavat kontaminaation suunnan ja merkittävyyden.

## 6.2 *Listeria monocytogenes* kiinnittyminen elintarviketeollisuudessa käytettäville pinnoille

Janne Lundén, Elintarvike- ja ympäristöhygienian laitos, Helsingin yliopisto

Biofilmin muodostumista edeltää bakteerin kiinnittyminen pinnalle (kuva 1). Kiinnittyminen ja biofilmin muodostus ovat elintärkeitä edellytyksiä bakteerin selviytymiselle stressaavissa olosuhteissa kuten elintarviketeollisuudessa. Kiinnittyneet solut kestävät ulkopuolisia stressitekijöitä, kuten desinfiointiaineita, kuumuutta ja happamia olosuhteita, huomattavasti paremmin kuin ei-kiinnittyneet solut (Frank & Koffi, 1990; Oh & Marshall, 1995; Kumar & Anand, 1998; Costerton, 1999).

### 6.2.1 *L. monocytogenes* kiinnittyminen eri pintamateriaaleille

*Listeria monocytogenes* on todettu kiinnittyvän erilaisille elintarviketeollisuudessa käytettäville pintamateriaaleille. Taulukossa 11 esitetään näitä materiaaleja. Kiinnittyneiden solujen absoluuttinen määrä vaihtelee tutkimusten kesken koska tutkimusasetelma, erityisesti pintojen pesu ja bakteerikanta, on tutkimuksissa erilainen. Kiinnittyneiden solujen lukumäärän vertaileminen tutkimusten kesken ei siten ole mielekästä. Voidaan kuitenkin todeta, että kiinnittyneiden bakteerien määrä tutkituilla pinnoilla on hygienian kannalta merkityksellinen.

Eniten tutkimuksia on tehty ruostumattomalla teräksellä, kumeilla ja muoveilla. Useissa tutkimuksissa on havaittavissa, että ruostumattomalle teräkselle, teflonille ja nailonille kiinnittyy vähemmän bakteereja kuin kumimateriaaleille. Nylonille on todettu kiinnittyvän vähemmän bakteereja kuin teräspinnalle (Blackman & Frank, 1996). Muovit ovat yleensä hygienialtaan parempia kuin kumit joihin kiinnittyy tavallisesti runsaimmin bakteereja. Kumilaadulla Buna-n (acrylonitrile butadiene, 70 durometer) todettiin kuitenkin vähemmän kiinnittyneitä bakteereja kuin ruostumattomalla teräksellä (Helke ym., 1993). Ronner ja Wong (1993) totesivat, että kumipinnalla (Buna-n-rubber) oli bakteriostaattinen vaikutus *L. monocytogenes*seen. Arnold ja Silvers (2000) päätyivät samaan tulokseen tutkimuksessaan, jossa kumipintaan kiinnittyi vähemmän soluja kuin ruostumattomalle teräkselle.

Taulukko 11. Pintamateriaaleja, joihin *Listeria monocytogenes* on todettu kiinnittyvän (Mafu ym., 1990a; Blackman & Frank, 1996; Sinde & Carballo, 2000; Beresford ym., 2001).

Muovit	Kumit	Ruostumaton teräs	Muut
Polypropyleeni	Silikonikumi	304	Alumiini
Polykarbonaatti	Nitriilikumi	304 (sb)	Lasi (borosilikaatti)
Polyuretaani	Luonnonkumi (valkoinen)	316	
PETG <sup>a</sup>	CNA-70	430	
PVC <sup>b</sup>			
PTFE <sup>c</sup>			
Lexan			
Teflon			
Nylon			

<sup>a</sup>Termoplastinen polyesteri

<sup>b</sup>Polyvinyylidikloridi

<sup>c</sup>Polytetrafluorietyyleeni

Joissain tutkimuksissa on todettu hyvin pieniä eroja pintojen välillä. Beresford ym. (2001) tutkivat useita muovi-, kumi- ja ruostumattomia teräslaatuja sekä alumiinia ja totesi, että vain polypropyleenillä esiintyi merkitsevästi vähemmän kiinnittyneitä soluja 2 tunnin kontaktiajan jälkeen.

Sinde ja Carballo (2000) tutkivat *L. monocytogenes* kiinnittymistä ruostumattomaan teräkseen (304), kumiin (7S 15) ja polytetrafluorietyyleeniin. Ruostumattomalla teräspinnalla oli 1 tunnin kontaktiajan jälkeen kiinnittyneitä soluja vähiten. Kumiin ja polytetrafluorietyyleeniin oli kiinnittynyt noin kaksinkertainen määrä bakteereja. Myös peseytyvyys todettiin parhaimmaksi ruostumattomalla teräksellä.

*L. monocytogenes* kiinnittyminen on nopeata. *L. monocytogenes* on todettu kiinnittyvän erilaisille materiaaleille jo 20 minuutin kuluessa (Mafu ym., 1990a). *L. monocytogenes* on todettu myös muodostavan suojaavia solun ulkopuolisia yhdisteitä (Wirtanen & Mattila-Sandholm, 1993), jo muutaman tunnin kuluessa (Mafu ym., 1990a). Mitä kauemmin solut ovat kosketuksissa



pintaan, sitä lujemmin ne pintaan kiinnittyvät, mikä vaikeuttaa pesua (Oh & Marshall 1995, Sommer ym., 1999). Tämän takia päivittäinen pesu on tärkeä.

Kiinnittymisen merkitys laitehygieniassa on arvioitu olevan suuri. Erityisesti laitteet, joissa esiintyy vaikeasti pestäviä kohtia, muodostavat *L. monocytogenekselle* hyvät mahdollisuudet kiinnittymiseen ja sopeutumiseen ulkoisille stressitekijöille.

## 6.2.2 *L. monocytogeneks*en kiinnittymiseen vaikuttavat tekijät

### Kantojen väliset vaihtelut

*L. monocytogeneks*en kantojen välillä on havaittu kiinnittymistehokkuudessa eroja. Persistivat eli pitkäaikaisia laitoskontaminaatioita aiheuttavat kannat on osoitettu kiinnittyvän tehokkaammin lyhyellä kontaktiajalla (Lundén ym., 2000). Myös muissa tutkimuksissa on havaittu eroja kantojen välillä (Norwood & Gilmour, 1999; Chae & Schraft, 2000; Norwood & Gilmour, 2001). Tämän ilmiön käytännön merkitys on elintarviketeollisuudelle suuri koska kiinnittymisen vaikuttaa bakteerin kestävyys ulkoisia stressitekijöitä kohtaan. On arveltu, että persistovat laitoskontaminaatiot voisivat osittain johtua tehokkaasta kiinnittymisestä pintoihin. Erityisesti tehokas kiinnittyminen lyhyessä ajassa on edullista *L. monocytogenekselle*, koska se pystyy paremmin kestämaan päivän päätteeksi sijoittuvat pesut (Lundén ym., 2000). Eräässä tutkimuksessa todettiin suikalointikoneesta persistoiva *L. monocytogenes* kontaminaatio. Persistoivaan kontaminaatioon vaikuttivat suikalointikoneen puutteelliset hygieeniset ratkaisut sekä *L. monocytogenes* -kanta, jonka todettiin kiinnittyvän tehokkaasti teräspinnalle. Persistoiva kontaminaatio saatiin eliminoitua, kun kone purettiin toistuvasti ja desinfioitiin tavallista tehokkaammin (Lundén ym., 2002b).

### Lämpötila

*L. monocytogenes* kiinnittyy pinnoille sekä alhaisissa että korkeissa lämpötiloissa (Mafu ym., 1990a; Jeong & Frank, 1994; Norwood & Gilmour, 2001). Kiinnittyminen todettiin tehokkaimmaksi 18 °C:ssa, mutta ero kiinnittymiseen 30°C:ssa ja erityisesti 4 °C:ssa olivat pienet (Norwood & Gilmour, 2001). Kiinnittymistä ei pystytä estämään alhaisillakaan tuotantolämpötiloilla. Alhaisen lämpötilan etuna on kuitenkin kasvun hidastuminen biofilmissä.

## Orgaaninen lika

Orgaanisen lian vaikutus bakteerien selviytymisessä pinnalla on suuri. Lika inaktivoi desinfiointiaineita (Gelinas & Goulet, 1983) ja hidastaa desinfiointiainneiden pääsyä bakteerien lähelle. Orgaaninen lika tarjoaa myös kiinnittymisalustan bakteereille.

### 6.2.3 Muiden bakteerien vaikutus *Listeria monocytogenekseen* pinnalla

*L. monocytogeneksen* määrä biofilmissä voi vähentyä, pysyä samana tai lisääntyä muiden bakteerien läsnäollessa. Yhdessäkään tutkimuksessa *L. monocytogeneksen* ei ole todettu häviävän pinnalta kilpailevan mikrobiston johdosta. *L. monocytogeneksen* selviytymistä on tutkittu biofilmissä, jossa on kasvanut mm. *P. fluorescens* (Buchanan & Bagi, 1999), *P. fragi* (Sasahara & Zottola, 1993; Norwood & Gilmour, 2001), *Staphylococcus sciuri* (Leriche & Carpentier, 2000), *Staphylococcus xylosus* (Norwood & Gilmour, 2000), *Bacillus* spp, *Coryneform*, *Streptococcus* sp, *Micrococcus* sp (Jeong & Frank, 1994) ja *Flavobacterium* spp (Bremer ym., 2001).

Muiden biofilmibakteerien vaikutus *L. monocytogenekseen* on lajikohtaista. *L. monocytogeneksen* on todettu vähenevän pinnalla mm. *S. sciurin* vaikutuksesta ja *S. xyloksen* ja *P. fragin* yhteisvaikutuksesta. *L. monocytogeneksen* osuus biofilmissä vakioituu tietyn ajan päästä. *L. monocytogeneksen* osuus bakteereista oli 17 d jälkeen alle 2 % (Norwood & Gilmour 2000) ja 1 % 25 d jälkeen (Jeong & Frank, 1994). *L. monocytogeneksen* määrän on todettu lisääntyvän mm. *P. fluorescens* (Buchanan & Bagi, 1999) ja *P. fragi* (Sasahara & Zottola 1993) -biofilmeissä. On arveltu, että *Pseudomonaksen* tuottamat eksopolysakkaridit luovat paremmat kiinnittymismahdollisuudet *L. monocytogenekselle*. Bakteerien keskinäiseen kilpailuun vaikuttavat myös lämpötila ja muut bakteerien kasvuun vaikuttavat tekijät. Näin ollen voi bakteerin vaikutus *L. monocytogeneksen* selviytymiseen biofilmissä olla joko positiivinen tai negatiivinen riippuen olosuhteista (Buchanan & Bagi, 1999) ja lopullista vaikutusta esimerkiksi teollisuusympäristössä on vaikea ennustaa.

## 6.3 *L. monocytogenes* resistenssi ja sopeutuminen desinfiointiaineille

Riina Tolvanen, Elintarvike- ja ympäristöhygienian laitos, Helsingin yliopisto

Kirjallisuudesta löytyvissä tutkimuksissa desinfiointiaineiden tehoa on tutkittu liemiviljelmissä (suspensiotesti) tai pinnoille tarttuneilla bakteereilla. Testeissä käytetyt konsentraatiot ilmoitetaan usein valmistajan ilmoittaman minimikonsentraation mukaisiksi, eikä todellista konsentraatiota ilmoiteta. Tästä syystä eri tutkimusten vertailu on hankalaa.

### 6.3.1 *L. monocytogenes* -bakteerin resistenssi eri desinfiointiaineille

#### Desinfiointiaineiden teho suspensiotesteissä

Suspensiotestissä kasvatusliemessä olevat bakteerit altistetaan desinfiointiaineille ja tietyn altistusajan jälkeen määritetään desinfiointiainekäsittelystä selviytyneiden bakteerien määrä. Useimmissa tutkimuksissa desinfiointiainekäsittelyn tehokkuutta katsotaan tehokkaaksi silloin kun desinfiointiaine vähentää bakteerien määrää 5 logaritmyksikköä suspensiossa (Williams, 1984). Suspensiotestissä yleensä kaikki desinfiointiaineet tehoavat, eikä eroja saada esille käyttökonsentraatioilla. Taulukossa 12 esitetään desinfiointiaineiden tehoa *L. monocytogenes* suspensiotesteissä. Testeissä käytetyt konsentraatiot olivat valmistajan suosittelemia.

Best ym. (1990) tutkimuksessa glutaraldehydin ja etanolin tehoon ei vaikuttanut suspensioliemessä olleet orgaanista likaa simuloivat maito tai seerumi, toisin kuin Jacquetin ja Reynaudin (1994) tutkimuksessa, jossa aldehydi-, kloori- ja peroksididesinfiointiaineet eivät kyenneet 5 log<sub>10</sub> -vähennykseen suositelluilla käyttökonsentraatioilla liemessä, jossa oli orgaanista likaa.

Alle 50 mg/l vapaata klooria ei tehonnut *L. monocytogenes* fosfaattipuskurointiliemessä. Tätä suuremmilla pitoisuuksilla *L. monocytogenes* tuhoutui 20 s (Brackett, 1987).

Taulukko 12. Desinfiointiaineiden teho *L. monocytogenes* -kseen suspensiotestissä.

Aineryhmä	Solumäärän väheneminen			Viite
	<5 log	>5 log	>6 log	
Aldehydi	+		+	Best ym., 1990, Jacquet & Reynaud, 1994
Amiini		+		Jacquet & Reynaud, 1994, Aarnisalo ym., 2000
Biguanidi		+	+	Best ym., 1990, Aarnisalo ym., 2000
Etanoli		+		Best ym., 1990, Aarnisalo ym., 2000
Isopropanoli		+		Aarnisalo ym., 2000
Jodiyhdiste			+	Best ym., 1990
Kalium-persulfaatti		+		Aarnisalo ym., 2000
Hypokloriitti			+	Best ym., 1990
	+			Jacquet & Reynaud, 1994
		+		Aarnisalo ym., 2000
Kloramiini	+			Best ym., 1990
Kvaternäärinen ammonium-yhdiste		+		Best ym., 1990, Sallam & Donnelly, 1992, Russel, 2000 <sup>a</sup>
Kvaternäärinen ammonium ja peroksidi		+		Jacquet & Reynaud, 1994
Peroksidi		+		Aarnisalo ym., 2000
	+			Jacquet & Reynaud, 1994

<sup>a</sup>Käytetty konsentraatio pienempi kuin valmistajan suosittelema

Valmistajan ilmoittamia käyttökonsentraatioita alemmilla pitoisuuksilla kvaternääriset ammoniumdesinfiointiaineet olivat tehokkaampia kuin hapan anioni- tai klooridesinfiointiaine *L. monocytogeneksen* tuhoamisessa (Sallam & Donnelly, 1992).

Raa'an kananlihan käsittelemiseen Yhdysvalloissa hyväksytty TSP (trinatriumfosfaatti) ei tehonnut hyvin *L. monocytogenekseen*. Vasta 12 %:n konsentraatiolla ja 5 minuutin vaikutusajalla saavutettiin merkittävä muutos bakteerisolujen määrässä. Yhtä suuri muutos *Salmonella typhimurium* -määrissä saavutettiin 1 %-liuoksessa 30 s (Somers ym., 1994).

### Desinfiointiaineiden teho pinnoilla

Desinfiointiaineiden tehoa pinnoille kiinnittyneihin bakteereihin on tutkittu mm. lasilla ja ruostumattomalla teräksellä. Kappale upotetaan desinfiointiliuokseen ja altistuksen jälkeen määritetään selviytyneiden bakteerien määrä. Useimmissa tutkimuksissa desinfiointiaine katsotaan tehokkaaksi silloin kun se vähentää bakteerien määrää pinnoilla 3 log<sub>10</sub> (Best ym., 1990; Grönholm ym., 1999; Aarnisalo ym., 2000). Kiinnittyneillä bakteereilla tehtyä testausta pidetään totuudenmukaisempana kuvamaan desinfiointiaineiden tehoa elintarviketeollisuuden laitteissa kuin suspensiotestiä.

Kaliumpersulfaatti, peretikkahappo, kvaternääriammoniumyhdisteet ja isopropanolia 60 % sisältävä desinfiointiaine tehosivat *L. monocytogenekseen* puhtailla ja likaisilla pinnoilla. Näistä isopropanoli oli hyvin tehokas myös likaisella pinnalla (Aarnisalo ym., 2000). Samassa tutkimuksessa kahdesta testatusta hypokloriitti-desinfiointiaineesta toinen oli tehokkaampi. Tämä johtui todennäköisesti siitä, että valmisteessa olleet pesuaineet poistivat mahdollisesti orgaanista likaa ja tehostivat hypokloriitin vaikutusta.

Jodiliuos ja klorheksidiiniglukonaatti aiheuttivat vähintään 6 log<sub>10</sub> -vähennyksen *L. monocytogenes* -pitoisuudessa teräspinnalla riippumatta siitä oliko pinnalla seerumia tai maitoa. Glutaraldehydi oli myös tehokas vaikkakaan ei yhtä hyvä teräspinnoilla (Best ym., 1990).

Isopropanoli, natriumhypokloriitti ja amiini-butyylidiglykoli tehosivat puhtaalla ruostumattomalla teräspinnalla oleviin *L. monocytogenes* -bakteereihin 10 minuutin altistuksen aikana. Puolen minuutin tai kahden minuutin käsittely

aiheutti alle 3 log<sub>10</sub> -vähennyksen (Grönholm ym., 1999). Kun ruostumattomalla teräspinnalla oli orgaanista likaa, ainoastaan yksi testatuista desinfiointiaineista, joka sisälsi natriumhypokloriittia ja natriumhydroksidia, tehosi *L. monocytogenekseen* (Grönholm ym., 1999). Orgaaninen lika heikentää desinfiointiaineiden toimintaa teräspinoilla.

Tertiäärisiä alkyyliamiineita ja dimetyyliamiinibetaaineita sisältävä desinfiointiaine ei pystynyt tuhoamaan ruostumattomalle teräspinnalle kiinnittyneitä *L. monocytogenes* -bakteereita. Etanoli- ja fenolijohdannaiset eivät tehonneet *L. monocytogenekseen* likaisilla pinnoilla (Aarnisalo ym., 2000). Vetyperoksidiä, peretikkahappoa ja etikkahappoa sisältävä desinfiointiaine sekä kvaternäärisiä ammoniumyhdisteitä sisältävä desinfiointiaine eivät tehonneet *L. monocytogenekseen* (Grönholm ym., 1999). Taulukossa 13 esitetään desinfiointiaineiden vaikutusmekanismeja.

Taulukko 13. Desinfiointiaineiden vaikutusmekanismit (Williams & Worley, 2000).

Desinfiointiaineet	Vaikuttava aine	Vaikutusmekanismi
Alkoholit	Isopropanoli/Etanoli-johdannaiset	Solukalvovauriot, proteiinien denaturoituminen
Kvaternääriset ammoniumyhdisteet	Bentsalkoniumkloridi	Solukalvon entsyymien inaktivointi ja proteiinien denaturointi
Peroksigeenit	Vetyperoksidi/Peretikkahappo	DNA-ketjun katkeaminen, tioliryhmien hapettuminen proteiineissa ja entsyymeissä
Halogeeniyhdisteet	Hypokloriitti/Kloramiini Jodiyhdisteet	DNA-synteesin inhibointi, tioliryhmien hapettuminen
Aldehydit	Glutaraldehydi	Proteiinisidosten muodostuminen
Biguanidit	Klorheksidiini	Sytosolikalvon toiminnan häiriytyminen
Fenolit	Triclosan	Solukalvon toiminta

## Emäksisyyden sieto

Osa desinfiointiin ja pesuun käytetyistä aineista on emäksisiä. *L. monocytogenes* pystyy selviytymään pH-alueella 9,0–11,0 (Vasseur ym., 1999; Taormina & Beuchat, 2001). Viiden *L. monocytogenes* -kannan kasvua eri emäksisyyksissä tutkittiin. Kasvu hidastui emäksisyyden kasvaessa ja pH 11 esti kahden kannan kasvun kokonaan (Vasseur ym., 1999). Taorminan ja Beuchatin (2001) tutkimuksessa bakteerimäärä väheni huomattavasti 45 min käsittelyssä pH:ssa 12,0 ja pH 13,0 tuhosi *L. monocytogenes* -bakteerit kokonaan.

### 6.3.2 *L. monocytogenes*in sopeutuminen desinfiointiaineille

Desinfiointiaineille sopeutumiselle altistavat olosuhteet syntyvät elintarviketeollisuudessa riittämättömien puhdistus- ja desinfiointitoimien vuoksi. Riittämätön pesu ja likaiseksi jääneet pinnat heikentävät aineiden tehoa. Erittäin märkien pintojen desinfiointi tai annosteluvirhe voi johtaa desinfiointiaineen liian pieneen pitoisuuteen, joka ei tuhoa bakteereita vaan aiheuttaa sopeutumista. Myös riittämätön huuhtelu desinfiointin jälkeen voi jättää laitteiden pinnoille desinfiointiainetta pieninä pitoisuuksina (Aase ym., 2000).

Pickettin ja Muranon (1996) tutkimuksessa altistuminen lähes tappavalle pitoisuudelle desinfiointiainetta (kemiallinen sokki) ei lisännyt *L. monocytogenes* -bakteerin kestävyyttä useimmille testatuille desinfiointiaineille, joita olivat klooripohjainen desinfiointiaine, jodofori, kvaternäärinen ammoniumyhdiste, maitohappo, propionihappo ja sitruunahappo. Toisaalta happamalle anionivalmisteelle 350 ppm pitoisuudella altistetut *L. monocytogenes* -bakteerit selvisivät MIC-pitoisuudessa (500 ppm). Kun bakteerit siirrettiin MIC-pitoisuudesta tappavaksi määritettyyn 750 ppm pitoisuuteen, ne selvisivät myös siinä. Ero voi johtua siitä, että anionivalmiste oli käyttöhappamuudessaan dissosioituneessa muodossa, joka heikentää sen mikrobisidistä tehoa. Kun sitruunahapon käyttöliuoksen happamuutta nostettiin siten, että happo oli dissosioituneessa muodossa, *L. monocytogenes* selvisi kemiallisen sokin ja MIC-pitoisuudelle altistamisen jälkeen aiemmin tappavassa konsentraatiossa (Pickett & Murano, 1996). Desinfiointiaineilla käsitellyissä *L. monocytogenes* -bakteereissa todettiin kasvua 24 h inkubaation jälkeen rikastusliemessä. Tämän perusteella desinfiointiaineet voivat aiheuttaa solujen vaurioitumista tuhoutumisen sijaan, jolloin sopivassa ympäristössä *L. monocytogenes* voi elpyä (Sallam & Donnelly, 1992).

*L. monocytogenes* -bakteerin sopeutumista desinfiointiaineille on todettu kvaternäärisillä ammoniumyhdisteillä. Eräälle kvaternääriselle ammoniumyhdisteelle, bentsalkoniumkloridille, herkät *L. monocytogenes* -bakteerit muuttuivat kestävämmiksi kun niitä altistettiin lähes tappaville pitoisuuksille bentsalkoniumkloridia. Elintarviketeollisuudesta eristetyistä 200 kannasta 20 oli kestävämpiä bentsalkoniumkloridille kuin muut kannat (Aase ym., 2000). Elintarvikelaitosten ympäristö- ja elintarvikenäytteistä peräisin olevista 97:stä *L. monocytogenes* -kannasta 7 % oli muita kantoja kestävämpiä kvaternäärisille ammoniumyhdisteille (Mereghetti ym., 2000).

*L. monocytogenes*in sopeutumista on todettu kvaternäärisen ammoniumyhdisteen lisäksi myös tertiääriselle alkyyliamiinille ja natriumhypokloriitille. *L. monocytogenes* ei sen sijaan sopeutunut kaliumpersulfaatille kahden tunnin lähes tappavalle konsentraatiolle altistuksen aikana tai vähitellen lisääntyneelle konsentraatiolle altistumisen aikana (Lundén ym., 2002b).

### 6.3.3. Ristiresistenssi

Ristiresistenssi merkitsee jollekin stressitekijälle syntyneen vastustuskyvyn aiheuttamaa vastustuskykyä toiselle stressitekijälle. *L. monocytogenes*ellä esiintyy ristiresistenssiä esimerkiksi lämmön- ja haponkestävyyden välillä (Phan-Thanh ym., 2000). *L. monocytogenes*in altistuminen ja sopeutuminen pH:lle 5,0 ja lämpökäsittely lisäsi resistenssiä etanolille. Altistuminen lämpökäsittelylle, suolalle, happamuudelle ja etanolille lisäsi merkittävästi *L. monocytogenes*in kestävyttä vetyperoksidille (Lou & Yousef, 1997).

Bakteerit voivat kehittää ristiresistenssiä eri desinfiointiaineiden välillä. Gandhi ym. (1993) totesivat erään ensimmäisistä desinfiointiristiresistensseistä. Piilolinssinesteessä kasvaneet *Serratia marcescens* -bakteerit sopeutuivat nesteessä olleeseen klorheksidiiniin. Sopeutumisen seurauksena bakteerit kykenivät kasvamaan myös piilolinssinesteissä, joissa oli muita desinfiointiaineita kuten bentsalkoniumkloridia (Gandhi ym., 1993). Kvaternäärisille ammoniumyhdisteille, tertiääriselle alkyyliamiinille ja natriumhypokloriitille sopeutetuille *L. monocytogenes* -bakteereille kehittyi ristiresistenssiä muita desinfiointiaineita vastaan. Kaliumpersulfaatille ei kehittynyt ristiresistenssiä, mutta altistuminen kaliumpersulfaatille aiheutti ristiresistenssiä muille desinfiointiaineille (Lundén ym., 2002b).



Desinfiointiaineiden aiheuttama parantunut lämpökestävyys voi aiheuttaa ongelmia elintarviketeollisuudessa. Jos desinfiointi on riittämätöntä, bakteereille voi muodostua ristiresistenssiä joidenkin desinfiointiaineiden ja lämmön välille. *L. monocytogenes* voi selviytyä tehottomasti tehdystä desinfioinnista emäksisillä desinfiointiaineilla. Emäksinen pH parantaa *L. monocytogenesin* lämpökestävyyttä (Taormina & Beuchat, 2001).

*L. monocytogenes* -bakteerien sopeuttaminen vetyperoksidille eksponentiaalisen kasvun vaiheessa johti sitä suurempaan lämpökestävyyteen mitä suurempaa vetyperoksidikonsentraatiota käytettiin. Suurin lämpökestävyys saavutettiin 500 ppm:n konsentraatiolla. *L. monocytogenes* tuhoutui 750 ppm:n vetyperoksidikonsentraatiolla (Lou & Yousef, 1996). Kloorille altistaminen sen sijaan alensi *L. monocytogenes* -bakteerien lämpökestävyyttä 56 °C:ssa. Lämpökestävyys aleni sitä enemmän, mitä pidempi käsittely oli (Taormina & Beuchat, 2001). Eri pesuainevalmisteille altistettujen *L. monocytogenes* -bakteerien  $D_{56^{\circ}\text{C}}$ -arvot olivat kontrollibakteereita pienempiä. Sen sijaan natriumhydroksidia sisältävälle pesuaineelle altistetuilla *L. monocytogenes* -bakteereilla oli merkittävästi suurempi D-arvo (Taormina & Beuchat, 2002).

### 6.3.4 Desinfiointiaineiden tehoon vaikuttavia tekijöitä

#### Biofilmit

Desinfiointiaineiden teho biofilmissä oleviin bakteereihin on yleensä huonompi kuin irrallaan oleviin bakteereihin ja vaadittavat pitoisuudet ovat siten suurempia. Natriumhypokloriitti tuhosi vapaana suspensiossa olevat *L. monocytogenes*, *Pseudomonas fragi* ja *Staphylococcus xylosus* -bakteerisolut 10 ppm:n konsentraatiossa 30 sekunnissa. Bakteerien muodostamaa biofilmiä käsiteltiin 1000 ppm:n pitoisuudessa 20 minuuttia, jolloin *L. monocytogenes* laski vain 1,75 log<sub>10</sub>, *P. fragi* 2,56 log<sub>10</sub> ja *S. xylosus* 2,84 log<sub>10</sub>. Valmistajien suosittelema korkein konsentraatio natriumhypokloriittia ei-huokoisille pinnoille on 200 ppm vapaata klooria (Norwood & Gilmour, 2000).

*L. monocytogenes* -bakteerit tuhoutuivat bentsalkoniumkloridissa 30 sekunnissa konsentraation ollessa 100 ppm. Biofilmissä olevat bakteerit vähenivät 30 sekunnin aikana vain 2–3 log<sub>10</sub> riippumatta konsentraatiosta (100, 400, 800 ppm). Tämän jälkeen resistentti *L. monocytogenes* -populaatio säilyi muuttumat-

tomana ainakin 20 minuuttia. Gram-positiiviset bakteerit voivat tuottaa soluseinään lipoteikkohappoja, jotka voivat estää desinfiointiaineiden vaikutusta. Lipoteikkohappojen tuotanto voi stimuloida, kun bakteeri kasvaa pinnoille kiinnittyneenä (Frank & Koffi, 1990). Mustaphan ja Liewenin (1989) tutkimuksessa kvaternäärisellä ammoniumdesinfiointiaineella todettiin sama teho sekä liemessä että ruostumattomalle teräkselle kiinnittyneillä *L. monocytogenes* -bakteereilla. Frankin ja Koffin (1990) mukaan ero voi johtua näytteen käsitte-lystä; Mustapha ym. eivät mekaanisesti irrottaneet bakteereita teräslevyltä desinfioinnista selviytyneiden bakteerien määrittämistä varten.

Fatemi ja Frank (1999) tutkivat ruostumattomalle teräkselle muodostuneen *L. monocytogenes* ja *Pseudomonas* -biofilmin desinfiointia hypokloriitilla, peretikkahapolla sekä vetyperoksidin, etikkahapon ja oktanoidihapon seoksella. Elintarvikkeista peräisin olevan orgaanisen lian todettiin vaikuttavan biofilmin tuhoutumiseen. Hypokloriitin teho oli merkittävästi huonompi kuin muilla testatuilla desinfiointiaineilla maidossa kasvatettujen biofilmien tuhoamisessa ja silloin kun desinfiointiaineisiin sekoitettiin maitoa (Fatemi & Frank, 1999).

## Lämpötila

Natriumhypokloriittiliuoksen lämpötila ja happamuus vaikuttavat *L. monocytogenes*in tuhoutumiseen. *L. monocytogenes*in resistenssi oli voimakkainta 25 °C:n lämpötilassa. 35 °C:n lämpötilassa resistenssi väheni hieman, mutta 5 °C:n lämpötilassa resistenssi väheni merkittävästi. Lämpötila vaikuttaa desinfiointiaineen kulkeutumiseen bakteerin solukalvon läpi vaikutuskohtaansa (El-Kest & Marth, 1988b).

Toiset desinfiointiaineet voivat menettää tehoaan viileissä lämpötiloissa. Taylor ym. (1999) tutkivat desinfiointiaineiden tehoa eri lämpötiloissa. Kvaternäärinen ammoniumyhdiste ja amfoteerinen desinfiointiaine tehosivat 20 °C lämpötilassa, mutta eivät 10 °C:n lämpötilassa. Desinfiointiaineita tarvitaan 2–3-kertaisina konsentraatioina *L. monocytogenes*in inaktivoimiseen jos likaantuminen tapahtuu 20 C:ssa ja puhdistus 4 C:ssa, kuin jos likaantuminen ja puhdistus tapahtuvat molemmat 20 C:ssa (Mafu ym., 1990b).

## Happamuus

Kloriittiliuoksen happamuuden laskiessa sen vaikutus *L. monocytogenes* -bakteeriin lisääntyy. Matalassa pH:ssa hypokloorihappo on ionisoitumattomana, jolloin se pääsee solukalvon läpi ja sen bakterisidinen vaikutus on suurempi. Happamuus vaikuttaa lämpötilaa enemmän hypokloriitin tehoon (El-Kest & Marth, 1988b).

### 6.3.5 *L. monocytogenes*in resistenssimekanismeja

Elintarviketeollisuuden näkökulmasta resistentti bakteeri voitaisiin määritellä sellaiseksi lajiksi tai kannaksi joka kykenee selviytymään paremmin toistuvista pesuista ja desinfioinnista (Holah ym., 2002). Resistenssi voi olla sisäsyntyistä eli mutaation kautta saatu ominaisuus tai hankittu, esimerkiksi plasmidivälitteinen tai transposonivälitteinen ominaisuus (McDonnell & Russell, 1999). *L. monocytogenes*ellä on havaittu sekä sisäsyntyisiä resistenssimekanismeja että mahdollista plasmidivälitteistä resistenssiä desinfiointiaineille (Earnshaw & Lawrence, 1998; Lemaître ym., 1998; Mereghetti ym., 2000).

Plasmidien merkitys *L. monocytogenes*in desinfiointiaineresistenssissä ei ole selvä. Lemaître ym. (1998) tutkivat 208 *Listeria* spp. -kanta, joista 6,7 %:sta löydettiin plasmidivälitteinen resistenssi etidiumbromidille, heksamidiinille ja bentsalkoniumkloridille. Plasmidit olivat yleisempiä siipikarjanruhoista eristetyissä kannoissa kuin muista elintarvikkeista tai ihmisistä eristetyissä kannoissa (Lemaître ym. 1998). Toisaalta Earnshaw ja Lawrence (1998) totesivat, että resistenssissä kolmelle kaupalliselle desinfiointiaineelle ei ollut eroa sellaisten *L. monocytogenes* -kantojen välillä, joilla oli plasmidi tai ei ollut plasmidia. Mereghettin ym. (2000) tutkimuksessa seitsemästä kvaternäärisille ammoniumyhdisteille resistentistä *L. monocytogenes* -kannasta kolmella oli plasmidi. Resistenssi ei hävinnyt näistä kannoista plasmidin poiston myötä.

Altistuminen kvaternääriselle ammoniumyhdisteelle, bentsalkoniumkloridille, indusoi protoniulosvirtauspumpun toiminnan *L. monocytogenes*in solukalvolla (Aase ym., 2000). *L. monocytogenes*ellä on todettu "multidrug resistance efflux pump" (MdrL) eli useille eri lääkevalmisteille resistenssiä aiheuttava ulosvirtauspumppu (Huillet ym., 1999). *L. monocytogenes*in resistenssi kvaternäärisille ammoniumyhdisteille ei ylittänyt kaupallisen valmistajien suosittelemia käyttökonsentraatioita (Holah ym., 2002).

### 6.3.6 *L. monocytogenes* -kantojen väliset erot

Aarnisalón (2000) tutkimuksessa kolmen eri ribotyypin välillä ei havaittu merkittävää eroa kestävyudessa desinfiointiaineille. El-Kest ja Marth (1988) totesivat kolmen eri *L. monocytogenes* -kannan välillä olevan resistenssieroja hypokloriitille. California-kanta oli kestävin ja V7-kanta herkin. Scott A-kannan resistenssi oli näiden kantojen välillä.

Kolmen eri desinfiointiaineen tehokkuutta vertailtiin 19 eri *L. monocytogenes* -kannan tuhoamisessa suspensiossa. Testatut desinfiointiaineet olivat kvaternäärinen ammoniumyhdiste, metallihydroksidiyhdiste ja metalli-hydroksidin ja epäorgaanisen kloridin yhdiste. Käyttöliuoksina kaikki desinfiointiaineet aiheuttivat 5 log<sub>10</sub> vähenemisen ja olivat siten tehokkaita. Käyttöliuosta laimeammilla pitoisuuksilla eri kantojen kestävyudessa oli merkittäviä eroja. Yleensä kanta, joka oli resistenssi jollekin desinfiointiaineelle, oli herkkä toiselle (Earnshaw & Lawrence, 1998).

#### Persistoivat *L. monocytogenes* -kannat

Persistoiva *L. monocytogenes* -kanta on sellainen kanta, joka löytyy elintarvikelaitoksesta toistuvasti. Desinfiointiresistenssin ja laitoksissa persistoivien *L. monocytogenes* -kantojen välisestä yhteydestä on kirjallisuudessa esitetty ristiriitaisia tietoja. Earnshaw ja Lawrence (1998) eivät todenneet eroa kvaternäärisen ammoniumyhdisteen resistenssissä sporadisten ja persistoivien elintarvikelaitoksista eristettyjen kantojen välillä. Holah ym. (2002) mukaan elintarvikelaitoksissa vallitsevat olosuhteet voivat valikoida persistoivia kantoja biofilmin muodostamisen, kiinnittymisen, lämpötila- ja pH-erojen sietämisen suhteen. Persistointi ei niinkään liittyisi desinfiointiaineresistenssiin. Aase ym. (2000) totesivat, että kolmessa neljästä laitoksesta dominoiva *L. monocytogenes* -kanta oli bentsyyliammoniumkloridiresistentti. Neljännessä laitoksessa resistentti kanta ei ollut dominoiva, mutta säilyi laitoksessa koko tutkimusjakson ajan. Lundén ym. (2002b) totesivat, että persistoivat kannat olivat kestävämpiä kvaternäärisille ammoniumyhdisteille kuin sporadiset kannat. Sopeuttamisen seurauksena resistenssi lisääntyi sporadisilla kannoilla enemmän kuin persistoivilla kannoilla, mutta saavutettu resistenssi ei ylittänyt persistoivien kantojen resistenssiä.

## **6.4 *L. monocytogenes*in kestävyys ja sopeutuminen lämmölle ja happamuudelle**

Riina Tolvanen, Elintarvike- ja ympäristöhygienian laitos, Helsingin yliopisto

### **6.4.1 *L. monocytogenes* ja lämpö**

*L. monocytogenes* kasvaa 0–45 °C lämpötiloissa, kasvuympäristön ravinteista riippuen vaihtelevalla tehokkuudella (Junttila ym. 1988, Lou & Yousef 1999). *L. monocytogenes* on havaittu kasvavan myös tätä alhaisemmissa lämpötiloissa, kuten -0,1 °C – -0,4 °C lämpötiloissa maidossa ja kanaliemessä (Walker ym. 1990). Alhaisin raportoitu kasvulämpötila on ollut -1,5 °C:ssa, vakuumipakatussa paahtopaistissa (Hudson ym., 1994). Yleensä yli 50 °C lämpötilat tuhoavat *L. monocytogenes*in (Lou & Yousef, 1999). Pastorointiprosessi 71,7 °C 15 sekunnin ajan on useimpien tutkimusten mukaan riittävä tuhoamaan maidossa olevat *L. monocytogenes* -bakteerit.  $D_{71,7\text{ °C}}$ -arvoiksi on saatu 0,9–2,7 sekuntia tutkittaessa raakamaitoa, steriloitua maitoa, kokomaitoa ja rasvatonta maitoa (Bunning ym., 1986; Bradshaw ym., 1987). D-arvo määritellään ajaksi, jossa bakteeeripopulaatiosta tuhoutuu 90 % tietyssä lämpötilassa.

### **6.4.2 Lämpökestävyyteen vaikuttavia tekijöitä**

#### **Bakteerin kasvuvaihe**

*L. monocytogenes*in kasvuvaihe vaikuttaa bakteerin lämpökestävyyteen. Muuttumattoman kasvun vaiheessa (stationäärivaihe) lämpökestävyys on suurempi kuin muissa kasvun vaiheissa. Eksponentiaalisen kasvuvaiheen bakteereihin verrattuna muuttumattoman kasvun vaiheen bakteerit kestävät lämpökäsittelyjä 4–8 kertaa paremmin (Lou & Yousef, 1996; Jørgensen ym., 1999).

Muuttumattoman kasvuvaiheen solut ja näännetyt solut muuttuvat itiön kaltaiseen tilaan. Tällöin bakteerien koko pienenee ja solukalvon ominaisuudet muuttuvat. Useilla bakteerilajeilla solukalvon rasvahappokoostumus muuttuu, metabolia heikkenee ja stressiproteiineja tuotetaan vasteena stressiin (Siegele & Kolter, 1992).

## Kasvulämpötilan vaikutus

Kasvulämpötila vaikuttaa *L. monocytogenes*en lämmönkestävyyteen. Korkeassa lämpötilassa kasvaneet bakteerit kestävät lämpöä paremmin kuin matalammissa lämpötiloissa kasvaneet (Knabel ym., 1990; Farber & Pagotto, 1992; Lou & Yousef, 1999). *L. monocytogenes* -bakteerien kasvatus korkeassa lämpötilassa (43 °C) paransi lämpökestävyyttä enemmän kuin lämpösokki samassa lämpötilassa (43 °C) (Knabel ym., 1990). Kasvulämpötila vaikuttaa bakteerisolun lipidi- ja proteiinisynteesiin sekä solukalvojen koostumukseen (Juneja ym., 1998).

Lämpösokki on hetkellinen bakteerien altistuminen kasvulämpötilaansa korkeammalle lämpötilalle. Lämpösokki lisäsi *L. monocytogenes* -bakteerien lämpökestävyyttä 2–4-kertaiseksi verrattuna bakteereihin, joita ei altistettu lämpösokille (McMahon ym., 2000). Lämpösokin vaikutus riippuu *L. monocytogenes* -kannasta, kasvuympäristön pH:sta ja lämpösokin kestosta (Doyle ym., 2001). Lihassa kasvatettujen *L. monocytogenes* -bakteerien lämpökestävyys kasvoi kun lämpösokin pituutta lisättiin 30 minuutista 120 minuuttiin (Farber & Brown, 1990). Myös bakteerin kasvuvaihe vaikuttaa lämpösokkivasteeseen. Muuttumattoman kasvun vaiheessa merkittävää lämmönkestävyyden muutosta ei tapahdu (Jørgensen ym., 1999).

Kontrollibakteerien ja 30 minuutin lämpösokille altistettujen bakteerien  $D_{64^{\circ}\text{C}}$ -arvot eivät eronneet merkittävästi, mutta kahden tunnin lämpösokki 48 °C:ssa lisäsi lämpökestävyyttä merkittävästi (Farber & Brown, 1990). Voimakkain lämpökestävyyttä aiheuttava vaikutus syntyy kun lämpösokkilämpötila on 10–15 °C korkeampi kuin bakteerin optimikasvulämpötila (Lindquist, 1986). Farberin ja Brownin (1990) tutkimuksessa lämpösokki 44–48 °C:ssa oli optimi *L. monocytogenes*en lämpökestävyyden indusoimiseen. Lämpösokin aiheuttama lämmönkestävyyden paraneminen voi kestää useita tunteja. Sekä lämpösokin saaneiden että kontrollibakteereiden lämpökestävyys laski 4 °C:ssa 24 h säilytyksen jälkeen, mutta lämpösokin saaneilla bakteereilla lämpökestävyys pysyi edelleen korkeammalla tasolla kuin kontrollibakteereilla (Farber & Brown, 1990).

## Hidas kuumennus

Hidas kuumennus lisää *L. monocytogenes*en lämpökestävyyttä. Jos elintarvike kuumennetaan hitaasti, *L. monocytogenes* -bakteerit voivat selviytyä samoista

lämpötiloista, joissa ne nopeasti kuumennettaessa tuhoutuisivat (Quintavalla & Campanini, 1991). Sianlihassa *L. monocytogenes*  $D_{60\text{ °C}}$ -arvo oli hitaan kuumennuksen (1,3 °C/min) jälkeen 9,2 minuuttia ja nopean kuumennuksen (8,0 °C/min) jälkeen 5,5 minuuttia (Kim ym. 1994). Hitaan kuumennuksen aikana *L. monocytogenes* pystyy sopeutumaan lämpötilaan ilmeisesti lämpöshokki-proteiinien avulla (Doyle ym., 2001).

## Ristiresistenssi

Ristiresistenssi merkitsee stressiä aiheuttavien tekijöiden, kuten suolaisen tai ravinnepöyhän ympäristön aiheuttaman resistenssin aiheuttamaa kestävyyttä myös toisille stressitekijöille kuten lämmölle. Esimerkiksi seitsemän päivän ajan ravinnepöyhällä alustalla näännytetyillä *L. monocytogenes* -bakteereilla oli 1000-kertainen resistenssi lämmölle verrattuna näännyttämättömiin bakteereihin (Pagán ym., 1999). Lämpöresistenssi kasvaa sitä suuremmaksi mitä pidempään *L. monocytogenes* -bakteereita näännytetään (Pagán ym., 1999; Lou & Yousef, 1996). Elintarviketeollisuudessa *L. monocytogenes* voi kokea nääntymistä laitteiden pinnoilla (Lou & Yousef, 1996).

Bakteerien sopeutuminen happamaan ympäristöön vaikuttaa lämpökestävyyteen. Lämpöresistenssi kasvoi eniten pH:ssa 4,5 kasvatetuissa bakteereissa, kun *L. monocytogenes* -bakteereita kasvatettiin pH 4,0–7,0 välillä (Lou & Yousef, 1996). Toisaalta kasvu ympäristön happamuuden lisääntymisen on todettu vähentävän *L. monocytogenes* -bakteerien lämpökestävyyttä (Juneja & Eblen, 1999).

Happamissa oloissa kasvaneiden *L. monocytogenes* -bakteerien lämpökestävyys oli sitä suurempi mitä matalampia kasvatuslämpötiloja oli käytetty. Sitä vastoin neutraalissa pH:ssa lämpökestävyys lisääntyi korkeissa kasvatuslämpötiloissa. Ero voi johtua happamuuden ja matalan lämpötilan yhteisvaikutuksena tuottamasta suuremmasta stressivasteesta (Juneja ym., 1998).

Myös lyhytaikainen altistuminen kasvu ympäristön happamuutta suuremmalle happopitoisuudelle aiheuttaa lämpökestävyyden parantumista joissain *L. monocytogenes* -kannoissa. Suolahapposokin pituudesta riippumatta *L. monocytogenes* -bakteereilla oli suurempi lämpökestävyys suolahapolla käsittelemättömiin bakteereihin verrattuna. Tässä tutkimuksessa happosokki etikkahapossa ei aiheuttanut vastaavaa lämpökestävyyden lisääntymistä (Farber & Pagotto, 1992).

Kasvuympäristön suolapitoisuus vaikuttaa lämpökestävyyteen. Korkeassa suolapitoisuudessa kasvaneiden *L. monocytogenes* -bakteerien lämpökestävyys on parempi kuin matalassa suolapitoisuudessa kasvaneiden bakteerien (Juneja & Eblen, 1999).

Rasvan vaikutusta lämpökestävyyteen on tutkittu maidossa ja lihassa. Jauheli-  
hassa *L. monocytogenes* kesti lämpökäsittelyä paremmin sellaisessa lihassa,  
jossa oli 30,5 % rasvaa, kuin lihassa, jossa oli 2,5 % rasvaa (Fain ym., 1991). 13-  
prosenttisessa kermassa, 56-prosenttisessa kermassa ja voissa (83 % rasvaa)  
kasvatettujen *L. monocytogenes* -bakteereiden lämpökestävyys oli suurin voissa  
kasvatetuissa. Tämä voi johtua voinin vähäisestä ravinnepitoisuudesta, joka saa  
aikaan stressireaktion *L. monocytogenes* -bakteereissa. Jos bakteereja taas  
kasvatettiin ravinneliemessä ja siirrostettiin edellä mainittuihin tuotteisiin  
kuumennuskäsittelyä varten, bakteerien lämpökestävyys oli tällöin heikoin  
voissa (Casadei ym., 1998). Taulukossa 14 esitetään *L. monocytogenes*  
lämpökestävyyteen vaikuttavia tekijöitä.

Taulukko 14. *L. monocytogenes* lämpökestävyyteen vaikuttavia tekijöitä.

Tekijä	Lämpökestävyys	Viite
Matala pH	↑	Lou & Yousef, 1996
Lämpösokki	↑	McMahon ym., 2000
Korkea kasvulämpötila	↑	Farber ym., 1992
Korkea suolapitoisuus	↑	Juneja & Eblen, 1999
Rasva	↑	Fain ym., 1991
Näättyminen	↑	Pagán ym., 1999
Stationäärikasvuvaihe	↑	Lou & Yousef, 1996

#### 6.4.3 *L. monocytogenes* sopeutumismekanismit lämmölle

Lämpösokin vaikutuksesta bakteerit alkavat tuottaa proteiineja, joita kutsutaan lämpösokkiproteiineiksi (HSP). HSP:t aiheuttavat tilapäisen, hankitun lämpökestävyyden (Watson, 1990). *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* alkaa tuottaa lämpösokkiproteiineja 0–10 min kuluttua altistuksen alkamisesta. Joidenkin lämpösokkiproteiinien tuotto loppuu noin 20 min kuluttua, toisia tuotetaan pidempään (Gouesbet ym., 2002).



#### **6.4.4 *L. monocytogenes* -kantojen välisiä eroja**

Samanlaisissa olosuhteissa kasvatettujen *L. monocytogenes* -kantojen välillä on havaittu 2,5–3-kertaisia eroja lämmönkestävyydessä (Doyle ym., 2001). Eri *L. monocytogenes* -kantojen lämpökestävyyttä on tutkittu 40 minuutin käsittelyllä 55 °C:ssa elintarvike- ja ympäristöhygienian laitoksella Helsingin yliopistossa. Kuolleisuus li 1–3,8 log<sub>10</sub>-yksikköä. Useimpien kantojen kuolleisuus oli 1–2 log<sub>10</sub> (Lundén, 2002). Lämpökestävyyden vaihtelu voi vaikuttaa selviytymiseen tietyissä olosuhteissa.

#### **6.4.5 *L. monocytogenes* ja happamuus**

*L. monocytogenes* kasvaa alle pH:ssa 5, mikäli lämpötila on lähellä optimikasvulämpötilaa (Lou & Yousef, 1999). Kasvua on todettu pH:ssa 4,2–4,3, kun happamoittamiseen on käytetty suolahappoa (George ym., 1988; Farber ym., 1989a). Orgaanisilla hapoilla alimmaksi kasvuhappamuudeksi on todettu 4,4 (Farber ym., 1989a). Bakteeri voi kuitenkin selviytyä alhaisemmassa pH:ssa, vaikka kasvua ei tällöin tapahdu (Lou & Yousef, 1999).

#### **6.4.6 Happokestävyyteen vaikuttavia tekijöitä**

##### Kasvuvaihe

Muuttumattoman kasvun vaiheessa (stationäärivaihe) *L. monocytogenes* on luonnostaan kestävämpi happamuudelle kuin muissa kasvun vaiheissa. Tämä haponkestävyys on samansuuruinen kuin eksponentiaalisen kasvuvaiheen soluilla, jotka on sopeutettu hapolle (Phan-Thanh ym., 2000). Eksponentiaalisen kasvuvaiheen keskivaiheilla *L. monocytogenes* -bakteerin herkkyys happamuudelle on kaikkein suurin (O'Driscoll ym., 1996).

##### Happaman ympäristön vaikutus

Happamassa ympäristössä kasvu lisää *L. monocytogenes* -bakteerin happokestävyyttä. Lievään happamuuteen (pH 5,0) sopeutuneet *L. monocytogenes* -bakteerit selvisivät paremmin pH:ssa 3,0 kuin neutraalissa happamuudessa kasvatetut bakteerit (Kroll & Patchett, 1992). *L. monocytogenes* Scott A -kannan kestävyttä pH:ssa 3,5 tutkittiin erilaisten happokäsittelyjen jälkeen. Lievälle happa-

muudelle (pH 5,0) ja vähitellen kasvavalle happamuudelle (pH 5,0 ja pH 4,5) sopeutuneet *L. monocytogenes* -bakteerit kestivät paremmin pH:ssa 3,5 kuin korkealle happamuudelle (pH 4,5) suoraan altistettut. Kaikki happokäsittelyt lisäsivät haponkestävyyttä käsittelemättömiin kontrollibakteereihin verrattuna. Elintarviketuotannossa bakteerit voivat altistua yleisesti lievälle happamuudelle ja vähitellen kasvavalle happamuudelle (Lou & Yousef, 1997).

Happosokki merkitsee bakteerin altistumista lyhytaikaisesti normaalia happammammalle ympäristölle. Happokäsittely laukaisee *L. monocytogenes* -bakteerissa stressivasteen, joka suojaa bakteeria normaalisti tappavilta happokäsittelyiltä. Tunnin verran lievälle happamuudelle (pH 5,5) altistettut *L. monocytogenes* -bakteerit kestivät paremmin käsittelyä pH:ssa 3,5 kuin kontrolliryhmän bakteerit, jotka siirrettiin suoraan neutraalista kasvatushappamuudesta happamaan ympäristöön (O'Driscoll ym., 1996).

Happokäsittelyn kesto vaikuttaa happokestävyyteen. Pitkäaikaisen altistuksen (24 tuntia) jälkeen haponkestävyys on heikompi kuin lyhyen altistuksen jälkeen. Muutaman tunnin sopeuttaminen aiheuttaa suurimman haponkestävyyden (Phan-Thanh ym., 2000).

### Ristiresistenssi

Happamaan ympäristöön sopeutuneilla *L. monocytogenes* -bakteereilla on lisääntynyt kestävyys muillekin stressitekijöille, kuten lämmölle, suolaisuudelle ja etanolille (Phan-Thanh ym., 2000; O'Driscoll ym., 1996). Etanolikäsittely lisää merkittävästi *L. monocytogenes* -bakteerien kestävyttä happamuudelle (Lou & Yousef, 1997).

Kasvulämpötila ja happosokin lämpötila vaikuttavat *L. monocytogenes* -bakteerien kestävyteen. Korkeammassa lämpötilassa (30 °C) kasvatetut *L. monocytogenes* -bakteerit kestivät happosokkia pH:ssa 2,5 paremmin kuin matalassa lämpötilassa (10 °C) kasvatetut (Patchett ym., 1996).

### Orgaaniset ja epäorgaaniset hapot

*L. monocytogenes* kestää paremmin epäorgaanisia kuin orgaanisia happoja. *L. monocytogenes* LO28 -kannan bakteereista 96 % selvisi 30 minuutin happo-

sokista pH:ssa 3,8, kun happona käytettiin suolahappoa. Etikkahappokäsittelystä selvisi vain 31 % bakteereista (Phan-Thanh ym., 2000).

Orgaaniset hapot ovat heikkoja happoja, jotka ovat vesifaasissa osittain dissoitumattomassa muodossa. Dissosioitumaton etikkahappo voi kulkea bakteerin solukalvon läpi poriinien ja permeaasien kautta. Solulimassa happo dissoioituu, jolloin solu happamoituu. Tämä häiritsee solukalvon protonipumppujen toimintaa ja ehkäisee yhdisteiden kuljetusta solukalvon läpi (Phan-Thanh ym., 2000). Orgaanisista hapoista *L. monocytogenes* kestää paremmin maitohappoa kuin etikkahappoa, koska maitohappo ei voi kulkeutua passiivisesti solukalvon läpi. (Vasseur ym., 1999). Orgaanisten happojen aiheuttama happokestävyysvaste on parempi kuin suolahapon aiheuttama (O'Driscoll ym., 1996).

#### **6.4.7 *L. monocytogenes*in sopeutumismekanismit happamuudelle**

##### Solunsisäisen happamuuden säätely

Solunsisäinen pH vaihtelee eri *L. monocytogenes* -kantojen välillä samoissa ulkoisissa pH-olosuhteissa. Eri kannoilla on erilaiset solukalvo-ominaisuudet, jonka vuoksi protonit kulkeutuvat solukalvon läpi eri mekanismeilla. Solunsisäinen pH vaikuttaa solun metaboliaan ja siten bakteerin selviytymiseen. Ulkoisen pH:n ollessa 3,8 solunsisäinen pH oli suolahapossa 4,46 ja etikkahapossa olevilla bakteereilla 3,58 (Phan-Thanh ym., 2000).

##### Solukalvojen rasvahappokoostumus

Solukalvojen rasvahappokoostumuksessa ei todettu suuria muutoksia happamaan ympäristöön sopeutumisen seurauksena. Happamuuteen sopeutuneilla *L. monocytogenes* -kannoilla oli merkittävästi enemmän tyydyttyneitä suoraketjuisia C14:0- ja C16:0-rasvahappoja ja vähemmän C18:0-rasvahappoja kuin happamuuteen sopeutumattomilla *L. monocytogenes* -kannoilla (van Schaick ym., 2002).

##### Proteiinien tuotto

Happamissa olosuhteissa *L. monocytogenes* lisää proteiinisynteesiä ja tuottaa sellaisia proteiineja, joita ei tuoteta neutraalissa pH:ssa. Koska happoresistenssi

suojaa *L. monocytogenes* myös muilta stressitekijöiltä, voi osa proteiineista olla hsp-lämpösokkiproteiineja (O’Driscoll ym., 1996; Phan-Thanh ym., 2000).

#### **6.4.8 *L. monocytogenes* -kantojen välisiä eroja haponkestävyydessä**

Viiden *L. monocytogenes* -kannan kasvua tutkittiin eri pH- arvoilla suolahapolla, etikkahapolla ja maitohapolla. Kantojen välillä oli eroja herkkyydessä happamuudelle. Kaksi kantaa oli muita kestävämpiä kaikille testatuille hapoille, niiden lag-vaihe eli kasvuunlähtö oli 3–4 kertaa lyhyempi kuin muilla kannoilla (Vasseur ym., 1999). *L. monocytogenes* -kantojen kestävyttä kahden tunnin käsitelystä pH:ssa 2,4 on tutkittu elintarvike- ja ympäristöhygienian laitoksella Helsingin yliopistossa. Kuolleisuus oli 0,3–6,6 log<sub>10</sub>. Useimmilla kannoilla kuolleisuus oli 1–2 log<sub>10</sub> (Lundén, 2002).

## 7. Laitteiden puhdistuvuus- ja desinfiointitoimet

### 7.1 Pesut mikrobien poistajana prosessipinnoilta

Mari Arpiainen, Satu Salo & Gun Wirtanen, VTT Biotekniikka

Tuotantohygienian hallinta on tärkeä osa elintarvikeyrityksen omavalvontaa ja kokonaisvaltaista laatuajattelua. Korkea tuotantohygienia takaa tuotteiden puhautuksen niiden käsittelyn aikana sekä varmistaa niiden turvallisuuden ja hyvän elintarvikehygieenisen laadun (Luotola, 1998). Elintarviketeollisuudessa pesuilla pyritään sekä mikrobiologisesti että kemiallisesti puhtaaseen lopputulokseen. Tätä ajatellen paras pesutulos saadaankin aikaan pesemällä pinnat ensin sopivan väkevyisellä pesuaineliuoksella ja suorittamalla lopuksi desinfiointi (Bylund, 1995; Wirtanen, 1995; Storgårds, 2000). Esimerkki elintarvikeprosessin pesu- ja desinfiointivaiheista on: 1) kuiva puhdistus imuroimalla tai harjaamalla näkyvä lika laitteista ja tiloista, 2) näkyvän lian huuhteleminen laitteista viemäriin, 3) näkyvän lian poisto koko prosessitilasta pesulla ja huuhtelulla, 4) laitteiden pesu esim. kiertopesu suljetussa prosessissa ja vaahtopesu avoimessa prosessissa, 5) lian ja pesuainejäämien huuhteleminen prosessipinnoilta esim. turbulentivirtauksella suljetussa systeemissä ja paineistetulla vedellä avoimissa systeemeissä, 6) prosessipintojen ja ympäristön desinfiointi sekä 7) prosessilaitteiden ja -tilojen kuivuminen (Holah, 1992; Wirtanen ym., 1997, 2002b).

Pesutulokset voidaan jakaa neljään eri ryhmään puhtausasteen mukaan (Holah, 1992). Fysikaaliseen puhtauteen riittää näkyvän lian poistaminen pinnoilta. Kemiallinen puhtaus edellyttää näkyvän lian ohella mm. puhdistukseen käytettyjen kemikaalijäämien poistoa. Pinnat, joilta ei löydy eläviä mikrobeja, ovat mikrobiologisesti puhtaita. On kuitenkin huomattava, että mikrobiologisesti puhdas ei aina ole fysikaalisesti ja kemiallisesti puhdas (Bylund, 1995). Neljäs puhtauden määritelmä Holahin (1992) mukaan on steriiliys, jolloin pinnalta ei löydy mikrobien lisäksi myöskään itiöitä eikä entsyymejä.

### 7.1.1 Pesutuloksen vaikuttavia tekijöitä

Pintojen puhdistuvuuteen vaikuttavat useat eri tekijät, kuten puhdistettavan pinnan materiaalin ja poistettavan lian ominaisuudet. Se, onko puhdistuksen kohde ns. kylmä vai kuuma pinta vaikuttaa puhdistuvuuteen. Bylundin (1995) mukaan kylmien pintojen kohdalla on oleellista aloittaa pesu heti tuotantoprosessin loputtua siten, etteivät tuotejäämät pääse kuivahtamaan pinnoille. Kuumennettavat laitepinnat ovat puhdistuksen kannalta hankalampia tapauksia. Pesuaineiden tehokkuuteen vaikuttaa myös pesulämpötila. Daufin ym. (1987) suosittelevat happamille pesuaineille +60–70 °C ja emäksisille vähintään + 70–80 °C. Lämpötilan nostaminen parantaa pesutehoa nopeuttamalla kemiallisia reaktioita. Korkeiden lämpötilojen käytöllä vaikutetaan heikentävästi myös mikrobien selviytymismahdollisuuksiin. Lämpötilan valintaan vaikuttaa ensisijaisesti käytettävän pesuaineen vaatimukset, pestävä materiaali ja käytettävä pesumenetelmä. Proteiinipohjaisen lian irrottamiseen alhaisemmat lämpötilat ovat suositeltavia, kun taas rasva irtoaa paremmin korkeissa pesulämpötiloissa (Bylund, 1995; Luotola, 1998). Laitteiden ja prosessien on oltava hygieenisesti suunniteltuja ja rakennettuja niin, että ne ovat puhdistuvia (Lelieveld, 2002a, b; Lorenzen, 2002).

Pesutapahtumaan vaikuttavat käytetyn pesuaineen sisältämät kemikaalit, pesuliuoksen lämpötila ja vaikutusaika, käytetty pesuainevahvuus sekä mekaaninen vaikutus, joka aikaansaadaan joko virtauksella tai paineella. Tekijöiden yhteisvaikutus määrää pesutehon ja ne ovat myös eräänlaisessa riippuvuussuhteessa toisiinsa nähden: Jonkin tekijän heikkeneminen on korvattava samaan pesutulokseen pääsemiseksi muita tekijöitä voimistamalla (Bylund, 1995; Wirtanen, 1995; Wirtanen ym., 1997). Alhaisempi pesuainevahvuus vaatii pidemmän vaikutusajan ja vastaavasti mekaanisen vaikutuksen ollessa voimakasta voidaan pesuliuoksen muita ominaisuuksia "heikentää". Pesuparametrejä valittaessa tulee kiinnittää huomiota myös taloudellisiin näkökohtiin. Tavoitteena on saavuttaa optimaalinen pesutulos huomioimalla myös tarvittavan työvoiman, lämpö- ja sähköenergian sekä vedenkulutuksen aiheuttamat kustannukset (Daufin ym., 1987).

Yksi tärkeimmistä tekijöistä valittaessa sopivaa pesuainetta on käytettävä pesumenetelmä, eli se, tapahtuuko pesu suljetussa pesukierrossa vai onko kyseessä prosessilaitteiden ja työvälaineiden pintapesu. Kiertopesuissa esimerkiksi pesuaineen vaahdonmuodostus on epätoivottava ilmiö, kun taas pintojen

vaahtopesuissa se on välttämätön ominaisuus. Pesumenetelmän lisäksi pesuaineen valinta riippuu pestävästä pintamateriaalista ja poistettavasta likatyypistä. Kaikkien koneiden pintamateriaaleille eivät esimerkiksi sovi pesuaineet, jotka sisältävät suuria emäspitoisuuksia tai klooria. Likatyypin puolestaan määrää sen, suoritetaanko prosessissa happo- vai emäspesu vai kenties niiden yhdistelmä. Myös halutulla hygieenisyydellä on oma merkityksensä pesuaineen valintaan ja varsinkin sen käyttöliuoksen väkevyyteen (Troller, 1993).

Emäksiset pesuaineet ovat yleensä hydroksidi-pohjaisia (NaOH, KOH) ja ne soveltuvat happamia pesuaineita paremmin varsinkin proteiinien liuottamiseen. Hyvien emulsionmuodostusominaisuuksiensa ansiosta emäksisiä pesuaineita käytetään myös rasvaisen lian poistoon. Happamat pesuaineet sisältävät tavallisesti typpihappoa ja niitä tarvitaan erityisesti maito- ja olutkiven, erilaisten suolojen ja levylämmönvaihtimien pinnoille palaneen lian poistamiseen. Happopesut poistavat tehokkaasti myös eräitä hankalia mikrobiryhmiä, kuten itiöllisiä bakteereita. Yleensä ottaen happamilla pesuaineilla on kuitenkin huonompi pintahygieeninen teho kuin emäksisillä pesuaineilla. Hyvän pesutuloksen takaamiseksi pesuaineissa käytetään pinta-aktiivisia aineita. Niiden tehtävänä on alentaa veden pintajännitystä, jolloin pesuaineen emäksinen tai hapan osa pääsee paremmin vaikuttamaan likamolekyyleihin. Pinta-aktiiviset aineet myös estävät irronneen lian uudelleen kiinnittymisen pintoihin. Taulukkoon 14 on koottu käytettyjen ainesosien tehtävä pesuaineessa (Kylä-Siurola, 1985; Aulanko, 1998).

Pesuaineiden valmistaja antaa yleensä suositukset niiden käyttövahvuuksista. Pesujen aikana pesuliuoksen vahvuus kuitenkin laimenee lian ja huuhtovesien sekoittuessa siihen, joten pesunesteen konsentraatiota on syytä tarkkailla pesujen edetessä pesutuloksen varmistamiseksi (Daufin ym., 1987; Wirtanen ym., 2002a). Pesuainekonsentraation valintaan vaikuttavat pestävän pinnan ominaisuudet ja vaatimukset sekä käytettävä pesumenetelmä. Kiertopesuissa voidaan käyttää laatikonpesukoneita alhaisempia pesuainepitoisuuksia, sillä pestävillä pinnoilla ei ole yleensä vieraita epäpuhtauksia, vaan tarkkaan tunnettuja epäpuhtauksia tuotteesta. Kiertopesuissa pesuaineen huolellinen huuhtelu on tärkeää, ja käyttämällä alhaisia pesuainepitoisuuksia pyritään minimoimaan pesuainejäämien joutuminen itse tuotteeseen (Lappalainen ym, 2000).

Pesuliuoksen puhtaus on tarkistettava tietyin väliajoin, sillä pesunesteeseen kertynyt orgaaninen ja epäorgaaninen aine heikentävät liuoksen pesukykyä.

Meijeriteollisuudessa pesukeskusten pesuliuosten puhtautta seurataan lähinnä silmämääräisesti. Myös COD- ja EDTA-menetelmiä käytetään jossain määrin (Daufin ym., 1987; Wirtanen ym., 2002a). COD-menetelmällä mitataan pesuveden kemiallisen hapenkulutuksen muuttumista, kun taas EDTA-titrausmenetelmän avulla saadaan selvitettyä pesuveden kalsiumpitoisuus (Daufin, 1987).

### **7.1.2 Avoimet ja suljetut pesujärjestelmät**

Pesumenetelmän valinta riippuu pestävästä kohteesta ja sen rakenteesta. Myös se, millaisia vaatimuksia pestävän kohteen puhtaudelle asetetaan, vaikuttaa käytettävään puhdistusmenetelmään. Tuotantoympäristön ja prosessilaitteiden puhdistus aloitetaan irtonaisen lian poistamisella (Holah, 1992). Ensimmäiseksi voidaan suorittaa kuivapuhdistus joko harjaa tai imuria käyttäen, minkä jälkeen pestävä kohde huuhdellaan irtonaisen lian poistamiseksi. Tämän jälkeen seuraa varsinainen pesu, joka suljetuissa laitteistossa tapahtuu kiertopesuna ja avoimilla pinnoilla vaahtopesuna. Pesun jälkeen tapahtuvan huuhtelun tarkoituksena on poistaa pinnoilta lika ja pesuainejäämät. Viimeisenä suoritettava desinfiointi tuhoaa pinnoille jääneet mikrobit ja estää niiden kasvun.

#### **Kiertopesut**

Elintarvikeprosesseissa pääosa pesuista tapahtuu automatisoiduilla kiertopesuilla eli cleaning-in-place (CIP) -systeemillä. Kiertopesut hoidetaan pesukeskuksista, jossa pesuliuos- ja huuhdevesisäiliöt säätölaitteineen ovat. Kaksivaiheisessa CIP-pesujärjestelmässä pesuliuksena käytetään sekä emäksisiä natrium- ja/tai kaliumhydroksidipohjaisia aineita että happamia typpihappopohjaisia liuoksia. Kuvassa 28 on VTT Biotekniikan manuaalinen CIP-testilinja. Pesuliuosten uusiutuminen tapahtuu osittain kunkin pesutapahtuman yhteydessä, jolloin ensimmäisenä palaava likaisin liuos ohjataan viemäriin ja pesuliuossäiliössä tapahtuu automaattisesti jäljelle jäävän liuoksen väkevöinti säädetylle tasolle (Chisti & Moo-Young, 1994; Wirtanen ym. 1997; Luotola, 1998). CIP-pesuissa prosessilaitteet esihuuhdellaan kylmällä vedellä irtonaisen lian poistamiseksi. Varsinaisissa pesuissa laitteistoissa kiertyä ensin kuuma (75–80 °C) 1 %:n emäksinen pesuaineliuos noin 15–20 min. Seuraavassa vaiheessa laitteistot huuhdellaan, minkä jälkeen niissä kierrätetään 80 °C 1–1,5 %:n happoliuos vaikutusajan ollessa yleensä noin 5 min. CIP-pesuissa tehokas pesuvaikutus



edellyttää, että virtaus on turbulენტista eli virtausnopeuden on ylitettävä 1,5 m/s (Grasshoff, 1992; Chisti & Moo-Young, 1994; Wirtanen ym., 1997). Käytännössä virtausnopeuden tulee olla nopeampi, sillä putkistoissa on lukuisia erilaisia virtausesteitä, jotka aiheuttavat painehäviötä ja hidastavat virtausta. Säiliöiden kiertopesuissa pesunesteen levittäytymisellä on tärkeä merkitys, sillä myös mahdollisten sekoittimien ja jäähdytysankkurien pinnoille on saatava riittävä mekaaninen vaikutus (Chisti & Moo-Young, 1994; Luotola, 1998).



*Kuva 28. Manuaalinen CIP-testilinja VTT Biotekniikassa.*

## Vaahtopesut

Elintarviketeollisuudessa avoimien prosessilaitteiden pintojen pesuun käytetään vaahtopesua. Vaahtopesumenetelmässä puhdistettavat pinnat huuhdellaan ensimmäiseksi irtonaisesta liasta, minkä jälkeen levitetään vaahtokerros puhdistettavalle pinnalle ruiskuttamalla. Kuvassa 29 on VTT Biotekniikan monipainepesujärjestelmä. Vaahto huudellaan pois kuumalla vedellä noin 15–30 min vaikutusajan jälkeen (Birus, 1996).



*Kuva 29. VTT Biotekniikan monipainepesujärjestelmä.*

## Tunnelipesut

Tunnelipesureilla pestään laitteita ja kappaleita suljetuissa tunneleissa, joissa melko pienillä paineilla ja suurilla nestevirtauksilla saavutetaan tavoiteltu lopputulos. Tunnelipesureissa pestävät kappaleet liikkuvat kuljetinta pitkin ja tunnelissa olevat pesusuuttimet suihkuttavat pesunestettä kappaleisiin. Suuttimista tulevan veden paineella, suutinten määrällä ja tunnelin pesuosan pituudella on vaikutusta pesutulokseen (Daufin, 1987; Pedersen, 1994). Tunnelipesukoneissa on usein ensimmäisenä esihuuhteluosasto, minkä jälkeen seuraa varsinainen liuospesu. Lopuksi pesuaine huuhdellaan pois jälkihuhteluosastossa. Yleensä tunnelipesureissa vesi siirtyy osastosta toiseen ylivuotomenetelmällä. Pesunesteen väkevyyttä ja lämpötilaa voidaan vaihdella halutun puhtaustason mukaan. Esimerkiksi tunnelilaatikonpesukoneissa käytetään heikompia pesuparametreja kuin juustomuottien pesuun tarkoitettussa tunnelipesukoneessa (Daufin ym., 1987). Tietyissä tunnelipesuissa on hyödynnetty ultraäänitekniikkaa. Siinä sovelluksessa puhdistettava materiaali upotetaan pesunesteeseen, johon luodaan ultraäänielementtien avulla voimakas ultraäänikenttä. Ultraäänipesuissa pesutulokseen vaikuttaa paitsi ultraäänien taajuus ja amplitudi niin myös pesulämpötila, pesuaine, pesuaika, pestävän materiaalin ominaisuudet ja pesunesteen orgaaninen likakuorma. Ultraäänipesujen etuna on pesuvaikutuksen tasaisuus, sillä ultraäänien energia läpäisee materiaalin ja pesee siten tasaisesti koko kappaleen (Kivelä, 1996).

*Taulukko 14. Pesuaineissa käytettyjä ainesosia ja niiden tehtävät (Aulanko, 1998; Wirtanen ym., 2000).*

<b>Ainesosa</b>	<b>Tehtävä</b>
Anioniset tensidit	Poistaa likaa, vaahtoa
Kationiset tensidit	Huuhtelu-, desinfiointiaine
Ionittomat tensidit	Poistaa likaa, ei vaahtoa
Amfoteeriset tensidit	Poistaa likaa, vaahtoa
Kompleksinmuodostajat	Sitoo veden kovuustekijöitä
Kelatoivat yhdisteet, esim. EDTA	Sitoo raskasmetalleja ja veden kovuustekijöitä
Vaahoamista estävät aineet	Estää vaahdonmuodostusta
Liutotinaineet, esim. alkoholit	Sitoo, irrottaa likaa
Emäkset, esim. natrium- ja kaliumhydroksidi ja ammoniakki	Irrottaa likaa, desinfioi
Hapot, esim. typpi-, fosfori-, sitruuna-, etikkahappo	Kalkinpoisto, desinfiointiaine
Happamuuden säätöaineet	Optimoi pH:ta
Valkaisuaineet	Hapettaa väritahroja
Suojakolloidit	Estää lian uudelleen kiinnittymisen pintaan
Entsyymit esim. proteaasit	Pilkkovat orgaanista likaa
Korroosionestoaineet, esim. silikaatit	Estää pinnan korroosiota
Säilöntäaineet, esim. bentsoaatti, urea	Parantaa pesuaineen stabiilisuutta

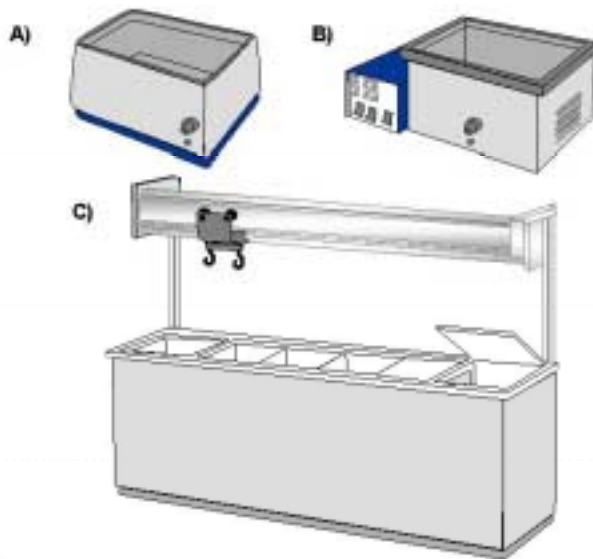
## **7.2 Ultraäänipuhdistustekniikka mikrobien tuhoamisessa**

Gun Wirtanen, VTT Biotekniikka

Ultraäänipuhdistusta on pitkään käytetty sovelluksissa, joissa tarvitaan korkeaa puhtausastetta (Kivelä, 1996). Ultraäänellä tarkoitetaan ääniaaltoja, jotka ovat ihmisen kuuloalueen yläpuolella. Ultraäänien aallonpituus ja taajuus ovat vaikuttavina tekijöinä ultraäänien soveltuvuudessa erilaisiin sovelluksiin (Mason, 1998). Ultraäänien kulkunopeus materiaalin läpi riippuu materiaalin elastisuudesta ja tiheydestä. Ultraääni muodostuu hyvin nopeasti muuttuvan sähkökentän vaikutuksesta erityisellä transistoriin tai tyristoriin (elektrostatiikkaan perustuvia) perustuvalla generaattorilla (Anon., 1999). Generaattori lähettää lähettimelle nopeasti muuttuvia sähköimpulsseja, joita lähetin muuttaa ääniaalloiksi (Henning ym., 1994). Lähetin lähettää aaltoja, jotka aiheuttavat aineessa tiivistysaaltoja tai leikkaavia aaltoja riippuen siitä, millainen materiaalin ja ääniaallon

kohtauskulma on (McClements, 1995). Ultraääntä voidaan luoda myös mekaanisilla lähettimillä (kaasun/nesteen virtaus), sähköpurkauksilla, lämpölähettimillä (kipinäkentät nesteessä) magneettikentän muutoksiin perustuvilla lähettimillä tai pietsokeraamisilla (värähtelevä kvartsikide) laitteilla. Ultraäänen muodostamisessa on käytössä magneettikenttään perustuvat laitteet (tehosuhde 50–60 %) sekä pietsokeraamiset laitteet, jotka energettisesti ovat tehokkaimpia (tehosuhde 95 %) (Anon., 1999).

Ultraäänipesurit ovat meijeriteollisuudessa etenkin juustonvalmistukseen liittyviä laitteistoja (kuvat 30–31). Ultraäänipesuissa puhdistettava materiaali upotetaan pesunesteeseen, johon erityisillä ultraäänielementeillä luodaan voimakas ultraäänikenttä. Ultraäänipesuissa mekaanisen likaa irrottavan vaikutuksen aikaansaa kavitoivassa nesteessä tapahtuva kaasukuplien luhistuminen. Tämä ilmiö esitetään kuvissa 32–33 (Brennan ym., 1969; Anon., 2002b, e). Muihin pesumenetelmiin verrattuna ultraäänipesuissa käytetään lyhyitä pesuaikoja (2–10 min) sekä matalia pesulämpötiloja (< 70 °C), minkä vuoksi pesussa tarvittava



*Kuva 30. Esimerkkejä käytössä olevista pesualtaista: a) pieni allas, jossa ultraäänielementit ja instrumentointi ovat allasrakennelmassa suojakennon sisällä, b) pieni allas, jossa ultraäänielementit ja instrumentointi ovat allasrakennelman ulkopuolella, ja c) useiden ultraäänialtaiden rakennelma automatisoidussa pesuprosessissa (Anon., 2002b).*

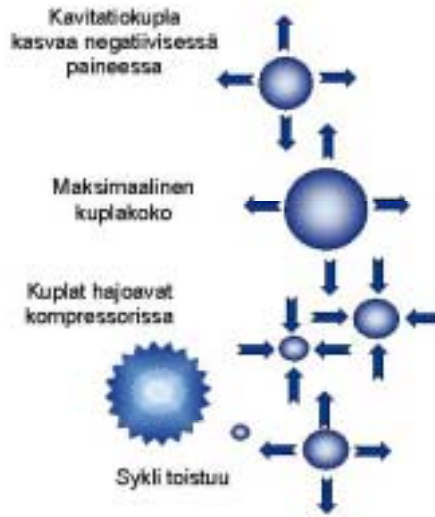


A

B

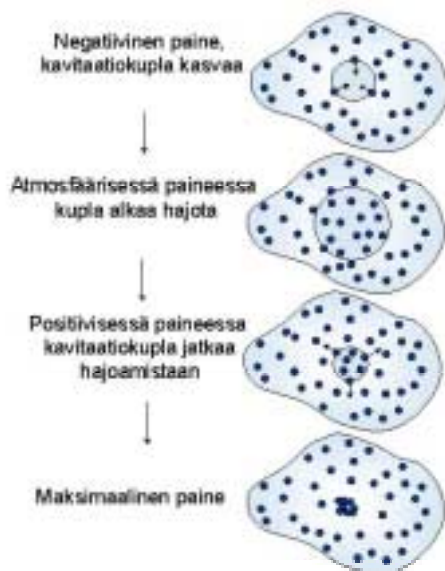
C

*Kuva 31. Ultraäänipesurit ovat meijeriteollisuudessa etenkin juuston valmistukseen liittyviä laitteistoja: A) juustomuotti, B) testipaloja juustomuottimateriaalista (Laude BV, Alankomaat) ultraäänipesutelineessä ja C) ultraäänipesuri kahdella 1,2 kW:n ultraäänielementillä (TetraPak Tebel Oy, Suomi).*

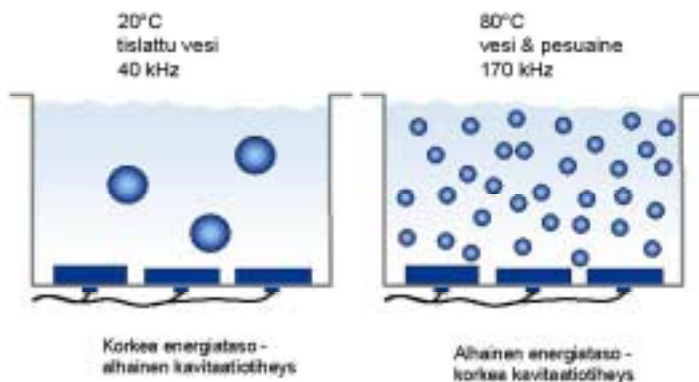


*Kuva 32. Kavitaatioilmiö esiintyy siellä, missä kaasunpaine alenee äkillisesti nesteen “murtuessa” tai “repeytyessä” ääniaallon aiheuttamasta negatiivisesta paineesta. Ultraääniteknikan pesuteho perustuu kaasukuplien äkilliseen luhistumiseen (Anon., 2002b).*

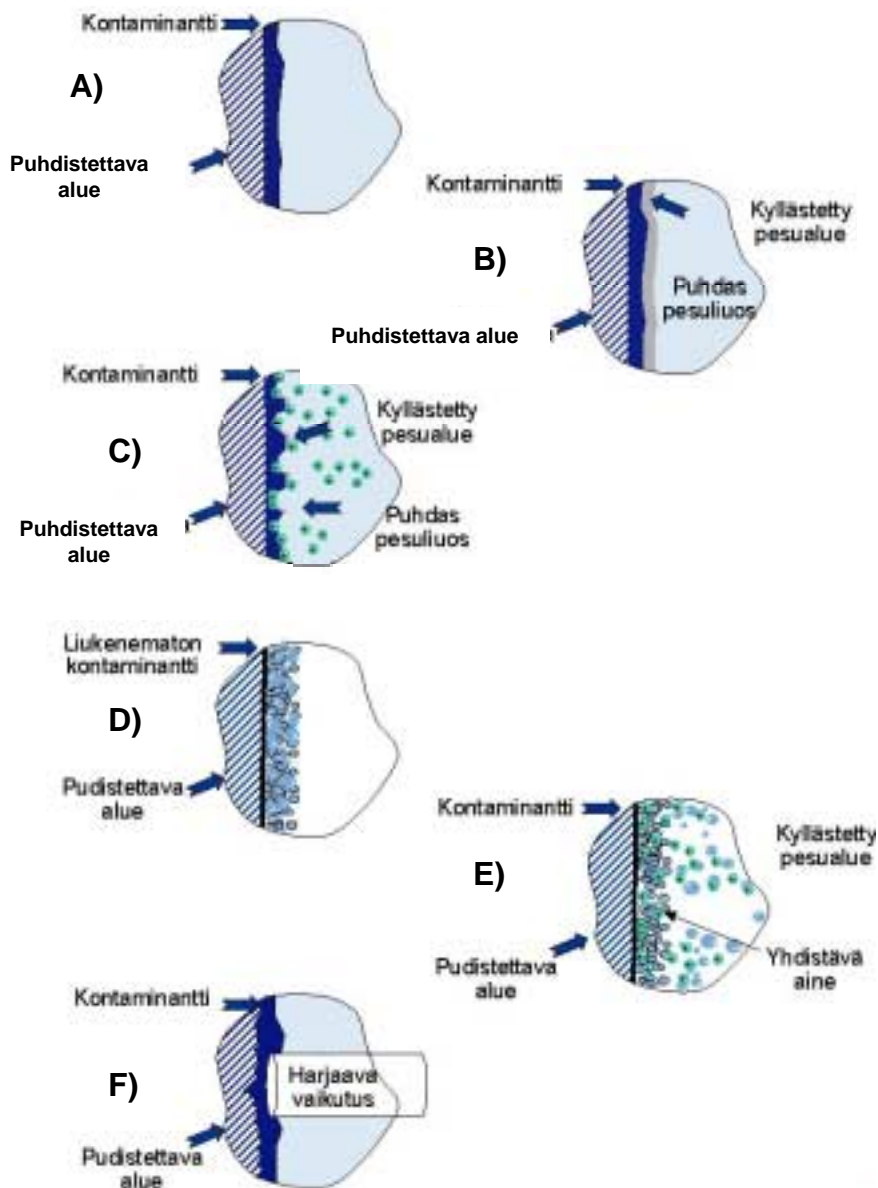
energiamäärä on pienempi kuin muissa menetelmissä (kuva 34). Ultraäänipesuissa etuna on pesuvaikutuksen tasaisuus, koska ultraäänienenergia läpäisee materiaalin ja on siten muihin menetelmiin verrattuna tehokkaampi (kuva 35). Ultraäänipesuissa pesutulos syntyy käytetyn ultraäänien ominaisuuksista eli amplitudin ja taajuuden sekä pesutehon, pesuajan, pesunesteen, pesunesteen syvyyden, ulkoisen paineen sekä pesulämpötilan vaikutuksesta (Anon., 1999).



*Kuva 33. Pienten liuenneiden kaasukuplien vähentäminen nesteestä on tärkeää, sillä nämä pienet kaasukuplat toimivat tiivistyneen kaasun taskuina nesteessä pienentäen ultraäänen tehoa (Anon., 2002b).*



*Kuva 34. Energia kavitaatiossa alenee, mikäli nesteen lämpötila nousee tai nesteen pintajännitys alenee esim. pesuainelisäyksellä. Ultraäänen aiheuttaman energian hallinta on oleellista pistekorroosion estossa (Anon., 2002b).*



Kuva 35. Ultraäänipesun vaiheet: A) pesussa lian poisto tapahtuu puhtaan pesunesteen avulla, B) kyllästetty kerros muodostuu puhtaan pesunesteen ja likakerroksen väliin ja C) kavitaatiolla irroitetaan kyllästetty likakerros ja pesutapahtuma jatkuu. D) Liukenemattomat likakomponentit irtoavat kaasukuplien äkillisessä luhistumisessa, kun niitä paikallaan pitävät voimat katkeavat ja E) mikäli pinnalla on irtonaisia partikkeleita on tärkeää, että puhdistettava pinta vettyy. F) Pesulla on harjaava vaikutus (Anon., 2002b).

## 7.2.1 Kavitaatio

Kavitaatiolla tarkoitetaan kaasukuplien ja tyhjiöiden syntymistä, kun ultraääni-aaltojen voimakkuus on riittävän suuri (Kinnunen ym., 1998). Kavitaatio voidaan jakaa ohimenevään ja seisovaan kavitaatioon. Ohimenevässä kavitaatiossa kuumien kaasukuplien luhistumisasteiden vaikutus on hyvin voimakas ja lyhytaikainen. Vaikutus kestää mikrosekunteja ja useista paikallisista pisteistä syntyy aaltoja, joiden avulla ultraäänen mekaaninen vaikutus syntyy (Kinnunen ym., 1998). Seisova kavitaatio on mekaaniselta vaikutukseltaan heikko ja siinä kaasukuplat värähtelevät ultraäänikentän mukaisesti. Värähtelyssä syntyy mikrovirtauksia, joilla on mikrobien solukalvoja rikkova vaikutus (Scherba ym., 1991). Ultraäänen vaikuttaessa nesteessä tekijöinä ovat nesteen ominaisuudet, jotka määräävät kaasukuplien kasvunopeuden ja liikkumisen nesteessä. Nesteen pintajännitys, viskositeetti ja kaasupitoisuus sekä nesteeseen liuenneen kaasun paine vaikuttavat kavitaation kehittymiseen ja kavitaation aiheuttamiin mekaaniisiin vaikutuksiin (Alliger, 1975; Berliner, 1984).

Lämpötilan noustessa kaasukuplien muodostuminen helpottuu höyrynpaineen kohoamisen vuoksi, mutta samalla nesteen pintajännitys pienenee. Pintajännityksen pieneminen vähentää kaasukuplien törmäysten/luhistumisten vaikutuksia ja käsittely korkeissa lämpötiloissa edellyttää ulkoista painetta, jotta kaasukuplia muodostuisi (Kinnunen ym., 1998). Nesteen viskositeetti vaikuttaa kavitaation kehittymiseen, koska viskositeetin kasvaessa ultraäänen vaimeneminen nopeutuu tunkeutumissyvyyden kasvaessa (kaava 4), mikä puolestaan vähentää kavitaatiota. Matalataajuinen korkean intensiteetin ultraääni tunkeutuu paremmin viskoosiin nesteeseen kuin korkeataajuinen matalan intensiteetin ultraääni (Kinnunen ym., 1998).

Kavitaatiossa kaasukuplat alkavat kasvaa vasta tuhansien ultraääniaaltojen aiheuttamien värähtelyjen jälkeen. Värähtelevät kuplat aiheuttavat ympärilleen voimakkaita pyörteitä ja osa kuplista kiinnittyy seisovaan ultraäänikenttään, jolloin ympäröivän nesteen liikkeessä syntyy voimakkaita leikkausvoimia kaasukuplien ympäristöön. Pyörteet ja liikkeet hankaavat mikrobien soluseinät rikki, mikä aiheuttaa mikrobien tuhoutumisen. Mikrobit pystyvät todennäköisesti korjaamaan osan näistä repeämistä (Povey & Mason, 1998). Kuplien törmätessä toisiinsa kavitaatiossa syntyy lukuisten törmäysten yhteisvaikutuksesta muuttuva kavitaatiokenttä, jossa on pistemäisiä 1 GPa:n paineita sekä 5 000 °K:n lämpötila-alueita (Anon., 1999). Nämä törmäykset voivat



osuessaan rikkoa mikrobien soluseinän tai oletettavasti estää mikrobien energiansaantia, koska ultraääni voi irrottaa solukalvosta ATP-aasientsyymien (Ierretti ym., 1997). Nesteessä paikallisesti korkeat lämpötilat voivat vaikuttaa mikrobisolunsisäisten makromolekyylien, kuten RNA:n, ribosomien, aminohappojen, entsyymien, proteiinien ja solunsisäisten kalvojen stabiiliuteen (Povey & Mason, 1998).

### **7.2.2 Lämpötilan ja paineen vaikutus ultraäänen tehoon**

Ultraäänen vaikutusta voidaan tehostaa kohottamalla käsittelylämpötilaa ja -painetta (Raso ym., 1998a). Ultraäänikäsittelyssä paineella on voimakkain mikrobien tuhoutumista edistävä vaikutus 600 kPa:n paineeseen asti, kun ultraäänen amplitudi on 150  $\mu\text{m}$  (Raso ym., 1998a). Ultraäänen amplitudin suurentamisella on mikrobien tuhoutumista edistävä vaikutus ja kohotetussa käsittelypaineessa saavutetaan samalla amplitudilla tehokkaampi käsittely. Ultraäänen mikrobeja tuhoavan vaikutuksen on oletettu olevan korkeiden lämpötilojen ja paineiden sekä leikkausvoimien aiheuttamaa ja mikrobien tuhoutumisnopeuteen ovat vaikuttavina tekijöinä väliaineen sekä ultraäänen ominaisuudet (Scherba ym., 1991).

Ultraäänikäsittelyllä normaalissa ilmanpaineessa ja huoneenlämpötilassa on heikko mikrobeja tuhoava vaikutus, joka lisääntyy huomattavasti ulkoisen paineen noustessa. Ultraäänikäsittelyssä eri mikrobeille on olemassa optimipaine, jossa tuhoutuminen on nopeinta, ja tällöin optimin ylittävä paine vähentää käsittelytehoa. Tarkkaa tietoa amplitudin ja paineen yhteisvaikutuksesta ultraäänikäsittelyyn ei ole. Raso ym. (1998a) havaitsivat, että suuremmalla amplitudilla paineenvaikutus oli suurempi.

Rason ym (1998a) mukaan lämpötilalla ja paineella ei ole ultraäänikäsittelyssä alle 50 °C:ssa ja yli 58 °C:ssa yhteisvaikutusta, mutta 50 °C:n ja 58 °C:n välillä mikrobien tuhoutumisnopeus kasvaa huomattavasti. Ultraäänen vaikutusta mikrobien tuhoutumiseen voidaan selvittää laskemalla aika D, jona aikana mikrobien määrä pienenee kymmenenteen osaan. Vaikuttavat mekanismit ovat lämpö ja ultraääni. Lämpö vaikuttaa mikrobien tuhoutumisnopeuteen alle 50 °C:ssa (Raso ym., 1998a).

### 7.2.3 Nestemäärän vaikutus ultraäänen tehoon

Ultraäänen mikrobien tuhoamiskykyyn vaikuttaa nestepatsaan syvyys, jossa ultraäänikäsittelyä tehdään (Jacobs & Thornley, 1954). Ultraäänikäsittelyssä teho  $W l^{-1}$  ei tarkoita suoraan tehokkuutta, sillä korkeammalla nestepatsaalla on parempi energiaa absorboiva vaikutus kuin matalammalla vesipatsaalla. Täten suurella teholla ja lyhyellä vesipatsaalla ei saavuteta parempaa tulosta, koska energia siirtyy nesteen läpi ympäristöön. Nesteen määrä on ultraäänikäsittelyssä oltava tarpeeksi suuri, jotta mikrobien tuhoaminen tapahtuu käsittelyajan aikana (Jacobs & Thornley, 1954).

### 7.2.4 Muita pesutehoon vaikuttavia tekijöitä

Ultraäänipesun tehokkuuteen vaikuttavat useat tekijät, mutta pääosin pesu on riippuvainen lämpötilasta, pesuaineesta, pesuajasta ja pesutehosta sekä pestävän materiaalin ominaisuuksista (Kivelä, 1996). Pesulämpötila vaikuttaa peseytyvyyteen riippuen siitä, millaista poistettava lika on ja millaisia pesuaineet ovat. Ultraäänipesuissa käytetään 40–80 °C:n pesulämpötiloja, koska tällöin ultraäänin puhdistusvaikutukset ovat parhaimmillaan. Rasvaisen lian poistamisessa pesuliuksen >60 °C lämpötila on suositeltava, mutta esim. veren poistamisessa <45 °C on suositeltava pesulämpötila. Kavitaation kehittymisen vuoksi 65–70 °C on optimaalinen lämpötila ja lämpötilan ollessa <40 °C tai >85 °C kavitaation likaa irrottava vaikutus on puolet maksimista (Quartly-Watson, 1998).

Ultraäänipesussa on ratkaisevana tekijänä myös pesuteho, joka ilmaistaan  $W l^{-1}$  kohti. Kavitaation syntyminen edellyttää n.  $0,3 W/cm^{-3}$  tehoa ennen kuin sillä on likaa irrottava vaikutus (Quartly-Watson, 1998). Ultraäänipesureita käytetään 4–10  $W l^{-1}$  tehoilla, ja suurissa pesulaitteistoissa voidaan käyttää matalampaa tehon tilavuussuhdetta kuin pienissä laitteissa, mikäli pestävän materiaalin massan suhde tilavuuteen on pieni. Mitä suurempi massa, sitä enemmän energiaa absorboituu materiaaliin. Pestävän materiaalin massa ei saa ylittää 1/3 pesunesteen massasta, eikä pestävä materiaali saa olla pehmeää tai elastista rakenteeltaan (Anon., 1999). Ultraäänipesurissa merkittävää ei ole pesurin nestemäärä vaan pesurin tehon suhde pesunesteen määrään. Kavitaation syntyminen edellyttää n.  $0,3 W/cm^{-3}$  tehoa ennen kuin sillä on likaa irrottava vaikutus. Tehon lisääminen nopeuttaa lian irtoamista suorassa suhteessa tiettyyn maksimiarvoon asti. Ultraäänipesuissa on vaikuttavana tekijänä käytettävä taajuus ja taajuuden ollessa alhainen muodostuu voimakkaita kavitaatiopisteitä, mutta niiden määrä on pieni.

Korkealla taajuudella käytettäessä muodostuu runsaasti kavitaatiopisteitä, mutta niiden voima on pienempi (Anon, 1999). Ultraäänipesussa käytetyllä pesuajalla on suora vaikutus peseytyvyyteen ja pesuajat materiaaleista riippuen ovat 30 s – 5 min 95 % pesutuloksesta syntyessä alle 5 min käsittelyllä.

### **7.2.5 Ultraäänipesun vaikutus lian ja mikrobin irtoamiseen**

Ultraääni voi olla pienitehoista ja korkeataajuista tai suuritehoista ja matalataajuista. Suuritehoista ja matalataajuista ultraääntä käytetään laajasti puhdistamisessa (Kinnunen ym., 1998). Ultraäänipesureissa käytettävät taajuudet ovat 20 kHz:n ja 100 kHz:n välillä, ja ultraäänen puhdistusteho perustuu kavitaatioon, joka irrottaa pintoihin ioni- ja koheesivoimilla kiinnittyneet liukenemattomat hiukkaset (Leighton, 1998). Ultraäänipesureissa voidaan käyttää kemikaaleja ja kohotettua lämpötilaa (Anon., 1999). Ultraäänen likaa irrottava vaikutus syntyy nesteessä yli- ja alipainealueista, jotka aiheuttavat kavitaation avulla vaurioita myös mikrobin soluseinämässä. Meijeriteollisuudessa ultraääntä käytetään puhdistamaan maidon kanssa kosketuksiin joutuvia pintoja. Ultraääni on lian irrottamisessa luotettavampi ja tehokkaampi kuin mekaaniset puhdistusmenetelmät, etenkin kun puhdistettavat pinnat ovat kontaminoituneet bakteereilla (Puleo ym., 1967).

Ultraääni irrottaa tehokkaasti likaa ja mikrobeja kovilta pinnoilta voimakkaan virtauksen avulla. Ultraäänellä pystytään puhdistamaan pintoja, jotka muilla puhdistusmenetelmillä jäisivät puhdistumatta (Boucher, 1979). Leightonin (1998) mukaan kavitaation kehittämisessä voidaan erottaa kaksi kynnystä: 1) kavitaation alkaminen ja 2) kavitaation likaa irrottavan toiminnan alkaminen. Kavitaatiossa kaasukuplien luhistumisen aiheuttamat voimat irrottavat likaa ja voimien suuruuteen vaikuttaa tällöin nesteen staattinen paine. Suuremmassa paineessa ultraäänellä on parempi likaa irrottava vaikutus, mikäli nesteeseen on liuennut riittävästi kaasua (Leighton, 1998). Likaa irrottava vaikutus ei ole riippuvainen ultraäänilähtetimen tehosta, koska suuret energiamäärät aiheuttavat kaasukuplien kasautumisen ja siten toimimisen likaa suojaavana kilpenä (Leighton, 1998).

Kavitaation vaikutukset mikrobeja sisältävissä nesteissä aiheuttavat mikrobirykelmien hajoamista ja mikrobeissa solunsisäisen aktiivisuuden muutoksia. Soluseinien rikkoutuminen ja solujen lämpöherkkyyden lisääntyminen aiheuttavat sekä ultraäänen että lämpötilan yhteisvaikutuksesta eli ultraäänikäsitellyt

solut ovat herkempiä lämpökäsittelylle. Mikrobin tuhoutumiseen vaikuttavat ainakin seuraavat biologiset tekijät: mikrobilaji, solukoko sekä neste, jossa ultraääni vaikuttaa (Wase & Patel, 1985; Garcia ym, 1989). Mikrobin elinympäristön rasvapitoisuuden lisäys parantaa niiden kykyä selvitä ultraäänikäsittelystä. Mikrobin solukoolla ja seinämien paksuudella on myös vaikutus käsittelyn tehoon ja yleensä suuret solut ovat herkempiä ympäristön vaikutuksille (lämpötilat, paine-erot ym.) ja siten myös ultraäänikäsittelylle kuin pienemmät (Wase & Patel, 1985).

Mikrobin itiöt kestävät ultraääntä paremmin kuin niiden vegetatiiviset solut ja ultraäänikäsittelyn jälkeisessä lämpökäsittelyssä mikrobit tuhoutuvat helpommin kuin ilman ultraäänikäsittelyä. Mikrobit tuhoutuvat tällöin myös alemmissa lämpötiloissa (Kinnunen, ym. 1998). Ultraäänin matalalla taajuudella (<100 kHz) on mikrobeihin suurempi tuhoamisvaikutus kuin korkeilla (>100 kHz) taajuuksilla (Mason, 1998). Ultraäänikäsittelyn mikrobeja tuhoavaa vaikutusta tietyssä lämpötilassa kuvaa Z-arvo, jolla saavutetaan kymmenkertainen mikrobin määrän vähentyminen (kaava 1), jossa  $N_t$  on bakteerimäärä lopussa ja  $N_0$  bakteerimäärä alussa sekä  $t$  käsittelyaika. Kun tiedetään loppulämpötila ( $T_2$ ) sekä alkulämpötila ( $T_1$ ), Z-arvo on laskettavissa kaavalla 2 (Ciccolini ym., 1997).

$$\log(N_t / N_0) = -(t / D) \quad (1)$$

$$\frac{\log D_1 - \log D_2}{T_2 - T_1} = 1 / Z \quad (2)$$

Käytännössä ultraäänin mikrobeja tuhoava vaikutus jää vain 2–4 logaritmiyksikön alenemaan alkuperäisestä bakteerimäärästä, mutta ultraäänikäsittelyä voidaan hyödyntää, mikäli lämpökäsittelyä ei voida käyttää mikrobin tuhoamiseen (Povey & Mason, 1998). Ultraäänikäsittelyihin on yhdistetty myös muita käsittelyjä, jolloin mikrobin tuhoutuminen on nopeampaa. Tuhoutumisaikojen laskeminen kuitenkin vaikeutuu, kun eri tekijöiden vaikutus mikrobin tuhoutumisessa on huomioitava. Ultraäänellä ja lämmöllä yms. oletetaan olevan omat vaikutuksensa, joiden yhteisvaikutukset ovat laskettavissa yhteen (Pagán ym., 1999).

Ultraäänin aiheuttamat muutokset deoksiribonukleanihappoketjuihin (DNA) voidaan jakaa neljään ryhmään vaikutusasteen mukaan muutosten ollessa

seuraavanlaisia: 1) DNA:n kaksoissidokset katkeavat, 2) DNA lyhentyy 100–500 emäspätkiin, 3) DNA:n hajoaminen tuottaa fosforylaatteja ja vapaita alkoholeja ja 4) DNA:n pilkkoutuminen on epätäsmällinen (Coackley & Dunn, 1971).

Biokemiallisilla ja biofysikaalisilla analyyseillä ei ole havaittu ultraäänellä olevan proteiineja ja entsyymejä pilkkovaa vaikutusta ennen, kuin ultraäänen voimakkuus  $W\ l^{-1}$  on saavuttanut minimiarvon eli kavitaatioilmiön syntymisen (Braginskaya ym, 1990). Kavitaatio aiheuttaa proteiinien tertiaarirakenteeseen muutoksia johtuen kavitaation aiheuttamista huomattavista lämpövaikutuksista. Entsyymien ja proteiinien tuhoutumisessa vaikuttavat proteiinien ja entsyymien keskinäiset määräsuhteet. Suurella proteiinien määrällä on entsyymien tuhoutumisesta vähentävä vaikutus (Braginskaya ym, 1990).

### 7.2.6 Ultraäänen biologiset vaikutukset soluihin ja itiöihin

Ultraäänellä on soluja tuhoava vaikutus 1 MHz:iin asti ja se aiheuttaa lähinnä mekaanisia vaurioita soluissa (Clarke & Hill, 1970; Armour & Corry, 1982; Inoue ym., 1989). Lisäksi nesteeseen liuenneet erilaiset kaasut vaikuttavat solujen tuhoutumiseen ultraäänikentässä (Kondo ym., 1988). Ultraäänen tuottamalla vapaille radikaaleilla on mahdollisesti sytotoksisia ja mutageenisia vaikutuksia soluihin. Vapaiden radikaalien muodostuminen, ominaisuudet ja muodostumisympäristö vaikuttavat ultraäänen toiminnan voimakkuuteen (Mišik & Riesz, 1999). Hydrofobiset aminohapot (tryptofaani, fenyylialaniini, tyrosiini, leusiini, valiini, metioniini) ja glukoosi vähenevät soluissa huomattavasti ultraäänen sytotoksisista vaikutuksista. Sytotoksisia vapaita radikaaleja muodostuu hydroksyyliyhdyntöjen yhdistymisessä, jolloin sytotoksisena aineena toimii vetyperoksidi ( $\bullet\text{OH} + \bullet\text{OH} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$ ). Vetyperoksidi on hitaasti hajoava yhdiste ja se pystyy diffundoitumaan solun sisään ja aiheuttamaan solun tuhoutumisen. Happi- ja vety- ( $\bullet\text{H}$ ) radikaalien sekä yksittäisen hydroksyyliyhdyntöryhmän ( $\bullet\text{OH}$ ) sytotoksisuus ei ole solujen kannalta kriittisintä (Mišik & Riesz, 1999).

Gram-positiiviset bakteerit kestävät ultraääntä paremmin kuin gram-negatiiviset, mikä saattaa johtua gram-positiivisten bakteerien paksummasta soluseinän membraanista (Kinnunen ym., 1998). Voimakastehoisella ultraäänellä on mikrobeja tuhoava vaikutus, jolloin ultraäänen vaikutusajan pituus ja voimakkuus ovat tärkeitä tekijöitä lopputuloksen kannalta. Nesteessä kavitaation tehoon vaikuttavat nesteen lämpötila, happamuus, rasvapitoisuus sekä nesteen viskositeetti.

Myös mikrobien solukoolla ja seinämien paksuudella ja ultraäänen taajuudella on merkitystä mikrobien tuhoutumisnopeuteen (Scherba ym., 1991). Bakteerien soluseinästä on n. 10 % peptidoglukaania ja sitä on sekä gram-positiivisten että gram-negatiivisten bakteerien soluseinissä. Eroa on peptidoglukaaniketjujen pituuksissa ja ketjujen välisissä sidoksissa sekä ketjujen toiminnallisissa ominaisuuksissa (Madigan ym., 1997). Peptidoglukaania on ainoastaan bakteerisoluiissa ja aminohappokoostumus on erilainen eri bakteereissa.

Ultraäänen bakteereita tuhoava vaikutus ei ole merkittävästi riippuvainen bakteerien morfologisista ominaisuuksista. Mitä pienempiä ja pyöreämpiä mikrobit ovat sitä resistentimpiä ne ovat kaikelle käsittelylle (Allinger, 1975). Ultraäänen tuhoava vaikutus voi johtua solun sisäisen sytoplasmakerroksen hajoamisesta, tarkkaa vaikutusmekanismia sytoplasmakerroksessa ei tunneta (Scherba ym., 1991; Raso ym., 1998b). Ultraäänikäsittelyssä muodostuvat vapaat radikaalit aiheuttavat DNA:n vaurioita, entsyymattisen aktiivisuuden alenemista, liposomien ja membraanien tuhoutumista sekä solujen kuolemista ja proteiinien denaturoitumista (Riesz & Kondo, 1992; Raso ym., 1998b). Ultraäänen mikrobien solukalvoja rikkovalla vaikutuksella on antibioottien ja muiden antibioottien kaltaisten aineiden toimintaa edistävä vaikutus (Rapoport ym., 1999). On mahdollista, että ultraäänellä on antibioottien kuljetusta mikrobien solukalvojen läpi edistävä vaikutus, koska se lisää solukalvon transmembraanien läpi kulkevien hydrofobisten yhdisteiden määrää (Rapoport ym., 1999).

Bakteereiden itiöt ovat lämpökäsittelyllä vaikeammin tuhattavia kuin vegetatiiviset solut ja maitotuotteissa niiden tuhoaminen on tärkeää tuotteiden säilymisen kannalta (Griffiths, 1992). Maidossa itiöitä on < 0,5–300 itiötä millilitrassa ja niistä on 94 % *Bacillus*-itiöitä ja 6 % *Clostridium*-itiöitä, jolloin mahdollisuus itiöiden joutumiseen valmistettavaan tuotteeseen on suuri (Meer ym., 1991). Ultraäänikäsittelyllä ei ole yhtä voimakasta bakteereiden itiöitä tuhoavaa vaikutusta kuin lämpökäsittelyllä, mutta yhdistetyllä ultraääni- ja lämpökäsittelyllä on todettu synergistisiä vaikutuksia itiöiden tuhoamiseen (Davies, 1959). Tosin ultraäänikäsittelyllä vedessä tai saliiniliuoksessa on havaittu olevan ennen lämpökäsittelyä itiöiden tuhoutumista tehostava vaikutus, mutta vain tiettyjen *Bacillus*-lajien kohdalla (Garcia ym., 1989).

Itiöiden muututtua vegetatiivisoluiksi ne tuhoutuvat nopeasti ultraäänikentässä (Gould, 1970). Itiöiden tuhoutumiseen vaikuttaa ultraäänikentässä eniten ultraäänen amplitudi. Ultraäänen itiöitä tuhoava vaikutus voidaan jakaa kuuman

lämpöpisteen vaikutukseen, mekaanisen rasituksen sekä vapaiden radikaalien aiheuttamiin vaikutuksiin (mm. hydroperoksidien muodostuminen). Itiöiden tuhoutumisnopeus on riippuvainen ulkoisesta paineesta (maksimi 500 kPa), ultraäänikäsittelyn tehosta sekä nesteen ominaisuuksista ja käsittelylämpötilasta (Raso ym., 1998b).

Mikrobien kasvulämpötilalla, pH:lla ja kasvualustalla on merkitystä mikrobien tuhoutumiseen ultraäänikäsittelyssä (Pagán ym., 1999). Soluseinän muutoksella ei ole vaikutusta mikrobien tuhoutumiseen ultraäänikäsittelyssä. Myös bakteerien kasvualustan pH:n ja sisällön vaikutus bakteerien inaktivoitumiseen ultraäänikäsittelyssä on huomattavasti pienempi kuin lämpökäsittelyssä (Sumner ym., 1991). Kasvualustan happamuus vaikuttaa lämpökäsittelyn tuhoamiskykyyn ja pH 4:ssä tuhoutuminen on kahdesta viiteen kertaan tehokkaampaa kuin pH 7:ssä. Ultraäänikäsittelyssä mikrobien kasvuolosuhteiden vaikutus inaktivoitumiseen on maksimissaan kaksinkertainen, lämpökäsittelyssä se voi olla 25-kertainen (Sumner ym., 1991).

Lämpö- tai ultraäänikäsittelyn jälkeen tapahtuva mikrobien uudelleen aktivoituminen on tärkeä tekijä useissa tilanteissa. Mikrobien ympäristöolosuhteet käsittelyn jälkeen vaikuttavat suuresti mikrobien kykyyn korjata vaurioita. Lämpökäsittelyssä mikrobien tuhoamiskykyyn vaikuttavia tekijöitä on runsaasti ja tällöin tarvittavan käsittelyn laskennasta tulee monimutkainen. Laskennan vaikeuden vuoksi yli- tai alikäsittelyn vaara on ilmeinen. Ultraäänikäsittelyssä mikrobit tuhoutuvat niin, etteivät ne pysty kasvamaan tai lisääntymään. Korjausvaikutusten huomioiminen ei ole yhtä tärkeää kuin lämpökäsittelyssä, sillä mikrobien tuhoaminen lämmöllä ja ultraäänellä tapahtuu eri mekanismeilla (Pagán ym., 1999).

## 7.3 Ultraviolettivalon käyttö mikrobien tuhoamisessa

Riina Tolvanen Elintarvike- ja ympäristöhygienian laitos, Helsingin yliopisto

### 7.3.1 Ultraviolettivalo

Ultraviolettivalo on elektromagneettista säteilyä, jonka spektri jää röntgensäteilyn ja näkyvän valon spektrin väliin. UV-valo jaetaan aallonpituuden mukaan kolmeen ryhmään; UVA 320–400 nm, UVB 290–320 nm ja UVC 200–290 nm. UV-säteilyä mitataan intensiteetillä ja annoksella, joka on intensiteetin ja ajan tulo (Bintsis ym., 2000).

UV-lampuissa käytetään elohopeapolttimoita. UVA-valoa saadaan filtteroimalla näkyvän valon aallonpituudet pois. Korkeapaineisilla elohopeapolttimoilla saadaan UVB-säteilyä. UVC-lampuissa käytetään yleensä matalapaineista elohopeapolttimoa, jolla syntyy enimmäkseen aallonpituutta 253,7 nm (Bintsis ym., 2000).

PPE-tekniikalla (pulse power energization technique) voidaan synnyttää korkeaintensiteettisiä valopulsseja. PPE-tekniikka tuottaa useiden megawattien sähkötehon verrattuna tavallisesti käytettyihin 10–100 watin tehoihin. Energia purkautuu lyhyinä sykäyksinä, yhden pulssin pituus on 1 $\mu$ s (MacGregor ym., 1998).

### 7.3.2 UV-säteilyn tehoon vaikuttavia tekijöitä

#### Läpätunkevuus

UV-valo läpäisee ilmaa ja vettä (Shama, 2002), mutta sen kyky tunkeutua kiinteisiin aineisiin on huono. UV-valo toimii parhaiten sileillä pinnoilla, joilla epätasaisuuksista johtuvat varjot eivät suojaa mikrobeja (Morgan, 1989). UV-valon käyttö vaatii pölyttömiä ja liasta puhtaita pintoja (Flückiger, 1995). Nesteessä olevat mikrobit vaativat tuhoutuakseen isomman UV-annoksen kuin ilmassa olevat, koska nesteessä UV-valon läpätunkevuus on huonompi kuin ilmassa. Nesteissä UV-valon intensiteetti vähenee mitä paksumman tai sakeamman nestekerroksen läpi UV-säteily kulkee. Vedessä intensiteetti laskee 30% 40 cm:n matkalla, kun taas merivedessä sama intensiteetin lasku tapahtuu



10 cm:n matkalla ja 10 %:n sokeriliuoksessa jo 5 cm:n matkalla (Bintsis ym., 2000).

### Lämpötila ja kosteus

Lämpötilalla ei ole suurtakaan merkitystä UV-säteilyn tehoon 5–37 °C välillä, mutta kosteus vaikuttaa mikrobien tuhoutumiseen. Ilmankosteuden lisääntyminen vähentää mikrobien tuhoutumista läpätunkevuuden heikentymisen vuoksi (Bintsis ym., 2000). Kuivana filminä *L. monocytogenes* -solut kestävät UV-valon vaikutuksia paremmin kuin kostealla alustalla. D-arvot kahden minuutin altistuksella 100  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  intensiteetillä olivat kuivilla bakteereilla 43 s ja kosteilla 16–18 s (Yousef & Marth, 1988).

#### 7.3.3 UV-valon mikrobisidiset ominaisuudet

UV-valon aallonpituudet 220–300 nm välillä tuhoavat bakteereita, viruksia, sienä ja hiivoja. Suurin bakterisidinen teho on aallonpituuksilla 250–260 nm (Morgan, 1989). UVC-lampun tuottama aallonpituus 253,7 on siten ihanteellinen mikrobien tuhoamiseen. UVA-valolla ei todettu merkittävää muutosta *L. monocytogenes* -pitoisuuksissa 10 min käsittelyssä. Samassa ajassa ja intensiteetillä UVC-valolla saavutettiin 7  $\log_{10}$  vähennys (Yousef & Marth, 1988).

UV-valon mikrobisidiseen tehoon vaikuttaa aallonpituuden lisäksi säteilyn intensiteetti (I), etäisyys kohteesta ja altistusaika (t). Intensiteetti kuvaa energian virtausnopeutta pinta-alayksikköä kohti ja sen yksikkö on  $\text{W}/\text{m}^2$ . Annos (D) määrää bakteerien tuhoutumisen, ei niinkään intensiteetti. ( $D = I \times t$ ). Annoksen yksikkönä käytetään  $\text{J}/\text{m}^2$  tai  $\text{mWs}/\text{cm}^2$ . UV-annos voidaan mitata UV-radiometrillä, joka ilmaisee intensiteetin (Shama 2002). Intensiteetin kasvattaminen nopeuttaa *L. monocytogenes*in tuhoutumista, mutta saavutettu bakteerien vähentyminen on samansuuruinen kuin pienemmällä intensiteetillä (Yousef & Marth, 1988).

#### 7.3.4 UV-valon vaikutus mikrobeihin

UV-valon vaikutus mikrobeihin perustuu sen aiheuttamiin muutoksiin mikrobin perimässä ja proteiineissa. Proteiinien aminohappoihin syntyy ristosidoksia hiilihiilidosten välille ja proteiinit denaturoituvat (Lado & Yousef, 2002). Bakteerin

DNA:n ja RNA:n nukleiinihapot absorboivat UV-valoa voimakkaimmin 260 nm aallonpituuden alueella ja UVC-valo vaikuttaa siten mikrobin perimään voimakkaimmin (Morgan, 1989). Mikrobeilla on korjausmekanismeja UV-valon aiheuttamia vaurioita vastaan. Matalilla UV-annoksilla mikrobit kykenevät korjaamaan säteilyn aiheuttamat vaikutukset DNA:han (Setlow, 2001).

### 7.3.5 Mikrobin UV-herkkyys

Hiivat, homeet ja virukset ovat kestävämpiä UV-valon vaikutuksille kuin bakteerit (Bachmann, 1975). Gram-negatiiviset bakteerit ovat herkempiä UV-säteilylle kuin gram-positiiviset (Rowan ym., 1999). Mikrobin itiöt ovat varsin kestäviä UV-säteilylle DNA-valokemian ja tehokkaiden korjausmekanismiensa ansiosta. Mekanismit aktivoituvat bakteeri-itiön itämisen aikana (Setlow, 2001).

PPE-tekniikkalaitteella tehdyssä tutkimuksessa eri mikrobin herkkyys UV-valolle vaihteli. *L. monocytogenes* oli testatuista mikrobeista kestävin ja *Pseudomonas aeruginosa* herkin. Mikrobin kestävyys oli kestävimmästä herkimpään; *L. monocytogenes* > *Staphylococcus aureus*, *Salmonella enteritidis* > *Escherichia coli* > *Bacillus cereus*, *Saccharomyces cerevisiae* > *P. aeruginosa* (Rowan ym., 1999). TSYEA-alustoille viljeltyt *E. coli* ja *L. monocytogenes* -bakteerit altistettiin eripituisille pulssikäsittelyille. Lyhyillä käsittelyajoilla *E. coli* oli *L. monocytogenes*stä herkempi käsittelylle. Molemmilla bakteereilla saavutettiin 7 log<sub>10</sub> vähennys 512 μs aikana (MacGregor ym., 1998).

Eri bakteerilajien sisällä on suuria vaihteluita kantojen välisessä UV-valon kestävyudessa. Kahdeksan *E. coli* -kannan välillä 6 log<sub>10</sub> pitoisuuden laskuun vaadittiin 12–125 J/m<sup>2</sup> annos aallonpituuden ollessa 253,7 nm. Saman serotyypin sisällä esiintyi myös suuria vaihteluita (Sommer ym., 2000). Kasvuvaihe vaikuttaa *L. monocytogenes* -bakteerien kestävyteen. Muuttumattoman kasvuvaiheen solut ovat kestävämpiä kuin eksponentiaalisen kasvun vaiheessa olevat bakteerisolut (Shama, 2002). 24 ja 48 h *L. monocytogenes* -viljelmät olivat yhtä herkkiä UV-valolle, niiden D-arvot olivat 16 ja 18 sekuntia (Yousef & Marth, 1988). Taulukossa 15 esitetään eri bakteerilajien vähentämiseen tarvittavia annoksia.

Mikrobipopulaatiossa voi olla useita eri kantaa edustavia bakteereja, jolloin populaation UV-herkkyys voi vaihdella. UV-säteilyä kestävämpien solujen

annos-vastekäyttäytyminen on vaihtelevaa ja tätä on vaikeaa kuvailla kvantitatiivisesti (Blatchley ym., 2001).

*Taulukko 15. Bakteerien 99,9 % vähentämiseen (3 log<sub>10</sub>) tarvittavia annoksia (Abshire, 1988; Butler ym., 1987; Chang ym., 1985; Yousef & Marth, 1988).*

Mikro-organismi	Annos mWs/cm <sup>2</sup>
<i>Campylobacter jejuni</i>	1,8
<i>Yersinia enterocolitica</i>	2,7
<i>Salmonella typhi</i>	5,5
<i>Escherichia coli</i>	5,0–6,5
<i>Shigella sonnei</i>	6,6
<i>Staphylococcus aureus</i>	6,6
<i>Enterococcus faecalis</i>	10,0
<i>Listeria monocytogenes</i>	10,2–28,2
Poliovirus	21,3
Rotavirus	25
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	30
<i>Bacillus subtilis</i> , itiö	60

### 7.3.6 UV-valon käyttö elintarviketeollisuudessa

#### Mikrobien tuhoaminen pinnoilta

Pintoja voidaan desinfioida UV-valolla pakkausmateriaaleista, kuten neste-mäisten tuotteiden kartonkipakkauksista, pakkausfilmeistä tai pulloista (Bachmann, 1975). Myös elintarvikkeiden, kuten lihan, pintoja voidaan käsitellä UV-säteilyllä. Pintojen desinfioinnissa rajoittavina tekijöinä ovat pintojen epätasaisuus, pöly ja muu lika (Gibson, 1989). Laitteen pinnassa olevat raot ja kolot voivat suojata bakteereita UV-valolta, koska UV-valo ei tunkeudu varjostuma-kohtiin (Shama, 2002; Wallner-Pendleton ym., 1994).

*Salmonellan* selviytymistä erilaisilla pinnoilla tutkittiin UV-käsittelyn jälkeen. Muovinen polyesterikuljetinhihna puhdistui paremmin kuin metallinen tai polypropeenikuidusta punottu kuljetinhihna. Kuituhihna oli vaikeimmin puhdistettavissa UV-valolla sen pinnan epätasaisuuden vuoksi (Gao ym., 1997).

UV-valolla saatiin pienennettyä aerobisten bakteerien määrää lihan pinnalta, kun pinta oli tasainen ja lihassyöt pinnan suuntaiset. Lihassyitä vastaan leikatuissa lihoissa desinfiointiteho oli huonompi, sillä UV-valo ei tunkeutunut lihassyiden väliin (Stermer ym., 1987). Lihan käsittely UV-valolla ennen pakkaamista hidasti psykrotrofisten bakteerien kasvua käsittelemättömään tuotteeseen verrattuna. Pilaantuminen tapahtui käsittelemättömässä tuotteessa neljässä päivässä, mutta UV-käsitellyssä tuotteessa kuudessa päivässä (Reagan ym., 1973). UV-annoksella 82,6 mWs/cm<sup>2</sup> käsittelystä kananpuolikkaasta *Salmonella typhmuriumin* pitoisuus väheni vain 61 % (Wallner-Pendleton ym., 1994). Kanannahkan pinnasta *Salmonella* väheni 80,5 % ja agar-levyiltä 99,9 % samalla UV-annoksella (Sumner ym., 1996). Kanan pinnan epätasaisuus heikentää UV-valon tehokkuutta mikrobien tuhoamisessa.

Aistinvaraisten muutosten syntyminen on UV-valolla vähäisempää kuin ionisoivalla säteilyllä, mutta korkea intensiteetti voi aiheuttaa rasvojen härskiintymistä, ruskeita pilkkuja joissain vihanneksissa ja B- ja C-vitamiinien tuhoutumista (Shama, 2002).

### Mikrobien tuhoaminen ilmasta

UV-säteilyä on käytetty ilman desinfiointiin sairaaloissa ja elintarviketuotannossa. (Gibson, 1989). UV-lähde voidaan sijoittaa ilmastointikanaviin tai korkeissa tiloissa myös huonetilan kattoon (Riley & Nardell, 1989). UV-säteily voi vahingoittaa silmiä ja aiheuttaa ihoärsytystä, joten UV-säteilylähde tulee asentaa siten, että siitä ei aiheudu haittaa tiloissa työskenteleville ihmisille tai desinfiointi on suoritettava tuotannon jälkeen, esimerkiksi yöllä (Riley & Nardell, 1989).

### Mikrobien tuhoaminen nesteistä

UV-valoa käytetään paljon juomaveden desinfiointiin, ja erilaisia ratkaisuja on kehitetty myös sakeampien ja partikkeleita sisältävien nesteiden desinfiointiin (Gibson, 1989). Veden käsittely UV-säteilyllä ei vaikuta veden happamuus-

teen, makuun, väriin tai hajuun (Bintsis ym., 2000). Juuston valmistuksessa käytettävän kierrätettävän suolaliuoksen UV-käsittelyä on kokeiltu Mozzarellan valmistuksessa (Anon., 1994). Juustopalat täytyy suodattaa suolalaukasta ennen UV-käsittelyä, jotta niiden suojaava vaikutus mikrobeille vältettäisiin (Bintsis ym., 2000).

### 7.3.7 Materiaalit ja UV-säteily

UV-valon vaikutuksesta erilaisiin pintamateriaaleihin on julkaistu vähän tutkimustietoa. Erilaisten kuljetinhihnojen desinfiointia UV-valolla on tutkittu, mutta kyseinen tutkimus keskittyi mikrobin tuhoutumiseen, eikä UV-valon vaikutukseen hihnamateriaaleihin (Gao ym., 1997). Korkea intensiteetti voi aiheuttaa joidenkin pakkausfilmien sulkeutumisominaisuuksien heikentymistä (Bachmann, 1975).

Nylonin käsittely UV-säteilyllä (193 nm) muutti polymeerin pinnan amideja amiineiksi. Amiiniryhmällä oli mikrobeja tuhoavaa vaikutusta *S. aureusta* ja *E. faecalista* vastaan, mutta ei *P. fluorescensia* vastaan. Käsittelyllä ei ollut heikentävää vaikutusta nylonin käyttöominaisuuksiin pakkausmateriaalina (Shearer ym., 2000). UV-käsittely lisää pakkausfilmeinä käytettävien polymeerien, kuten PP, PE ja PET, pintajännitystä ja hydrofiilisyyttä ja parantaa niiden adheesio- ja käyttöominaisuuksia (Mathieson & Bradley, 1996).

## 7.4 Mikrobien tuhoaminen desinfiointineilla

Gun Wirtanen ja Kaarina Aarnisalo, VTT Biotekniikka

### 7.4.1 Yleistä desinfioinnista

Desinfiointin tarkoituksena on varmistaa pesun tehokkuus tuhoamalla pinnoille jääneet mikrobit ja ehkäistä niiden kasvua pesun jälkeen (Troller, 1993). Niillä ei ole välttämättä itioitä tuhoavaa vaikutusta. Desinfiointineina käytetään yleisesti klooriyhdisteitä, alkoholeja, hapettavia yhdisteitä, jodofooreja, fenoleja tai halogenoituja fenoleja sekä kationisia tensidejä (taulukko 16; Wirtanen, 1995; Skogman, 1997). Desinfiointineen valintaan vaikuttaa moni tekijä. Eräs käytetty

*Taulukko 16. Elintarviketeollisuudessa käytettyjen desinfiointiaineiden ominaisuudet (Wirtanen, 1995).*

Desinfiointiaine	Käytön hyödyt ja haitat
Alkoholit	<b>hyödyt:</b> myrkytön, helppokäyttöinen, väritön, tehokas vegetatiivisoluille, vaaraton iholle, hajoava, haihtuva, useat vesiliukoisia, <b>haitat:</b> mikrobistaattisia, suhteellisen tehoton itiöitä vastaan
Vetyperoksidi	<b>hyödyt:</b> hajoaa vedeksi ja hapeksi, suhteellisen myrkytön, helppo käyttää <i>in situ</i> ; heikentää biofilmiä, avustaa biofilmin irrottamisessa <b>haitat:</b> korkeat konsentraatiot (> 3 %), resistentsisyys, syövyttävä
Peretikkahappo	<b>hyödyt:</b> erittäin tehokas pienissä konsentraatioissa, laaja käyttöalue, tappaa itiöitä, hajoaa etikkahapoksi ja vedeksi, myrkytön, tunkeutuu biofilmeihin <b>haitat:</b> syövyttävä, epästabiili
Kloori	<b>hyödyt:</b> toimii laajalla käyttöalueella, aktiivinen alhaisissa pitoisuuksissa, tuhoaa biofilmimatriisia, edesauttaa lian irtoamista <b>haitat:</b> myrkyllisiä sivutuotteita, resistenssin kehittyminen, jäämät, syövyttävä, reagoi solunulkoisten polymeerien kanssa, huono tunkeutuvuus biofilmeihin
Hypokloriitti	<b>hyödyt:</b> halpa, tehokas, helppo käyttää, irrottaa biofilmimatriisia, toimii laajalla käyttöalueella <b>haitat:</b> epästabiili, myrkyllinen, hapettava, syövyttävä, nopea jälkikasvu, ei kykyä kontrolloida kiinnittymisiä, tuotteen väri voi muuttua
Kloramiini	<b>hyödyt:</b> tunkeutuu hyvin biofilmeihin, reagoi mikrobien kanssa <b>haitat:</b> tehokkuus nesteessä olevia bakteereja kohtaan heikompi kuin kloorilla, havaittu resistenssin kehittymistä
Klooridioksidi	<b>hyödyt:</b> tehokas alhaisissa pitoisuuksissa, valmistettavissa paikan päällä, vähemmän pH-riippuvainen kuin muut klooriyhdisteet <b>haitat:</b> myrkyllisiä sivutuotteita, räjähtävä kaasu
Kvatit	<b>hyödyt:</b> tehokkaita, myrkyttömiä, edesauttavat biofilmin irrotusta ja estävät sen kasvua, ei-syövyttäviä, ei-ärsyttäviä, ei pahoja hajuja eikä makuja <b>haitat:</b> inaktivoituvat alhaisessa pH:ssa, reagoivat Ca- ja Mg-suolojen kanssa, resistenssi, tehottomia gram-neg. bakteereille
Otsoni	<b>hyödyt:</b> samanlainen tehokkuus kuin kloorilla, hajoaa hapeksi, ei jäämiä, heikentää biofilmimatriisia <b>haitat:</b> reagoi orgaanisten aineiden kanssa muodostaen epoksiedeja, syövyttävä, lyhyt puoliintumisaika, herkkä veden komponenteille
Jodoforit	<b>hyödyt:</b> ei-syövyttäviä, myrkyttömiä, helppo käyttää, ei-ärsyttäviä, toimivat laajalla käyttöalueella <b>haitat:</b> pahoja hajuja ja makuja, muodostavat punaisia yhdisteitä tärkkelyksen kanssa, kallis
Glutaraldehydi	<b>hyödyt:</b> tehokas, halpa, ei hapeta, ei syövytä <b>haitat:</b> ei tunkeudu biofilmeihin, hajoaa muurahaihapoksi, nostaa DOC-lukua

ja tehokkaaksi todettu tapa on putkistojen ja laitteistojen huuhtelu kuumalla vedellä (+90–95 °C /5 min) tai höyryllä pesujen jälkeen (Bylund, 1995) Desinfiointiaineen tulisi olla yhteensopiva itse prosessin ja siinä käytettyjen pintamateriaalien kanssa. Se ei saisi aiheuttaa käyttökohteiden korroosiota eikä tuottaa käyttäjille ylimääräisiä riskejä kuten ihon ja limakalvojen ärsytystä. Lisäksi valintaan vaikuttavat desinfiointiaineen omat ominaisuudet kuten mikrobisidinen teho, pinta-aktiivisuus, vesiliukoisuus, käyttöturvallisuus, herkkyys orgaaniselle lialle, tehon kesto, huuhtoutuvuus ja helppokäyttöisyys (Mattila-Sandholm & Wirtanen, 1991; Ojajarvi, 1996).

Pintojen kemiallisessa desinfioinnissa käytettyjä aineita on paljon ja ne eroavat toisistaan sekä tehoaineiltaan että tehokkuudeltaan. Kemiallisia aineita käytettäessä desinfiointi tapahtuu, kun aine pääsee vaikuttamaan mikrobiin ja vaikutusaika on tarpeeksi pitkä. Yleisimmin käytettyjä ja myöskin tehokkaimpia tehoaineita ovat erilaiset klooriyhdisteet, kationiset tensidit sekä vetyperoksidin ja peretikkahapon seos (taulukko 17). Trollerin (1993) mukaan käytettävän desinfiointiaineen valintaan vaikuttavat pintojen materiaali ja tuhottava mikrobiopopulaatio. Desinfiointiaineiden tulisi olla myös vesiliukoisia, biologisesti hajoavia eivätkä ne saisi aiheuttaa korroosiota pinnoille. Desinfiointiaineiden tehokkuus riippuu happamuuden, lämpötilan, liuosväkevyyden ja kontaktiajan

*Taulukko 17. Yleisimmin käytettyjä desinfiointiaineita (Wirtanen, 1995).*

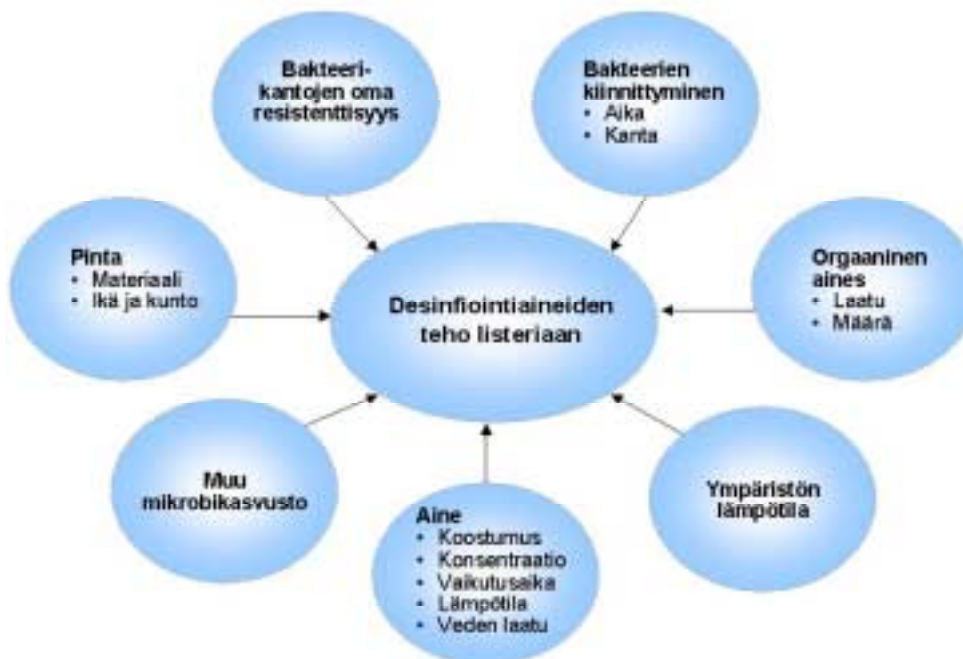
Desinfiointi- aine	Klooriyhdisteet	Peretikka- happo	Alkoholit	Kvatit
Vaikutustapa	Yhdistyy solukalvon proteiinien kanssa → häiritsee aineenvaihduntaa	Hajottaa solurakenteen	Denaturoivat proteiineja, liuottavat solukalvojen lipidit	Reagoivat solukalvon entsyymien kanssa → soluseinän läpäisykyky suurenee → solukalvo repeytyy
Tehoa parhaiten	Bakteerit, hiivat, sienet, virukset	Bakteerit, sienet, itiöt, virukset	Vegetatiivisolut	Gram + bakteerit, hiivat, lipofiiliset virukset
Käyttö	Käytetyin desinfiointiaineryhmä	Sopii CIP-pesuihin	Käytetään usein muiden aineiden kanssa	Liian pienet käyttöpitoisuudet → entsyymit aktivoituvat → muodostuu resistenttejä kantoja

yhteisvaikutuksesta (Mattila-Sandholm & Wirtanen, 1991). Eri aineilla on omat optimiolosuhteensa, joissa niiden desinfioiva vaikutus on parhaimmillaan. Yleensä lämpötila tehostaa aineen vaikutusta, mutta liian korkeita lämpötiloja käyttämällä aiheutetaan itse desinfiointiaineen hajoaminen.

Desinfiointiaineet eivät pysty vaikuttamaan täydellä teholla lian ja biofilmiin suojaamiin mikrobeihin. Esimerkiksi klooriyhdisteet inaktivoituvat helposti orgaanisen materiaalin ja lian vaikutuksesta (Mattila-Sandholm & Wirtanen, 1991). Aseptisessä ja steriilituotannossa suoritetaan putkistojen höyrysterilointi juuri ennen tuotannon aloitusta (Luotola, 1998). Yleisimmin teollisuudessa käytetyt desinfiointiaineet ovat alkoholipohjaisia, peroksidipohjaisia ja klooripohjaisia desinfiointiaineita sekä kvaternäärisiä ammoniumyhdisteitä sisältäviä desinfiointiaineita. Näiden aineiden ominaisuudet on lähemmin esitelty seuraavissa kappaleissa.

*L. monocytogenes* -bakteerien muodostama biofilmi kiinnittyy voimakkaasti pintoihin (Wirtanen ym., 1994) ja biofilmin muodostuminen vaikeuttaa pesu- ja desinfiointiprosesseja. Listeriat ovat gram-positiivisia bakteereita. Yleisesti gram-positiiviset bakteerit ovat herkempiä pesu- ja desinfiointiaineille kuin gram-negatiiviset bakteerit (esim. salmonelat, *Escherichia coli*, kampylobakteerit) (Best, 1995). Pesu- ja desinfiointiaineiden erilainen teho gram-positiivisiin ja -negatiivisiin bakteereihin johtuu niiden erilaisista pinta-kerroksista (Stanier ym., 1987). Tekijät, jotka vaikuttavat listeriabakteerien tuhoamiseksi käytettävien desinfiointiaineiden tehoon on esitetty kuvassa 36 (El-Kest & Marth, 1988a; b; Mustapha and Liewen 1989; Best ym., 1990; Frank and Koffi, 1990; Lee ja Frank, 1991a, b; Shin-Ho-Lee & Frank, 1991; Dhaliwal ym., 1992; Krysinski ym., 1992; Wirtanen & Mattila-Sandholm, 1992; Helke ym., 1993; Mosteller & Bishop 1993; Tuncan, 1993; Marriott, 1994). Seuraavissa kappaleissa tarkastellaan myös tavallisimpien käytettyjen desinfiointiaineiden tehoa erityisesti *L. monocytogenes* -bakteereihin. Tehoa ja tehoon vaikuttavia tekijöitä on käsitelty myös kirjallisuuskatsauksen kohdassa 6.3.





Kuva 36. Listerioiden tuhoamiseen käytettävien pesu- ja desinfointiaineiden tehoon vaikuttavat tekijät.

#### 7.4.2 Desinfointiaineiden tehon testaus

Desinfointiaineiden ja antiseptisten aineiden mikrobisidisen tehon varmentamiseksi on kehitetty standardoituja määritysmenetelmiä (Bloomfield ym., 1991). Tuotanto-olosuhteissa suoritettavat testit ovat kalliita ja vaikeita, minkä vuoksi useimmat testit perustuvat laboratorio-olosuhteisiin (Bloomfield ym., 1994). Euroopassa on useita kansallisia standardimenetelmiä (AFNOR, DIN, BSI). Vastaavia menetelmiä on kehitetty myös Yhdysvalloissa AOAC:n (Association of Official Analytical Chemists) johdolla (Anon., 1980). Eurooppalainen komitea CEN työstää elintarvikehygienian, lääketieteen, eläinlääketieteen ja maatalouden sektoreille EU:n jäsenmaille yhtenäisiä standardoituja testimenetelmiä (Bloomfield ym., 1991). CEN:n testimenetelmien perustana on käytetty Ranskan AFNOR-standardisuspensiotestiä (Skogman, 1997). Standardimenetelmät käsittelevät desinfointiaineiden mikrobisidisen tehon määrittämisen suspensio-, kapasiteetti- ja kantajatestillä esim. pintatesti (Reybrouck, 1986).

## "555"-suspensiotesti

Suspensiotestiä käyttämällä desinfiointiaineiden tehon seulontaan. "555"-suspensiotesti on VTT:n menetelmä (VTT-4278-96) liuoksina käytettävien pesu- ja desinfiointiaineiden mikrobisidisen tehon testaamiseen. Testissä käytetään viittä mikrobikantaa (*Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella choleraesuis*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Saccharomyces cerevisiae*), joihin tutkittavan aineen annetaan vaikuttaa nesteviljelmässä viiden minuutin ajan. Pesu- tai desinfiointiaineen vaikutus pysäytetään inaktiivointiliuoksella ja elävien solujen lukumäärä määritetään viljelemällä näytteet kiinteille kasvualustoille. Mikrobisidistä tehoa verrataan mikrobikantojen käsittelemättömiin kontrolliviljelmiin (VTT-4278-96, Menetelmäohje). Tutkittavasta pesu- ja desinfiointiaineesta käytetään yleensä alhaisinta valmistajan suosittelemaa pitoisuutta. Pesu- ja desinfiointiainetta voidaan pitää tehokkaana, mikäli mikrobipopulaatio pienenee käytön jälkeen viidellä logaritmyyksiköllä (Skogman, 1997).

## Eurooppalainen suspensiotesti

Eurooppalaisissa standardeissa (EN 1276 ja EN 1650) on esitetty testausmenetelmät kemiallisten desinfiointiaineiden ja antiseptisten aineiden bakteeri- ja fungisidisen tehon määrittämiseksi sekä vähimmäisvaatimukset näiden aineiden teholle. Näissä menetelmissä käytetään kovaa vettä. Standardia sovelletaan maataloudessa (paitsi kasvinsuojelussa), kotitalouksissa, elintarviketeollisuudessa ja muilla teollisuuden aloilla, julkisella sektorilla sekä lääke- ja eläinlääketieteessä käytettäviin aineisiin (Skogman, 1997).

Bakteerisidisen tehon määrittämisessä käytetään testiorganismeina *P. aeruginosa* (ATCC 15442), *E. coli* (ATCC 10536), *S. aureus* (ATCC 6538) ja *Enterococcus hirae* (ATCC 8043) -kantoja. Fungisidinen teho määritetään *Candida albicans* (ATCC 10231) ja *Aspergillus niger* (ATCC 16404) -kannoilla. Testattavan desinfiointiaineen (1,25 x lopullinen pitoisuus) annetaan vaikuttaa 20 °C:ssa bakteereihin 5 min ja sieniin 15 min. Desinfiointiaine voidaan testata joko puhtaissa (0,03 % naudan albumiinia) tai likaisissa (0,3 % naudan albumiinia) olosuhteissa. Testi voidaan suorittaa joko laimennus- ja inaktiivointimenetelmällä tai membraanisuodatusmenetelmällä. Inaktiivointiaineena suositellaan käytettäväksi mm. natriumsulfaattia ja L-kysteiiniä sisältäviä liuoksia. Eurooppalaiset normit sisältävät myös menetelmiä suspensiotestin validoimiseksi. Normeissa validoidaan testiolosuhteet, inaktiivointi, suodatus sekä inaktiivointiliuoksen

myrkyttömyys. Lisäksi niissä annetaan malli testitulosten raportoinnista (Skogman, 1997).

## Pintatestit

Pintatestejä on olemassa useita erilaisia, ne eroavat toisistaan mm. käytettyjen pintamateriaalien, mikrobisuspension valmistuksen, pintojen likaamisen, pinnalle pipetoidun mikrobisuspension ja desinfiointiaineen määrään, pinnan kuivauksen ja desinfiointiaineen vaikutusajan suhteen. Lisäksi kontrolliliuosten koostumuksessa, mikrobien irrotusmenetelmissä, inaktiivointivaiheen pituudessa, laimennosliuoksissa ja viljelytekniikoissa esiintyy eroja (Bloomfield ym., 1994; Wirtanen, 1995; Skogman, 1997).

VTT:n pintatestissä pesu- ja desinfiointiaineiden mikrobisidistä tehoa testataan puhtailla tai likaisilla metallipinnoilla. Orgaanisena likana voidaan käyttää esim. maitokermaa, rasvaa tai varasto-olutta. Pinnoille pipetoidaan testattavaa pesu- tai desinfiointiainetta ja kontrolliviljelmien päälle pipetoidaan fysiologista suolaliuosta. Pesu- ja desinfiointiaineiden annetaan vaikuttaa esim. kolmessa eri ajanjaksossa. Käsittelyn jälkeen desinfiointiaineen teho pysäytetään inaktiivointiliuoksella. Mikrobisidinen teho määritetään vertaamalla käsiteltyjen ja käsittelemättömien (kontrolli) näytteiden pesäkemääriä (Skogman, 1997). Pesu- ja desinfiointiaineita pidetään tehokkaina, mikäli niillä saavutetaan kolmen logaritmyksikön alenema mikrobipitoisuudessa (Mosteller & Bishop, 1993).

## Biofilmitesti

Biofilmitesteissä tutkitaan desinfiointiaineiden mikrobisidistä tehoa pinnoilla biofilminä kasvaviin mikrobeihin. Biofilmi muodostuu, kun pinnoille kiinnittyneet mikrobisolut lisääntyvät pinnoilla ja muodostavat ympärilleen suojaavan polysakkaridi- ja glykoproteiiniverkoston (Wirtanen, 1995; Storgårds, 2000). Testeissä voidaan käyttää puhtaita tai prosessiliialla liattuja pintoja. Tavallisesti pintamateriaalina on käytetty valssattua ruostumatonta terästä (AISI 304 tai AISI 316, 2B). Ruostumattomat teräspinnat voidaan myös pintakäsitellä esim. naru-laikkaräpytyksellä, hiekka- tai keraamisella puhalluksella, elektrolyyttisellä tai mekaanisella kiillotuksella. Tutkittavasta prosessiosuudesta riippuen voidaan myös käyttää erityyppisiä muovi- ja kumipintoja esim. EPDM, NBR, silikon, teflon ja Viton (Wirtanen, 1995; Storgårds, 2000).

Esiliatuille ja likaamattomille levyille kasvatetaan biofilmiä valituista mikrobin puhdas- tai seosviljelmistä käyttämällä sopivaa alustaa kuten lima- tai vierresokerilientä. Kasvatus suoritetaan ravistelussa (60–75 rpm) joko kylmässä (4–5 °C) tai huoneenlämmössä (25 °C). Kasvatusaika vaihtelee kahdesta kymmeneen vuorokauteen. Kasvatusalusta vaihdetaan tuoreeseen joka toinen päivä. Kasvatuksen päättyessä levyt huuhdellaan steriilillä vedellä, jolloin vain kiinnittyneet solut jäävät levyihin (Wirtanen, 1995).

Eri desinfiointiaineen tehoa pinnalle kasvatettuun biofilmiin tutkitaan upottamalla testilevyt viideksi minuutiksi temperoituun (20°C), sopivasti laimennettuun desinfiointiaineeseen tai tislattuun veteen (kontrolli). Käsittelyn jälkeen desinfiointiaine inaktivoidaan neutralointiliuoksessa. Desinfiointiteho määritetään viljelymenetelmällä. Vaihtoehtoisia määrittämenetelmiä viljelylle ovat impedimetria, elävyysvärjäys ja ATP-menetelmä (Wirtanen ym., 1997).

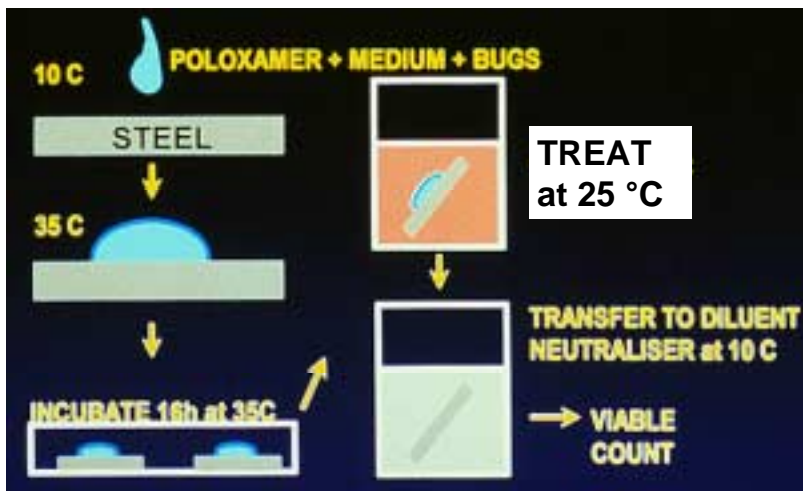
### Alginaattigeelitesti

Alginaattigeelitesti on uusi sovellus desinfiointiaineiden tehon testauksessa. Testissä tutkitaan desinfiointiaineiden kykyä läpäistä alginaattigeelijyväsistä muodostuva keinotekoinen biofilmi. Desinfiointiaineen tehoon vaikuttavat sen omien ominaisuuksien lisäksi alginaattijyvästen koko ja siirrosten solupitoisuus. Desinfiointiaineen teho laskee, kun geelijyväsen sädettä tai solupitoisuutta kasvatetaan (Stewart ym., 1998). Alginaattiliuos valmistetaan veteen ja siirrotetaan tutkittavalla mikrobikannalla. Liuoksen lopullinen alginaattipitoisuus on 2 paino-%. Alginaattigeelijyväset valmistetaan tiputtamalla alginaatti-mikrobiseos pisarottain kalsiumkloridiliuokseen. Alginaattigeelijyvästen desinfiointiainetestaus suoritetaan seuraavasti: Geelijyväset sekoitetaan kalsiumkloridiliuokseen ja tietty määrä biosidiä lisätään joukkoon. Eri vaikutusaikojen jälkeen jyväset kerätään ja liuotetaan natriumsitraattiliuokseen, jonka jälkeen niiden mikrobipitoisuus määritetään maljavalutekniikalla. Mikrobipitoisuus saadaan jakamalla pesäkemäärä lasketulla pallomaisen geelijyvän tilavuudella. Kontrollina käytetään biosidillä käsittelemättömiä alginaattigeelijyväsiä (Stewart ym., 1998).

### Hydrogeelitestesti

Hydrogeelitestissä tutkitaan desinfiointiaineen tehoa biofilmiä simuloivassa hydrogeelissä (esim. Poloxamer F127) kasvaviin soluihin, että voitaisiin päätellä kuinka hyvin se tunkeutuu biofilmiin ja vaikuttaa pinnoilla esiintyviin mikrobi-

hin. Poloxamer F127 on polyoksietyleenin ja polyoksipropyleenin hydrogeelikopolymeeri, joka on nesteenä alle 15 °C:ssa ja geelinä yli 15 °C:ssa. Hydrogeelin valmistamiseksi Poloxamer-hiutaleet liuotetaan jääkaapissa kasvatusliuokseen, jonka jälkeen geeli autoklavoidaan ja siirrostetaan testiorganismilla (kuva 37). Siirrostettu geeli pipetoidaan pisaroina autoklavoiduille metallinapeille ja geeliä inkuboidaan pesäkkeiden kasvattamiseksi muutamia tunteja. Tutkittava desinfiointaine laimennetaan käyttöliuokseksi veteen. Kontrollina käytetään steriiliä vettä. Inkuboitumisen jälkeen hydrogeelinapit siirretään temperoituun (20 ± 1 °C) desinfiointineliuokseen viideksi minuutiksi. Desinfiointinaine inaktivoidaan jääkaappikylmässä inaktivointiliuoksessa ja sen teho määritetään ravintoagarilla pintaviljelymenetelmää käyttämällä (kuva 37). Desinfiointinainen mikrobisidinen teho tulisi hydrogeelitestissä olla vähintään 0,3 log-yksikköä pisaraa kohti, jotta sen teho biofilmimikrobeihin olisi riittävä (Wirtanen ym., 1998, 2003; Härkönen ym., 1999).



Kuva 37. Hydrogeeliin perustuvan desinfiointinainen tehon testausmenetelmä, jossa mikrobisiirrostetta listätään hydrogeeliin ja hydrogeelipisarot pipetoidaan kylminä teräspintaan. Siirrostetut hydrogeelipisarot inkuboidaan esim. 16 h 35 °C:ssa, jonka jälkeen pisarat käsitellään 25-asteisessä desinfiointineliuoksessa 5 min ennen viljelyä. Kontrollina käytetään vettä (Wirtanen ym., 1998; Härkönen ym., 1999).

### 7.4.3 Alkoholipohjaiset desinfiointiaineet

Alkoholeilla on monia hyviä puolia kemiallisena desinfiointiaineena. Ne ovat halpoja, värittömiä, helppokäyttöisiä, myrkyttömiä, helposti haihtuvia ja hajoa-  
via eivätkä ärsytä ihoa (Flemming, 1991; Troller, 1993). Alkoholit tehoavat  
vegetatiivisiin bakteerisoluihin, mutta eivät itiöihin. Niiden vaikutus on enem-  
mänkin mikrobien kasvua estävä kuin tuhoava. Alkoholipohjaisten desinfiointi-  
aineiden ominaisuudet perustuvat niiden kykyyn denaturoida proteiineja. Prote-  
iinit, esim. entsyymit, ovat välttämättömiä solun kasvulle ja lisääntymiselle.  
Itiöitä muodostavat bakteerit voivat itiöidä desinfioinnin jälkeenkin, koska  
alkoholi ei denaturoi itiömuodostuksessa tarvittavia entsyymejä (Larson &  
Morton, 1991).

Etanolia käytetään pääasiallisesti lääketieteessä ihon ja välineiden desinfiointi-  
seen. Metanolin mikrobisidinen teho on heikoin, eikä sen katsota kuuluvan  
desinfiointiaineisiin (Larson & Morton, 1991). Desinfiointiaineina käytetyistä  
alkoholeista propanolilla on korkein molekyylipaino ja se on voimakkain  
desinfiointiaine. Etanolia toksisempaa isopropanolia käytetään useammin kuin  
propanolia, koska se ei ärsytä ihoa. Teollisissa desinfiointiaineissa alkoholeja  
käytetään useimmiten laimennettuina tai seoksina muiden yhdisteiden esim.  
aldehdyiden kanssa, jolloin ne ovat tehokkaimpia.

Etanoli (70–90 %), propanoli (40–80 %) ja isopropanoli (40–80 %) ovat tehok-  
kaita vegetatiivisia bakteerisoluja vastaan (Pelczar ym., 1993). Näillä aineilla on  
saatu hyviä tuloksia myös suspensiossa olevien *L. monocytogenes* -bakteeri-  
soluihin (Best ym., 1990; Van de Weyer ym., 1993; Wirtanen ym., 1997).  
Isopropanolia sisältävän aineen (0,5 %) teho *L. monocytogenes* -bakteereille  
orgaanisella liialla liatuilla pinoilla eivät olleet hyviä (Grönholm ym., 1999).

### 7.4.4 Peroksipohjaiset desinfiointiaineet

Peroksyhdyditeiden eli pääasiassa vetyperoksidin ja peretikkahapon käyttö desin-  
fiointiaineina on lisääntynyt niiden hajoavuuden ansiosta. Peroksiyhdyditeiden  
desinfiointiominaisuudet perustuvat niiden kykyyn hapettaa proteiineja ja lipidejä.

Vetyperoksidi on vesiliukoinen, kirkas ja pistävänhajuinen liuos (Baldry & Fraser,  
1988). Se tehoaa bakteereihin, hiivoihin, homeisiin, viruksiin ja itiöihin. Se on

tehokkaampi happamissa kuin emäksisissä olosuhteissa. Itiöiden tuhoamiseen voidaan käyttää tarvittaessa korkeaa lämpötilaa (50–80 °C) ja vetyperoksidipitoisuutta (20 %), mutta tämä voi aiheuttaa korroosiota ajan kuluessa. Vetyperoksidi hapettaa myös orgaanista likaa ja vapauttaa happea sekä auttaa lian irrottamisessa (Block, 1991). Elintarviketeollisuudessa pakkaukset ja laitteet desinfioidaan vetyperoksidilla sumuttamalla tai uittamalla (Baldry & Fraser, 1988).

Peretikkahappo on kirkas, väritön ja hapettava biosidi, jolla on pistävä haju. Se toimii happamissa ja emäksisissä olosuhteissa, alhaisissa lämpötiloissa (2–10 °C) sekä orgaanisen lian läsnäollessa. Peretikkahappo on tehokas jo alhaisina pitoisuuksina ja tappaa itiöt. Lääketieteellisten instrumenttien desinfiointissa suositellaan kuitenkin liuoksia joissa on 2–7,5 % vetyperoksidia tai 0,2–1 % peretikkahappoa (Anon. 2002g, i & k). Sikaloitten desinfiointissa suositellaan jopa 10–25 % vetyperoksidiliuoksia, jotta pinnoilla olevat itiöt kuolisivat desinfiointin aikana (Anon. 2002f). Sen teho perustuu mikrobien membraani-proteiinien rikkisidosten hapettamiseen.

Desinfiointiaineissa peretikkahappoon on sekoitettu vettä, etikkahappoa ja vetyperoksidia (Flemming, 1991; Troller, 1993). Elintarviketeollisuudessa peretikkahappoa on hyödynnetty paljon johtuen sen myrkyttömyydestä (laimennettuna) ja tehokkuudesta alhaisissa lämpötiloissa (Wirtanen, 1995). Peretikkahappo ei kuormita luontoa oikeina pitoisuuksina käytettäessä, koska se hajoaa täydellisesti etikkahapoksi ja vetyperoksidiksi ja edelleen hiilidioksidiksi, vedeksi ja hapeksi (Maunuksela, 1995). Sen haittapuolia on, että se syövyttää pintamateriaaleja ja on epästabiili. Vetyperoksidia ja peretikkahappoa sisältävän desinfiointiaineen on todettu olevan tehokas *L. monocytogenes* -bakteereihin myös orgaanisen materiaalin läsnäollessa (Wirtanen, 1997).

#### **7.4.5 Klooripohjaiset desinfiointiaineet**

Klooriyhdisteitä on käytetty jo 1850-luvulla sairaaloiden ja jätevesien desinfioimiseen (Block, 1991). Kloori ei esiinny puhtaana aineena luonnossa vaan se muodostaa yhdisteitä natriumin, kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin kanssa. Kloorilla on voimakas taipumus sitoa elektroneja, minkä vuoksi se on hyvin voimakas hapetin. Vesiliuoksessa kloori on vapaana tai sidotussa muodossa. Kloori esiintyy vapaana esimerkiksi hypokloriittihappona, hypokloriitti-ionina tai kloorimolekyylinä (Dychdala, 1991).

Kloorin desinfioivat ominaisuudet johtuvat hypokloriittihappomolekyyleistä, joilla on mikrobisidisiä ominaisuuksia (Mattila-Sandholm & Wirtanen, 1991). Kloorin tehoon vaikuttavia tekijöitä ovat mm. happamuus, lämpötila, orgaanisen lian määrä ja veden kovuus. Näistä tekijöistä tehoon vaikuttaa eniten happamuus. Mitä alhaisempi pH sitä enemmän liuoksessa on hypokloriittia, ja sitä parempi sen desinfiointiteho on (Hadfield, 1957).

Epäorgaaninen materiaali (ammonium- ja aminoyhdisteet) alentaa kloorin tehoa, kun taas pieni määrä jodia tai bromia nostaa sen tehoa. Klooridesinfioinnille optimaaliset olosuhteet ovat alhainen klooripitoisuus, korkea pH, alhainen lämpötila ja orgaanisen lian sekä katalyyttien poissaolo (Dychdala, 1991).

Hypokloriitti on väritön ja myrkytön aine, jonka vaikutusspektri on laaja. Mikrobin kuolleisuussuhde on suoraan verrannollinen hypokloriittihapon dissosioitumisasteeseen. Hypokloriitin teho on parempi happamissa kuin emäksisissä liuoksissa. Hypokloriittihapon stabiilisuus happamissa olosuhteissa on kuitenkin huono. Esimerkiksi pH 5:ssä 25 °C lämpötilassa 100 mg/l hypokloriittia menettää tehonsa 10 minuutissa (Granum & Magnussen, 1987). Emäksisissä liuoksissa hypokloriitti on ionimuodossa. Hypokloriitti-ionit eivät ole yhtä mikrobisidisiä kuin hypokloriittihappo (Dychdala, 1991). Hypokloriitin mikrobisidiseen tehoon vaikuttavat mm. vaikutusaika, lämpötila, mikrobityyppi, dissosioitumisaste, stabiilisuus, happamuus ja orgaanisen lian läsnäolo (Granum & Magnussen, 1987). Hypokloriitit ovat laajimmin käytettyjä klooriyhdisteitä (Marriott, 1994).

Kloori vaikuttaa *L. monocytogenes* -bakteereihin paljolti samoin kuin muihinkin bakteereihin (El-Kest & Marth, 1988b). Alle 50 ppm klooripitoisuudet eivät riitä tuhoamaan *L. monocytogenes* -bakteereja. Hypokloriitin tehon listeriaan on todettu alenevan selvästi, kun orgaanista materiaalia on läsnä (El-Kest & Marth, 1988a). Mustapha ja Liewen (1989) suosittelivat, että hypokloriittiliuosten tulisi sisältää 200 ppm vapaata klooria ei-huokoiselle ruostumattomalle teräspinnalle ja 400 ppm huokoiselle pinnalle, jotta liuokset olisivat tehokkaita listerian tuhoamiseen, kun vaikutusaika on 2 min.



#### **7.4.6 Kvaternäärisiä ammoniumyhdisteitä sisältävät desinfiointiaineet**

Kvaternääriset ammoniumyhdisteet (kvatit) ovat sekä desinfiointiaineita että pinta-aktiivisia aineita, jotka alentavat veden pintajännitystä. Ne ovat värittömiä, hajuttomia, stabiileja ja oikeaa pitoisuutta käytettäessä myrkyttömiä. Niiden teho on paras yli pH 9,5:ssa. Kvatit auttavat biofilmin irrottamisessa ja estävät biofilmin kiinnittymistä. Ne eivät aiheuta korroosiota, maku- tai hajuhaittoja (Flemming, 1991; Troller, 1993; Skogman, 1997).

Eniten käytetty kvatti on bentsalkoniumkloridi, joka kuuluu monoalkyyli-dimetyyllibentsyyliammoniumryhmään. Muita tunnettuja ryhmiä ovat monoalkyyli-trimetyyli, dialkyyli-dimetyyli, heteroaromaattiset, polysubstituoidut bis- ja polymeroidut kvaternääriset ammoniumyhdisteet. Kvattien huonoja puolia ovat tehottomuus gram-negatiivisia bakteereja vastaan, suolojen muodostus kalsium- ja magnesium-ionien kanssa ja inaktivoituminen alhaisessa pH:ssa. Mikrobit voivat myös kehittyä kvateille resintenteiksi (Flemming, 1991; Troller, 1993; Skogman, 1997).

Kvattien tehoa listeriaan pidetään hyvänä (Marriott, 1994), mutta niiden tehoon voi vaikuttaa esim. käyttöliuoksen lämpötila (Tuncan, 1993) tai käytetyn veden laatu (Marriott, 1994). Marriottin (1999) mukaan erityisesti sanitointiaineet, jotka sisältävät sekä happoa että kvaternäärisiä ammoniumyhdisteitä, tehoavat hyvin listeriaan.

#### **7.4.7 Otsoni**

Otsoni on kaasu alhaisissa lämpötiloissa. Se on voimakas mikrobisidi ja osittain veteen liukeneva. Otsonin liukenevuus veteen lisääntyy veden lämpötilan laskiessa. Otsonilla on ainutlaatuinen kyky hajota itsestään erilaisiksi vapaiksi radikaaleiksi, joista merkittävin on hydroksyyli-ioni (OH<sup>-</sup>) (Graham, 1997). Liuoksen pH:n noustessa liunneen otsonin pitoisuus kasvaa ja molekulaarisen otsonin (O<sub>3</sub>) hajoaminen lisää vapaiden radikaalien tuottoa. Kuitenkin jos pH nousee 10:een, otsoni hajoaa välittömästi. Otsoni on luokiteltu turvalliseksi (GRAS = generally recognised as safe) desinfiointiaineeksi Yhdysvalloissa (Kim ym., 1999).

Otsonilla on monia hyviä puolia. Se hajottaa biofilmejä eikä aiheuta jäämiä pinoille (hajoaa hapeksi) ja sen desinfiointiteho on vastaava kuin kloorilla. Otsonin heikkouksia ovat mm. lyhyt puoliintumisaika, herkkyys veden komponenteille ja reagointi orgaanisen lian kanssa, jolloin muodostuu korrodoivia epoksiedeja (Flemming, 1991; Troller, 1993). Lisäksi ylimääräinen otsoni voi aiheuttaa tuotteiden hapettumista esim. värimuutoksia (Kim ym., 1999). Otsonia voidaan käyttää elintarviketeollisuudessa tuotteiden kuten liha-, kana-, muna-, kala-, hedelmä ja vihannestuotteiden pintojen puhdistukseen (Kim ym., 1999).

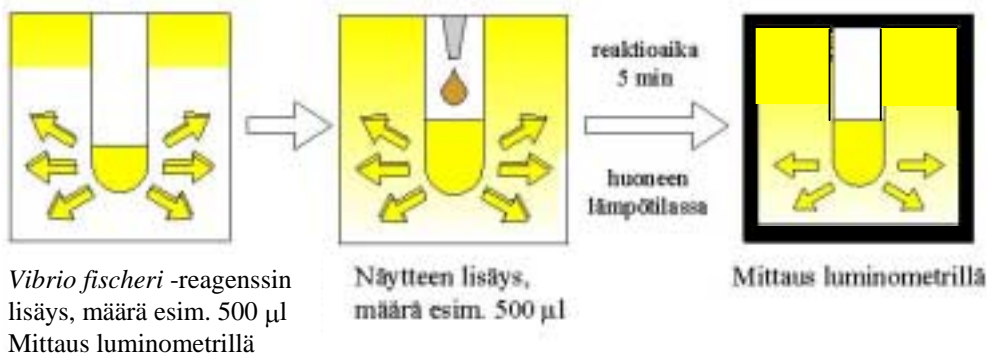
Restaino ym. (1995) tutkivat otsonoidun veden vaikutusta puhtaissa ja liatuissa olosuhteissa neljään gramnegatiiviseen ja neljään grampositiiviseen bakteeriin, likana käytettiin liukoinen tärkkelys tai naudan albumiini. Testibakteerina mukana oli myös *L. monocytogenes*. Grampositiiviset bakteerit olivat yleensä resistentimpiä kuin gramnegatiiviset bakteerit, mutta *L. monocytogenes* oli poikkeus. Otsoni alensi  $>5$  log yksikköä *L. monocytogenes* -bakteerien määrää puhtaissa suspensioissa. Orgaanisen lian laadulla oli merkitystä otsonin tehoon *L. monocytogenes* -bakteereihin: naudanalbumiini alensi tehoa ja tärkkelys ei vaikuttanut tehoon.

#### 7.4.8 Pesukemikaalien jäämämääritys prosessipinnoilta

Huuhtelun jälkeen prosessipinnoille mahdollisesti jääneet kemialliset jäämät ovat määritettävissä valobakteeritestillä, joka on kemiallisesti epäspesifinen testimenetelmä (Lappalainen, 2001). Menetelmä perustuu valobakteerin, *Vibrio fischeri* -kannan NRRL B-11177, bioluminesenssiin eli valontuottoon. Näillä bakteereilla on oman aineenvaihduntansa osana kyky tuottaa valoa (Lappalainen ym., 2000). Testissä bakteerit altistetaan näytteelle ja näytteen bioluminesenssia inhiboiva vaikutus tulkitaan toksisuudeksi. Käytettävä bakteerisuspensio valmistetaan lisäämällä juuri pakastimesta otettuun kylmäkuivattua *V. fischeri* -bakteeria sisältävään reagenssipulloon jääkaappilämpöistä (0–6 °C) 2% suolaliuosta. Tämän jälkeen bakteerisolot saavat virkistyä jääkaapissa vähintään 30 min ja korkeintaan 8 h (Lappalainen, 2001). Testissä yhtä suuret tilavuudet näytettä ja bakteerisuspensiota yhdistetään kyvetissä. Valobakteerien valontuotto mitataan luminometrillä 5 min vaikutusajan jälkeen (kuva 38).

Kunkin liuoksen valontuoton vähenemistä verrataan kontrolliliuoksena olevan puhtaan huuhteluveden, aiheuttamaan valontuoton vähentymiseen. Valobakteerimenetelmä soveltuu huuhteluveden ja prosessipinnoille jääneiden pesuaineiden

toteamiseen (Lappalainen, 2001). Otetut näytteet säilytetään kemiallisesti inerteissä astioissa ja ne on analysoitava mahdollisimman pian näytteenoton jälkeen. Haihtuvat yhdisteet ja yhdisteet, jotka reagoivat laimennusliuoksen tai bakteerisuspension kanssa, saattavat vaikuttaa tulokseen ja testin toistettavuuteen. Samoin orgaaniset aineet, jotka ovat helposti käytettävissä ravinteina, saattavat aiheuttaa valontuoton lisääntymistä (Lappalainen, 2001).



*Kuva 38. Valobakteeritestin periaate jäämätestauksessa: kyvetiin lisätään 0,5 ml virkistettyä Vibrio fischeri -bakteeriliuosta, valontuotto mitataan luminometrillä, jonka jälkeen lisätään näyte ja 5 min jälkeen mitataan valontuotto uudestaan. Valomäärän vähenemä osoittaa mahdolliset jäämät näytteessä. Vertailu tehdään käytössä olevaan puhtaaseen huuhteluveteen.*

# Lähdeluettelo

Aarnisalo, K., Salo, S., Miettinen, H., Suihko, M.-L., Wirtanen, G., Autio, T., Lundén, J., Korkeala, H. & Sjöberg, A.-M. 2000. Bactericidal efficiencies of commercial disinfectants against *Listeria monocytogenes* on surfaces. *J. Food Safety*, Vol. 20, s. 237–250.

Aase, B., Sundheim, G., Langsrud, S. & Rorvik, L. M. 2000. Occurrence of and a possible mechanism for resistance to a quaternary ammonium compound in *Listeria monocytogenes*. *Int. J. Food Microbiol.*, Vol. 62, s. 57–63.

Abshire, R. 1988. Ultraviolet radiation: A method of sterilization in the pharmaceutical industry. *Ozone Sci. Eng.*, Vol. 10, s. 25–28.

Aguado, V., Vitas, A. I. & Carcia-Jalon, I. 2001. Random amplified polymorphic DNA typing applied to the study of cross-contamination by *Listeria monocytogenes* in processed food products. *J. Food Prot.*, Vol. 64, s. 716–720.

Ahmad, M., Pitt Ford, T. R. & Crum L. A. 1987. Ultrasonic debridement of root canals. Acoustic streaming and its possible role. *J. Endodont.*, Vol. 13, s. 490–499.

Alliger, H. 1975. Ultrasonic disruption. *Am. Lab.*, Vol. 10, s. 75–85.

Allison, D. G., McBain, A. J. & Gilbert, P. 2000. Biofilms: problems of control. Teoksessa: Allison, D. G., Gilbert, P., Lappin-Scott, H. M. & Wilson, M. (toim.). Community structure and co-operation in biofilms. Cambridge: Cambridge University Press. S. 309–328. ISBN 0-521-79302-5.

Anon. 1980. Official method of analysis. Washington D.C: Association of Official Analytical Chemists. 23 s.

Anon. 1987. Anti-bacterial lubricant is good insurance for salad manufacturer. *Food Eng.*, Vol. 59, s. 11:122.

Anon. 1994. Mozzarella cheese protected by ultraviolet disinfection. *Food Ind.*, Vol. 7, s. 19–21.

Anon. 1999. Basics of ultrasonic cleaning technology. Lahti: Finnsonic Oy. S. 1–11.

- Anon. 2002a. <http://www.3-a.org/>. 3.9.2002.
- Anon. 2002b. <http://www.blackstone-ney.com/>. 13.9.2002.
- Anon. 2002c. <http://www.ehedg.org/>. 22.8.2002.
- Anon. 2002d. <http://www.fil-idf.org/>. 3.9.2002.
- Anon. 2002e. <http://www.finnsonic.fi/>. 13.9.2002.
- Anon. 2002f. <http://www.gov.mb.ca/agriculture/livestock/pork/bab01s14.html>. 13.9.2002.
- Anon. 2002g. <http://www.iceinstitute.com/online/CS22.html>. 13.9.2002.
- Anon. 2002h. <http://www.nsf.org/>. 3.9.2002.
- Anon.2002i. [http://www.ph.ucla.edu/epi/bioter/anthapha\\_def\\_a.html](http://www.ph.ucla.edu/epi/bioter/anthapha_def_a.html). 13.9.2002.
- Anon. 2002j. <http://www.r3nordic.se/>. 13.9.2002.
- Anon. 2002k. <http://www.unc.edu/depts/spice/rep-ii-5.html>. 13.9.2002.
- Arbocus, G. 1983. Food Processing industry. Teoksessa: CRC Handbook of lubrication. Booser, E. R. (toim.). Vol 1. Boca Raton: CRC Press Inc. S. 359–371. ISBN: 0-8493-3901-4.
- Arbocus, G. R. 1997. Food Industry Lubrication. Teoksessa: Tribology data handbook. New York: CRC Press LLC. S. 303–308. ISBN 0-8493-3904-9.
- Armour, E. P. & Corry, P. M. 1982. Cytotoxic effects of ultrasound *in vitro* dependence of gas content, frequency, radical scavengers, and attachment. Radiat. Res., Vol. 89, s. 369–380.
- Arnold, J.W. & Silvers, S. 2000. Comparison of poultry processing equipment surfaces for susceptibility to bacterial attachment and biofilm formation. Poultry Sci., Vol. 79, s. 1215–1221.
- Aulanko, M. 1998. Johdatus pesu- ja puhdistusaineisiin. Koti- ja laitostalousteknologian julkaisuja 1. Helsinki: Helsingin Yliopisto. S. 113.

- Autio, T., Hielm, S., Miettinen, M., Sjöberg, A.-M., Aarnisalo, K., Björkroth, J., Mattila-Sandholm, T. & Korkeala, H. 1999. Sources of *Listeria monocytogenes* contamination in a cold-smoked rainbow trout processing plant detected by pulsed-field gel electrophoresis typing. *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol. 65, s. 150–155.
- Autio, T., Säteri, T., Fredriksson-Ahomaa, M., Rahkio, M., Lundén, J. & Korkeala, H. 2000. *Listeria monocytogenes* contamination pattern in pig slaughterhouses. *J. Food Prot.*, Vol. 63, s. 1438–1442.
- Autio, T., Lundén, J., Fredriksson-Ahomaa, M., Björkroth, J., Sjöberg, A.-M. & Korkeala, H. 2002. Similar *Listeria monocytogenes* pulsotypes detected in several foods originating from different sources. *Int. J. Food. Microbiol.*, Vol. 77, s. 83–90.
- Bachmann, R. 1975. Sterilization by intense ultraviolet radiation. *Brown Boveri Rev.*, Vol. 5, s. 206–209.
- Baldry, M. G. C. & Fraser, J. A. L. 1988. Disinfection with peroxygens. Teoksessa: Payne, K. R. (toim.). *Industrial Biocides*. Chichester: John Wiley & Sons. S. 91–116. ISBN 0-471-91880-6.
- Barber, B. P., Hiller, R., Arisaka, K., Fetterman, H. & Putterman, S. 1992. Resolving the picosecond characteristic of synchronous sonoluminescence. *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 91, s. 3061–3063.
- Bartlett, C. L. R., Macrae, A. D. & Macfarlane, J. T. 1986. *Legionella Infections*. London: Edward Arnold Publishers Ltd. S. 90–149.
- Beresford, M. R., Andrew, P. W. & Shama, G. 2001. *Listeria monocytogenes* adheres to many materials found in food processing environments. *J. Appl. Microbiol.*, Vol. 90, s. 1000–1005.
- Berliner, S. 1984. Application of ultrasonic processors. *Int. Biotech. Lab.*, Vol. 2, s. 42–49.
- Best, M. 1995. The effectiveness of disinfectants against meat-borne pathogens. Teoksessa: Burt, S. (toim.). *Cleaning and disinfection technologies in the meat industry*. Utrecht: ECCEAMST. S. 39–48. ISBN 90-75319-01-0.

Best, M., Kennedy, M. E. & Coates, F. 1990. Efficacy of a variety of disinfectants against *Listeria* spp. Appl. Environ. Microbiol., Vol. 56, s. 377–380.

Beuchat, L. R. 1978. Injury and repair of Gram-negative bacteria, with special consideration of the involvement of the sytoplasmic membrane. Adv. Appl. Microbiol., Vol. 23, s. 219–243.

Bintsis, T., Lithopoulou-Tzanetaki, E. & Robinson, R. K. 2000. Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry-a critical review. J. Sci. Food Agric., Vol. 80, s. 637–645.

Birus, T. 1996. Total hygienic management – der Schlüssel zur Qualität. Deutsche Milchwirtschaft, Vol. 4, s. 181–186.

Björkroth, J. 1997. DNA-based characterisation methods for contamination analysis of spoilage lactic acid bacteria in food processing. Helsinki: Paintmedia. 49 s. ISBN 952-90-8473-0.

Blackman, I. C. & Frank, J. F. 1996. Growth of *Listeria monocytogenes* as a biofilm on various food-processing surfaces. J. Food Prot., Vol. 59, s. 827–831.

Blatchley, E. R., Dumoutier, N., Halaby, T. N., Levi, Y. & Laine, J. M. 2001. Bacterial responses to ultraviolet irradiation. Water Sci. Technol., Vol. 43, s. 179–186.

Block, J. C. 1992. Biofilms in drinking water distribution systems. Teoksessa: Melo, L. F., Bott, T. R., Fletcher, M. & Capdeville, B. (toim.). Biofilms – Science and Technology. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. S. 469–485. ISBN 0-7923-2022-0.

Block, S. S. 1991. Peroxygen compounds. Teoksessa: Block, S. S. (toim.). Disinfection, sterilization and preservation, 4. painos. Philadelphia: Lea & Febiger. S. 167–181.

Bloomfield, S. F., Arthur, M., Klingerren, B. van, Pullen, W., Holah, J. T. & Elton, R. 1994. An evaluation of the repeatability and reproducibility of a surface test for the activity of disinfectants. J. Appl. Bacteriol., Vol. 76, s. 86–94.

- Bloomfield, S. F., Arthur, M., Looney, E., Begun, K. & Patel, H. 1991. Comparative testing of disinfectants and antiseptic products using proposed European suspension testing methods. *Lett. Appl. Microbiol.*, Vol. 13, s. 230–237.
- Boucher, R. M. G. 1979. Ultrasonics: a tool to improve biocidal efficacy of sterilants or disinfectants in hospital and dental practise. A review. *Can. J. of Pharma Sci.*, Vol. 14, s. 1–12.
- Brackett, R. E. 1987. Antimicrobial effect of chlorine on *Listeria monocytogenes*. *J. Food Prot.*, Vol. 50, s. 999–1003.
- Bradshaw, J. G., Pecker, J. T., Corwin, J. J., Hunt, J. M. & Twedt, R. M. 1987. Thermal resistance of *Listeria monocytogenes* in dairy products. *J. Food Prot.*, Vol. 50, s. 543–544, 556.
- Braginskaya, F. I., Zaitzeva, E. A., Zorina, O. M., Poltorak, O. M., Chukrai, E. S. & Dunn, F. 1990. Low intensity ultrasonic effects on yeast hexokinase. *Radiat. Environ. Biophys.*, Vol. 29, s. 47–56.
- Bremer, P. J., Monk, I. & Osborne, C. M. 2001. Survival of *Listeria monocytogenes* attached to stainless steel surfaces in the presence or absence of *Flavobacterium* spp. *J. Food Prot.*, Vol. 64, s. 1369–1376.
- Brennan, G. J., Butters, J. R., Cowell, N. D. & Lilly, A. E. V. 1969. Cleaning of raw materials. *Teoksessa: Food Engineering Operations*. Great Yarmouth: Elsevier Publishing Company. S. 11–23.
- Bryers, J. D. 1990. Biofilms in biotechnology. *Teoksessa: Characklis, W. G. & Marshall, K. C. (toim.). Biofilms*. New York: John Wiley & Sons, Inc. S. 733–774.
- Bryers, J. 2000. Process engineering. *Teoksessa Bryers, J. (toim.). Biofilms II: Process analysis and applications*. New York: John Wiley-Liss Inc. S. 13–44. ISBN 0-471-29656-2.
- Bryers, J. & Fletcher, M. 2000. Biofilm formation and presistence. *Teoksessa Bryers, J. (toim.). Biofilms II: Process analysis and applications*. New York: John Wiley-Liss Inc. S. 45–88. ISBN 0-471-29656-2.



Buchanan, R. L. & Bagi, L. K. 1999. Microbial competition: effect of *Pseudomonas fluorescens* on the growth of *Listeria monocytogenes*. Food Microbiol., Vol. 16, s. 523–529.

Bunning, V. K., Crawford, R. G., Bradshaw, J. G., Peeler, J. T., Tierney, J. T. & Twedt, R. M. 1986. Thermal resistance of intracellular *Listeria monocytogenes* cells suspended in raw bovine milk. Appl. Environ. Microbiol., Vol. 52, s. 1398–1402.

Busscher, H. J. & van der Mei, H. C. 2000. Initial microbial adhesion events: mechanisms and implications. Teoksessa: Allison, D. G., Gilbert, P., Lappin-Scott, H. M. & Wilson, M. Community structure and co-operation in biofilms. Cambridge: Cambridge University Press. S. 25–36. ISBN 0-521-79302-5.

Butler, R. C., Lund, V. & Carlson, D. A. 1987. Susceptibility of *Campylobacter jejuni* and *Yersinia enterocolitica* to UV radiation. Appl. Environ. Microbiol., Vol. 53, s. 375–378.

Bylund, G. 1995. Dairy processing handbook. Lund: LP Grafiska AB. S. 403–413.

Caldwell, D. E., Korber, D. R. & Lawrence, J. R. 1992. Imaging of bacterial cells by fluorescence exclusion using scanning confocal laser microscopy. J. Microbiol. Meth., Vol. 15, s. 249–261.

Callister, W. D. 2000. Materials science and engineering: an introduction. New York: John Wiley. S. 500. ISBN 0-471-32013-7.

Casadei, M. A., Esteves de Matos, R., Harrison, S. T. & Gaze, J. E. 1998. Heat resistance of *Listeria monocytogenes* in dairy products as affected by the growth medium. J. Appl. Microbiol., Vol. 84, s. 234–239.

Chae, M. S. & Schraft, H. 2000. Comparative evaluation of adhesion and biofilm formation of different *Listeria monocytogenes* strains. Int J. Food. Microbiol., Vol. 62, s. 103–111.

Chang, J. C., Ossoff, S. F., Lobe, D. C., Dorfman, M. H., Dumais, C. M., Qualls, R. G. & Johnson, J. D. 1985. UV inactivation of pathogenic and indicator microorganisms. Appl. Environ. Microbiol., Vol. 49, s. 1361–1365.

Characklis, W. G. 1981. Fouling biofilm development: a process analysis. *Biotechnol. Bioeng.*, Vol. 23, s. 1923–1960.

Characklis, W. G. 1990. *Biofilm processes*. Teoksessa: Characklis, W. G. & Marshall, K. C. (toim.). *Biofilms*. New York: John Wiley & Sons, Inc. S. 195–231. ISBN 0-471-82663-4.

Characklis, W. G. & Cooksey, K. E. 1983. Biofilms and microbial fouling. *Adv. Appl. Microbiol.*, Vol. 29, s. 93–138.

Characklis, W. G. & Picologlou, B. F. 1978. Measurement of the formation and destruction of primary biofouling films. Teoksessa: Gray, R. H. (toim.). *Proceedings of the OTEC Biofouling and Corrosion Symposium*. October 10–12, 1977, Seattle, Washington. Springfield, Va: National Technical Information Service. S. 51–61.

Chisti, Y. & Moo-Young, M. 1994. Cleaning-in-place systems for industrial bioreactors: design, validation and operation. *J. Ind. Microbiol.*, Vol. 13, s. 201–207.

Ciccolini, L., Taillandier, P., Wilhem, A. M., Delmas, H. & Strehaiano, P. 1997. Low frequency thermo-ultrasonication of *Saccharomyces cerevisiae* suspensions: effect of temperature and of ultrasonics power. *Chem. Eng. J.*, Vol. 65, s. 145–149.

Clarke, P. R. & Hill, C. R. 1970. Physical and chemical aspects of ultrasonic disruption of cells. *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 47, s. 649–653.

Coakley, W. T. & Dunn, F. 1971. Degradation of high-intensity focused ultrasonics fields at 1 MHz. *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 50, s. 1539–1545.

Commeau, M. 1987. Cleanability. Teoksessa: *Hygienic design of dairy processing equipment*. Bulletin of the international dairy federation. Brysseli: IDF. No. 218, s. 17–18.

Contanto, E., Tempieri, M. L., Sartea, A., Rossetti, G., Barbieri, G. Mirolo, G. & Bucci, G. 1994. Isolation of *Listeria* from food sources. *L'Igiene Moderna*, Vol. 102, s. 13–21.

Cook, P. E. & Gaylarde, C. C. 1988. Biofilm formation in aqueous metal working fluids. *Int. Biodeterior.*, Vol. 24, s. 265–270.

Costerton, J. W. 1999. Introduction to biofilm. *Int. J. Antimicrob. Agents*, Vol. 11, s. 217–221.

Costerton, J. W., Cheng, K.-J., Geesey, G. G., Ladd, T. I., Nickel, J. C., Dasgupta, M. & Marrie, T. J. 1987. Bacterial biofilms in nature and disease. *Ann. Rev. Microbiol.*, Vol. 41, s. 435–464.

Costerton, J. W. & Lashen, E. S. 1983. The inherent biocide resistance of corrosion-causing biofilm bacteria. Proceedings of the NACE Annual Conference and Corrosion Show, Corrosion 83. Anaheim, California, April 18–22, 1983. Houston, Texas: NACE Publication Department, No. 246. 11 s.

Cotton, L. N. & White, C. H. 1992. *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica*, and *Salmonella* in dairy environments. *J. Dairy Sci.*, Vol. 75, s. 51–57.

Crum, L. A. & Eller, A. I. 1969. Motion of bubbles in a stationary sound field. *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 48, s. 181–189.

Curiel, G. J., Hauser, G., Peschel, P. & Timperley, D. A. 1993a. Hygienic design of closed equipment for the processing of liquid food. Chipping Campden: EHEDG Document 10. 15 s. + litt. 2 s.

Curiel, G. J., Hauser, G., Peschel, P. & Timperley, D. A. 1993b. Hygienic equipment design criteria. Chipping Campden: EHEDG Document 8. 12 s.

Curiel, G. J., Hauser, G. & Timperley, D. A. 1996. Hygienic design of equipment for open processing. Chipping Campden: EHEDG Document 13. 20 s. + litt. 4 s.

Daufin, G., Ecalard, J. P. & Kerherve L. 1987. Cleaning and disinfection. Teoksessa: Eck, A. (toim.). *Cheesemaking: Science and technology*. Paris: Lavoisier Publishing. S. 444–449.

Davies, R. 1959. Observations on the use of ultrasound waves for the disruption of microorganisms. *Biochem. Biophys. Acta*, Vol. 33, s. 481–493.

Dhaliwal, D. S., Cordier J. L. & Cox, L. J. 1992. Impedimetric evaluation of disinfectants against biofilms. *Lett. Appl. Microbiol.*, Vol. 15, s. 217–221.

Dillon, R. M. & Patel, T. R. 1992. *Listeria* in seafoods: A review. *J. Food Prot.*, Vol. 55, s. 1009–1015.

Dillon, R., Patel, T. & Ratnam, S. 1994. Occurrence of *Listeria* in hot and cold smoked seafood products. *Int. J. Food Microbiol.*, Vol. 22, s. 73–77.

Doyle, M. E., Mazzotta, A. S., Wang, T., Wiseman, D. W. & Scott, V. N. 2001. Heat resistance of *Listeria monocytogenes*. *J. Food Prot.*, Vol. 64, s. 410–429.

Duddridge, J. E., Kent, C. A., Miller, P. C., Laws, J. F., Pritchard, A. M. & Bott, T. R. 1983. Effects of flow on biofilm development. Proceedings of the Engineering Foundation Conference on Fouling of Heat Exchanger Surfaces. White Haven, Pennsylvania, Oct. 31 – Nov. 5, 1982. New York: United Engineering Trustees Inc. S. 717–726.

Dychdala, G. R. 1991. Chlorine and chlorine compounds. Teoksessa: Block, S. S. (toim.). Disinfection, sterilization and preservation, 4. painos. Philadelphia: Lea & Febiger. S. 131–151.

Earnshaw, A. M. & Lawrence, L. M. 1998. Sensitivity to commercial disinfectants, and the occurrence of plasmids within various *Listeria monocytogenes* genotypes isolated from poultry products and the poultry processing environment. *J. Appl. Microbiol.*, Vol. 84, s. 642–648.

EHEDG 1993. Welding stainless steel to meet hygienic requirements. *Trends Food Sci. Technol.*, Vol. 4, s. 306–310.

Eklund, M. W., Poysky, F. T., Paranjpye, R. N., Lashbrook, L. C., Peterson, M. E. & Pelroy, G. A. 1995. Incidence and sources of *Listeria monocytogenes* in cold-smoked fishery products and processing plants. *J. Food. Prot.*, Vol. 58, s. 502–508.

El-Kest, S. E. & Marth, E. H. 1988a. Inactivation of *Listeria monocytogenes* by chlorine. *J. Food Prot.*, Vol. 51, s. 520–524.

- El-Kest, S. E. & Marth, E. H. 1988b. Temperature, pH and strain of pathogen as factors affecting inactivation of *Listeria monocytogenes* by chlorine. J. Food Prot., Vol. 51, s. 622–625.
- Fain, A.R. Jr., Line, J. E., Moran, A. B., Martin, L. M., Lechowich, R. V., Carosella, J. M. & Brown, W. 1991. Lethality of heat to *Listeria monocytogenes* Scott A: D-value and Z-value determinations in ground beef and turkey. J. Food Prot., Vol. 54, s. 756–761.
- Farber, J. M. & Brown, B. E. 1990. Effect of prior heat shock on heat resistance of *Listeria monocytogenes* in meat. Appl. Environ. Microbiol., Vol. 56, s. 1584–1587.
- Farber, J. M. & Daley, E. 1994. Presence and growth of *Listeria monocytogenes* in naturally-contaminated meats. Int. J. Food Microbiol., Vol. 22, s. 33–42.
- Farber, J. M., Daley, E., Coates, F., Emmons, D. B. & McKellar, R. 1992. Factors influencing survival of *Listeria monocytogenes* in milk in a high-temperature short-time pasteurizer. J. Food Prot., Vol. 55, s. 946–951.
- Farber, J. M. & Pagotto, F. 1992. The effect of acid shock on the heat resistance of *Listeria monocytogenes*. Lett. Appl. Microbiol., Vol. 15, s. 197–201.
- Farber, J. M. & Peterkin, P. I. 1991. *Listeria monocytogenes*, a food-borne pathogen. Microbiol. Rev., Vol. 55, s. 476–511.
- Farber, J. M., Sanders, G. W., Dunfield, S. & Prescott, R. 1989a. The effect of various acidulants on the growth of *Listeria monocytogenes*. Lett. Appl. Microbiol., Vol. 9, s. 181–183.
- Farber, J. M., Sanders, G. W. & Johnston, M. A. 1989b. A survey of various foods for the presence of *Listeria* species. J. Food Prot., Vol. 52, s. 456–458.
- Fatemi, P. & Frank, J. F. 1999. Inactivation of *Listeria monocytogenes*/Pseudomonas biofilms by peracid sanitizers. J. Food Prot., Vol. 62, s. 761–765.
- Flemming, H.-C. 1991. Biofouling in water treatment. Teoksessa Flemming, H.-C. & Geesey, G. G. (toim.). Biofouling and biocorrosion in industrial water systems, Berlin–Heidelberg: Springer–Verlag. S. 47–80.

Flemming, H. C. & Griebe, T. 2000. Control of biofouling in industrial waters and processes. Teoksessa: Walker, J., Surman, S. & Jass, J. (toim.). Industrial biofouling – detection, prevention and control. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd. S. 125–141.

Fletcher, M. & Floodgate, G. D. 1973. An electron-microscopic demonstration of an acidic polysaccharide involved in the adhesion of a marine bacterium to solid surfaces. *J. Gen. Microbiol.*, Vol. 74, s. 325–334.

Flückiger, E. 1995. Alternative methods to avoid recontamination during aseptic filling and packaging. *Bull. IDF.*, Vol. 300, s. 52–56.

Fonnesbech Vogel, B., Huss, H. H., Ojeniyi, B., Ahrens, P. & Gram, L. 2001a. Elucidation of *Listeria monocytogenes* contamination routes in cold-smoked salmon processing plants detected by DNA-based typing methods. *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol. 67, s. 2586–2595.

Fonnesbech Vogel, B., Jørgensen, L. V., Ojeniyi, B., Huss, H. H. & Gram, L. 2001b. Diversity of *Listeria monocytogenes* isolates from cold-smoked salmon produced in different smokehouses as assessed by random amplified polymorphic DNA analyses. *Int. J. Food Microbiol.*, Vol. 65, s. 83–92.

Forsythe, S. J. & Hayes, P. R. 1998. Food hygiene, microbiology and HACCP. S. 232–275. ISBN 0-7514-0450-0.

Frank, J. F. & Koffi, R. A. 1990. Surface-adherent growth of *Listeria monocytogenes* is associated with increased resistance to surfactant sanitizers and heat. *J. Food Prot.*, Vol. 53, s. 550–554.

Fritsching, U. & Bauckhage, K. 1997. Ultrasonic field characteristics in resonant standing waves. *Ultrasonics*, Vol. 35, s. 151–156.

Fuchs, R. S. & Nicolaidis, L. 1994. Incidence of *Listeria* in hot- and cold-smoked fish. *Lett. Appl. Microbiol.*, Vol. 19, s. 394–396.

Gaitan, D. & Crum, L. A. 1990. Observation of sonoluminescence from a single cavitation bubble in a water/glycerine mixture. Teoksessa: Hamilton, M. F. & Blackstock, D. T. (toim.). *Frontiers of Nonlinear acoustics*. 12 ISNA. New York: Elsevier Applied Science. S. 459–463.

- Galperin-Lemaitre, H., Kirsch-Volders, M. & Levi, S. 1975. Fragmentation of purified mammalian DNA molecules by ultrasound below human therapeutic doses. *Humangenetik*, Vol. 29, s. 61–66.
- Gandhi, P. A., Sawant, A. D., Wilson, L. A. & Ahearn, D. G. 1993. Adaptation and growth of *Serratia marcescens* in contact lens disinfectant solutions containing chlorhexidine gluconate. *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol. 59, s. 183–188.
- Gao, F., Stewart, L. E., Joseph, S. W. & Carr, L. E. 1997. Effectiveness of ultraviolet irradiation in reducing the numbers of *Salmonella* on eggs and egg belt conveyor materials. *Appl. Eng. Agric.*, Vol. 13, s. 355–359.
- Garcia, M. L., Burgos, J., Sanz, B. & Ordoñez, J. 1989. Effect of heat and ultrasonic waves on the survival of two strains of *Bacillus subtilis*. *J. Appl. Bacteriol.*, Vol. 67, s. 619–628.
- Gaylarde, C. C. 1990. Advances in detection of microbiologically induced corrosion. *Int. Biodeterior.*, Vol. 26, s. 11–22.
- Geesey, G. G., Beech, I., Bremer, P. J., Webster, B. J. & Wells, D. B. 2000. Biocorrosion. Teoksessa Bryers, J. (toim.). *Biofilms II: Process analysis and applications*. New York: John Wiley–Liss Inc. S. 13–44. ISBN 0-471-29656-2.
- Geesey, G. G., Richardson, W. T., Yeomans, H. G., Irvin, R. T. & Costerton, J. W. 1977. Microscopic examination of natural sessile bacterial populations from an alpine stream. *Can. J. Microbiol.*, Vol. 23, s. 1733–1736.
- Gélinas, P. & Goulet, J. 1983. Neutralization of the activity of eight disinfectants by organic matter. *J Appl. Bacteriol.*, Vol. 54, s. 243–247.
- George, S. M., Lund, B. M. & Brocklehurst, T. F. 1988. The effect of pH and temperature on initiation of growth of *Listeria monocytogenes*. *Lett. Appl. Microbiol.*, Vol. 61, s. 531–56.
- Gibson, P. 1989. Hygiene standards and ultraviolet disinfection technology. *European Food and Drink Rev.*, Summer, s. 12–16.

- Gilbert, R. J. 1991. Occurrence of *Listeria monocytogenes* in foods in the United Kingdom. Proceedings International Conference on *Listeria* and Food Safety, Laval, Ranska. S. 82–88.
- Goodman, P. D. 1987. Effect of chlorination on materials for sea water cooling-systems: a review of chemical reactions. Br. Corr. J., Vol. 22:1, s. 56–62.
- Gouesbet, G., Jan, G. & Boyaval, P. 2002. Two-dimensional electrophoresis study of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* thermotolerance. Appl. Environ. Microbiol., Vol. 68, s. 1055–1063.
- Gould, G. W. 1970. Germination and the problem of dormancy. J. Appl. Bacteriol., Vol. 31, s. 357–366.
- Graham, D. M. 1997. Use of ozone for food processing, Food Technol. Vol. 51, s. 72–75.
- Granum, P. E. & Magnussen, J. 1987. The effect of pH on hypochlorite as disinfectant, Int. J. Food Microbiol., Vol. 4, s. 183–138.
- Grasshoff, A. 1992. Hygiene design – the basis for computer controlled automation. Trans. I. Chem. E, Vol. 70, s. 69–77.
- Gravani, R. 1999. Incidence and control of *Listeria* in food-processing facilities. Teoksessa: Ryser, E. T. & Marth, E. H. (toim.). *Listeria*, listeriosis, and food safety. 2nd ed. New York: Marcel Dekker. S. 657–710. ISBN 0-8247-0235-2.
- Griffiths, M. W. 1992. *Bacillus cereus* in liquid milk and other milk products. Int. Dairy Fed. Bull., No. 275, s. 36–39.
- Grönholm, L., Wirtanen, G., Ahlgren, K., Nordström, K. & Sjöberg, A.-M. 1999. Screening of antimicrobial activities of disinfectants and cleaning agents against foodborne spoilage microbes. Z. Lebensm. Unters. Forsch. A, Vol. 208, s. 289–298.
- Guyer, S. & Jemmi, T. 1991. Behavior of *Listeria monocytogenes* during fabrication and storage of experimentally contaminated smoked salmon. Appl. Environ. Microbiol., Vol. 57, s. 1523–1527.



Gürakan, G. C. & Bozoglu, T. F. 2000. Designing for hygienic operation. Teoksessa: Robinson, R. K., Batt, C. A. & Patel, P. D. (toim.). Encyclopedia of food microbiology. San Diego, Ca: Academic Press. S. 1790–1794. ISBN 0-12-227073-8

Hadfield, W. A. 1957. Chlorine and chlorine compounds. Teoksessa: Reddish, G. F. (toim.). Antiseptics, disinfectants, fungicides and chemical and physical sterilization, 2. painos. Philadelphia: Lea & Febiger. S. 558–580.

Hamilton, W. A. 1991. Sulphate-reducing bacteria and their role in biocorrosion. Teoksessa: Flemming, H.-C. ja Geesey, G. G. (toim.). Biofouling and biocorrosion in industrial water systems. Berlin–Heidelberg: Springer–Verlag. S. 187–193.

Hartemink, R. & Georgsson, F. 1991. Incidence of *Listeria* species in seafood and and seafood salads. Int. J. Food Microbiol., Vol. 12, s. 189–196.

Hatakka, M., Johansson, T., Rantala, L., Pakkala, P. & Honkanen-Buzalski, T. 2001. Reduced *Listeria monocytogenes* occurrence in Finnish vacuum-packaged fish products. Proc. XIV Int. Symposium on Problems of Listeriosis, ISOPOL XIV. S. 140.

Hayes, P. R. 1992. Food microbiology and hygiene. 2nd ed. Essex: Elsevier Science Publishers. 516 s. ISBN 1-85166-873-X

Hedges, M., Lewis, M., Lunec, J. & Cramp, W. A. 1980. The effect of ultrasound at 1.5 MHz on *Escherichia coli*. Int. J. Radiat. Biol., Vol. 37, s. 103–108.

Heinzel, M. 1988. The phenomena of resistance to disinfectants and preservatives. Teoksessa: Payne, K. R. (toim.). Industrial Biocides. Chichester: John Wiley & Sons. S. 52–67. ISBN 0-471-91880-6.

Helke, D. M., Somers E. B. & Wong, A. C. L. 1993. Attachment of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella typhimurium* to stainless steel and Buna-N in the presence of milk and individual milk components. J. Food Prot., Vol. 56, s. 479–484.

Helmke, D. 2002. Missionstatement and mission objectives of the future 3-A Sanitary Standards, Inc. EHEDG ExCo-meeting 25<sup>th</sup> of September at Vevey, Switzerland. 2 s.

Henning, B., Lucklum, R., Kupfernagel, B. & Hauptmann, P. 1994. Ultrasonic sensor system for characterization

Henriksson, E. & Haikara, A. 1990. Panimoiden täyttöhallin desinfiointi. Mallas ja olut, s. 132–139.

Herald, P. J. & Zottola, E. A. 1988. Attachment of *Listeria monocytogenes* to stainless steel surfaces at various temperatures and pH values. J. Food Sci., Vol. 53, s. 1549–1552 & 1562.

Herbert, K. C. & Foster, S. J. 2001. Starvation survival in *Listeria monocytogenes*: characterization of the response and the role of known and novel components. Microbiology, Vol. 147, s. 2275–2284.

Hobbs, J. M. 1969. Practical aspects of cavitation. Ultrasonics, Vol. 3, s. 106–107.

Holah, J. T. 1992. Industrial monitoring: hygiene in food processing. Teoksessa: Melo, L. F., Bott, T. R., Fletcher, M. & Capdeville, B. (toim.). Biofilms-Science and Technology. Dordrecht: Kluwer. S. 645–659.

Holah, J. 2000. Food processing equipment design and cleanability. Flair-Flow Europe technical manual F-FE 377A/00. Teagasc: The National Food Centre. 47 s.

Holah, J. T., Taylor, J. H., Dawson, D. J. & Hall, K. E. 2002. Biocide use in the food industry and the disinfectant resistance of persistent strains of *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli*. J. Appl. Microbiol., Vol. 92 Suppl, s. 111S–120S.

Holm, S. 1980. Hygienic design of food plants and equipment. Teoksessa: Jowitt, R. (toim.). Hygienic design and operation of food plant. Lontoo: Horwood. S. 17–24. ISBN 0-85312-133-8

- Hsu, J. C. 1991. Effective control of *Listeria monocytogenes* in a dairy processing and packaging plant by isothiazolone microbicide. Dairy, Food Environ. Sanit., Vol. 11, s. 70–72.
- Hudson, J. A. & Mott, S. J. 1993. Growth of *Listeria monocytogenes*, *Aeromonas hydrophila* and *Yersinia enterocolitica* on cold-smoked salmon under refrigerator and mild temperature abuse. Food Microbiol., Vol. 10, s. 61–68.
- Hudson, J. A., Mott, S. J. & Penney, N. 1994. Growth of *Listeria monocytogenes*, *Aeromonas hydrophila*, and *Yersinia enterocolitica* on vacuum and saturated carbon dioxide controlled atmosphere-packaged sliced roast beef. J. Food Prot., Vol. 57, s. 204–208.
- Huillet, E., Larpin, S., Pardon, P. & Berche, P. 1999. Identification of a new locus in *Listeria monocytogenes* involved in cellobiose-dependent repression of *hly* expression. FEMS Microbiol. Lett., Vol. 174, s. 265–272.
- Hulland, E. D. 1980. Hygienic handling and the influence of raw material condition. Teoksessa: Jowitt, R. Hygienic design and operation of food plant. Lontoo: Horwood. S. 143–154. ISBN 0-85312-133-8.
- Härkönen P., Salo, S., Mattila-Sandholm, T., Wirtanen, G., Allison, D. G. & Gilbert, P. 1999. Development of a simple in-vitro test system for the disinfection of bacterial biofilms. Water Sci. Technol., Vol. 39, s. 219–225.
- Iernetti, G., Ciuti, P., Dezhkunov, N. V., Reali, M., Francescutto, A. & Johri, G. K. 1997. Enhancement of high-frequency acoustic cavitation effects by a low-frequency stimulation. Ultrasonics Sonochem., Vol. 4, s. 263–268.
- Iida, T., Kanzaki, M., Nakama, A., Kokubo, Y., Maruyama, T. & Kaneuchi, C. 1998. Detection of *Listeria monocytogenes* in humans, animals and foods., J. Vet. Med. Sci., Vol. 60, s. 1341–1343.
- Inoue, M., Church, C. C., Brayman, A., Miller, M. W. & Malcuit, M. S. 1989. Confirmation of the protective effect of cysteamine in *in vitro* ultrasound exposures. Ultrasonics, Vol. 27, s. 362–369.
- Jacobs, S. E & Thornley, M. J. 1954. The lethal action of ultrasonic waves on bacteria suspended in milk and other liquids. J. Appl. Bacteriol., Vol. 17, s. 38–56.

- Jacquet, C., Rocourt, J. & Reynaud, A. 1993. Study of *Listeria monocytogenes* contamination in a dairy plant and characterization of the strains isolated. Int. J. Food Microbiol., Vol. 20, s. 13–22.
- Jacquet, C. & Reynaud, A. 1994. Differences in the sensitivity to eight disinfectants of *Listeria monocytogenes* strains as related to their origin. Int. J. Food Microbiol., Vol. 22, s. 79–83.
- Jass, J. & Walker J. 2000. Biofilms and biofouling. Teoksessa: Walker, J., Surman, S. & Jass, J. (toim.). Industrial biofouling – detection, prevention and control. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd. S. 1–12.
- Jemmi, T. 1990. Stand der kenntnisse über Listerien bei fleisch und fishproducten. Mitt. Geb. Lebensmittelunters Hyg., Vol. 81, s. 144–157.
- Jemmi, T. & Keusch, A. 1992. Behaviour of *Listeria monocytogenes* during processing and storage of experimentally contaminated hot-smoked trout. Int. J. Food Microbiol., Vol. 15, s. 339–346.
- Jemmi, T. & Keusch, A. 1994. Occurence of *Listeria monocytogenes* in fresh-water fish farms and fish-smoking plants. Food Microbiol., Vol. 11, s. 309–316.
- Jennings, B. 2000. Food grade lubricants. Food Proc., Vol. 69, s. 4:31–32.
- Jeong, D. K. & Frank, J. F. 1994. Growth of *Listeria monocytogenes* at 10 °C in biofilms with microorganisms isolated from meat and dairy processing environments. J. Food Prot., Vol. 57, s. 575–586.
- Juneja, V. K., Foglia, T. A. & Marmer, B. S. 1998. Heat resistance and fatty acid composition of *Listeria monocytogenes*: effect of pH, acidulant, and growth temperature. J. Food Prot., Vol. 61, s. 683–687.
- Juneja, V. K. & Eblen, B. S. 1999. Predictive thermal inactivation model for *Listeria monocytogenes* with temperature, pH, NaCl, and sodium pyrophosphate as controlling factors. J. Food Prot., Vol. 62, s. 986–993.
- Junttila, J. R., Niemelä, S. I. & Hirn, J. 1988. Minimum growth temperatures of *Listeria monocytogenes* and non-haemolytic listeria. J. Appl. Bacteriol., Vol. 65, s. 321–327.

- Jørgensen, F., Hansen, T. B. & Knöchel, S. 1999. Heat shock-induced thermotolerance in *Listeria monocytogenes* 13-249 is dependent on growth phase, pH and lactic acid. *Food Microbiol.*, Vol. 16, s. 185–194.
- Jørgensen, L. & Huss, H. H. 1998. Prevalence and growth of *Listeria monocytogenes* in naturally contaminated seafood. *Int. J. Food Microbiol.*, Vol. 42, s. 127–131.
- Kamath, V., Prosperetti, A. & Egolfopoulos, F. N. 1993. A theoretical study of sonoluminescence. *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 94, s. 248–260.
- Karsa, D. R. & Stafford, A. E. 1989. BASC; A code of practice; the control of legionellae by the safe and effective operation of cooling systems. Surrey: British Association for Chemical Specialities. 37 s.
- Karsches, H. & Teufel, P. 1988. *Listeria monocytogenes* Vorkommen in Hackfleisch und Verhalten in frischer Zwiebelmettwurst. *Fleischwirtschaft*, Vol. 68, s. 1388–1392.
- Keto, R. & Rahkio, M. 1998. Kirjallisuuskatsaus listeriasta. Listerian esiintymien kalavalmisteissa. Leipäjuustojen mikrobiologinen laatu ja turvallisuus. Helsinki: Elintarvikevirasto. 23 s. (Elintarvikevirasto: Tutkimus 1998-sarja No. 5.)
- Kim, J.-G., Yousef, A. E. & Dave, S. 1999. Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of foods: A review. *J. Food Prot.* 62, s. 1071–1087.
- Kim, K. T., Murano, E. A. & Olson, D. G. 1994. Heating and storage conditions affect survival and recovery of *Listeria monocytogenes* in ground pork. *J. Food Sci.*, Vol. 59, s. 30–32, 59.
- Kinnunen, A., Ahvenainen, R. & Morkkila, M. 1998. Elintarvikkeiden uudet prosessointi- ja kypsennysmenetelmät. Teknologiakatsaus 63/98. Helsinki: Tekes. S. 16–19.
- Kivelä, T. 1996. Easier cheese mould cleaning by ultrasonics. *Scand. Dairy Inf.*, Vol. 1, s. 34–35.

- Knabel, S. J., Walker, H. W., Hartman, P. A. & Mendonca, A. F. 1990. Effects of growth temperature and strictly anaerobic recovery on the survival of *Listeria monocytogenes* during pasteurization. *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol. 56, s. 370–376.
- Kohler, N., Dubuis, R. & Graupner, M. 2000. Möglichkeiten der UV-Desinfektion: über die Wirkung und das Prinzip der ultravioletten Desinfektionstechnik, deren Umsetzung und deren Grenzen. *DMZ Lebensmittelindustrie und Milchwirtschaft*, Vol. 121, s. 438–442.
- Kondo, T., Gamson, J., Mitchell, J.B. & Riesz, P. 1988. Free radical formation and cell lysis induced by ultrasound in the presence of different rare gases. *Int. J. Radiat. Biol.*, Vol. 54, s. 955–962.
- Korkeala, H., Suortti, T. & Mäkelä, P. 1988. Ropy slime formation in vacuum-packed cooked meat products caused by homofermentative lactobacilli and a *Leuconostoc* species. *Int. J. Food Microbiol.*, Vol. 7, s. 339–347.
- Kornfeld, M. & Suvorod, L. 1944. On the destructive action of cavitation. *J. Appl. Phys.*, Vol. 15, s. 495–506.
- Kroll, R. G. & Patchett, R. A. 1992. Induced acid tolerance in *Listeria monocytogenes*. *Lett. Appl. Microbiol.*, Vol. 14, s. 224–227.
- Kronlöf, J. 1994. Immobilized yeast in continuous fermentation of beer. Espoo: VTT Publications 167. 96 s. + liitt. 47 s. ISBN 951-38-4405-6.
- Krysinski, E. P., Brown L. J. & Marchisello T. J. 1992. Effect of cleaners and sanitizers on *Listeria monocytogenes* attached to product contact surfaces. *J. Food Prot.*, Vol. 55, s. 246–251.
- Kumar, C. G. & Anand, S. K. 1998. Significance of microbial biofilms in food industry: a review. *Int. J. Food Microbiol.*, Vol. 42, s. 9–27.
- Kylä-Siurola, A.-L. 1985. Käytössä olevat pesu- ja desinfektioaineet. Teoksessa: Pesu ja desinfektiojatkokoulutuspäivä 15.1.1985. Helsinki: Helsingin yliopisto. S. 30–44.

Köhler, C. R. 2001. Food-grade lubricants for the food processing industry. *New Food*, Vol. 4, s. 2:49–54.

Lado, B. H. & Yousef, A. E. 2002. Alternative food-preservation technologies: efficacy and mechanisms. *Microbes Infect.*, Vol. 4, s. 433–440.

Lamot, J.E. 1989. Role of biocides in controlling microbial corrosion. Proceedings of the Microbial Corrosion Conference. Sintra, Portugal, March 7–9, 1988. Essex: Elsevier Applied Science. S. 224–234.

Landré, R. 1987. Materials and surfaces. Cleanibility. Teoksessa: Hygienic design of dairy processing equipment. Bulletin of the international dairy federation. Brussels: IDF. No. 218, s. 2–6.

Lappalainen, J. 2001. Improved use and new applications of luminescent bacteria. Turku: Gilloy Oy. Turun yliopiston julkaisuja, Sarja A I, Osa 264. 54 s. + liitt. 44 s. ISBN 951-29-1880-3.

Lappalainen, J., Loikkanen, S., Havana, M., Karp, M., 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. *J. Food Prot.*, Vol. 63, s. 210–215.

Larson, E. L. & Morton, H. E. 1991. Alcohols. Teoksessa: Block, S. S. (toim.). Disinfection, sterilization and preservation, 4. painos. Philadelphia: Lea & Febiger. S. 204–224.

Lawrence L. M. & Gilmour, A. 1994. Incidence of *Listeria* spp. and *Listeria monocytogenes* in a poultry processing environment and in poultry products and their rapid confirmation by multiplex PCR. *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol. 60, s. 4600–4604.

LeChevallier, M. W., Hassenauer, T. S., Camper, A. L. & McFeters, G. A. 1984. Disinfection of bacteria attached to granular activated carbon. *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol. 48, s. 918–923.

LeChevallier, M. W., Babcock, T. M. & Lee, R. G. 1987. Examination and characterization of distribution system biofilms. *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol. 53, s. 2714–2724.

LeChevallier, M. W., Cawthon, C. D. & Lee, R. G. 1988. Inactivation of biofilm bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol. 54, s. 2492–2499.

Lee, S.-H. & Frank, J. F. 1991a. Effect of growth temperature and media on inactivation of *Listeria monocytogenes* by chlorine. *J. Food Safety*, Vol. 11, s. 65–71.

Lee S.-H. & Frank, J. F. 1991b. Inactivation of surface-adherent *Listeria monocytogenes*. Hypochlorite and heat. *J. Food Prot.*, Vol. 54, s. 4–6.

Leighton, T. G. 1998. The principles of cavitation. Teoksessa: Povey, M. J. W. & Mason, T. J. (toim.). *Ultrasound in Food Processing*. London: Blackie Academic and Professional. S. 151–180.

Lelieveld, H. L. M. 1994. HACCP and hygienic design. *Food Control*, Vol. 5, s. 140–144.

Lelieveld, H. 2002a. Hygienic design of food factories. Teoksessa: Matuszek, T. (toim.). *Food, packaging, equipment and building surfaces in their contribution to food products contamination and process safety*. Gdansk: Gdansk University of Technology Publishing Office. S. 45–48. ISBN 83-88579-40-1.

Lelieveld, H. 2002b. Managing hygiene. Teoksessa: Matuszek, T. (toim.). *Food, packaging, equipment and building surfaces in their contribution to food products contamination and process safety*. Gdansk: Gdansk University of Technology Publishing Office. S. 11–26. ISBN 83-88579-40-1.

Lemaître, J. P., Echchannaoui, H., Michaut, G., Divies, C. & Rousset, A. 1998. Plasmid-mediated resistance to antimicrobial agents among listeriae. *J. Food Prot.*, Vol. 61, s. 1459–1464.

Lepoint, T., Voglet, N., Faille, L. & Mullie, F. 1994. Bubbles deformation and interface distortion as a source of sonochemical and sonoluminescent activity. Teoksessa: Blake, J. R. (toim.). *Bubble Dynamics and Interface Phenomena*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. S. 321–333.

Leriche, V. & Carpentier, B. 2000. Limitation of adhesion and growth of *Listeria monocytogenes* on stainless steel surfaces by *Staphylococcus sciuri* biofilms. *J. Appl. Microbiol.*, Vol. 88, s. 594–605.



- Levré, E., Valentini, P. & Caroli, G. 1993. *Listeria* spp. in meat products. L'Igiene Moderna, Vol. 100, s. 404–416.
- Lewin, R. 1984. Microbial adhesion is a sticky problem. Sci., Vol. 224, s. 375–377.
- Lindquist, S. 1986. The heat-shock response. Annu. Rev. Biochem., Vol. 55, s. 1151–1191.
- Longarevic, S., Tham, W. & Danielsson-Tham, M.-L. 1996. Prevalence of *Listeria monocytogenes* and other *Listeria* spp. in smoked and "gravad" fish. Acta Vet. Scand., Vol. 37, s. 13–18.
- Lorenzen, K. 2002. Integration of the EHEDG-building blocks into hygienic manufacturing. Teoksessa: Matuszek, T. (toim.). Food, packaging, equipment and building surfaces in their contribution to food products contamination and process safety. Gdansk: Gdansk University of Technology Publishing Office. S. 27–42. ISBN 83-88579-40-1.
- Lou, Y. & Yousef, A. E. 1996. Resistance of *Listeria monocytogenes* to heat after adaptation to environmental stresses. J. Food Prot., Vol. 59, s. 465–471.
- Lou, Y. & Yousef, A. E. 1997. Adaptation to sublethal environmental stresses protects *Listeria monocytogenes* against lethal preservation factors. Appl. Environ. Microbiol., Vol. 63, s. 1252–1255.
- Lou, Y. & Yousef, A. E. 1999. Characteristics of *Listeria monocytogenes* important to food processors. Teoksessa: Ryser, E. T. & Marth, E. H. (toim.). *Listeria*, listeriosis, and food safety. 2nd ed. New York: Marcel Dekker. S. 131–224. ISBN 0-8247-0235-2
- Low, J. C. & Donachie, W. 1997. A review of *Listeria monocytogenes* and listeriosis. Vet. J., Vol., 153, s. 9–29.
- Lundén, J., Miettinen, M., Autio, T. & Korkeala, H. 2000. Persistent *Listeria monocytogenes* strains show enhanced adherence to food contact surface after short contact times. J. Food Prot., Vol. 63, s. 1204–1207.
- Lundén, J. 2002. Suullinen tiedonanto. 31.7.2002. HY/ELTDK/Elintarvike- ja ympäristöhygienian laitos.

- Lundén, J., Autio, T. & Korkeala, H. 2002a. Transfer of persistent *Listeria monocytogenes* contamination between food processing plants associated with a dicing machine. *J. Food Prot.*, Vol. 65, s. 1129–1133.
- Lundén, J., Autio, T., Markkula, A., Hellström, S. & Korkeala, H. J. 2002b. Adaptive and cross-adaptive responses of persistent and non-persistent *Listeria monocytogenes* strains to disinfectants. *Int. J. Food Microbiol.* Painossa.
- Luotola, J. 1998. Suljettujen prosessien puhdistus. *Keh. Elint.*, Vol. 9, s. 13–15.
- Lyhs, U., Hatakka, M., Mäki-Petäys, N., Hyytiä, E. & Korkeala, H. 1998. Microbiological quality of Finnish vacuum-packaged fishery products at retail level. *Arch. Lebensmittelhyg.*, Vol. 49, s. 121–144.
- Lyytikäinen, O., Autio, T., Maijala, R., Ruutu, P., Honkanen-Buzalski, T., Miettinen, M., Hatakka, M., Mikkola, J., Anttila, V.-J., Johansson, T., Rantala, L., Aalto, T., Korkeala, H. & Siitonen, A. 2000. An outbreak of *Listeria monocytogenes* serotype 3a infections from butter in Finland. *J. Infect. Dis.*, Vol. 181, s. 1838–1841.
- Maa- ja metsätalousministeriö MMM. 1999. Lihavalmistehygienia 23/EEO/1999.
- MacGowan, A. P., Bowker, K., McLaughlin, J., Bennett, P. M. & Reeves, D. S. 1994. The occurrence and seasonal changes in the isolation of *Listeria* spp. in shop-bought food stuffs, human faeces, sewage and soil from urban sources. *Int. J. Food Microbiol.*, Vol. 21, s. 325–334.
- MacGregor, S. J., Rowan, N. J., McIlvaney, L., Anderson, J. G., Fouracre, R. A. & Farish, O. 1998. Light inactivation of food-related pathogenic bacteria using a pulsed power source. *Lett. Appl. Microbiol.*, Vol. 27, s. 67–70.
- Madigan, M. T., Martinko, J. M. & Parker, J. 1997. Microbial ecology, Teoksessa: *Biology of Microorganisms*. 8th ed. New Jersey: Prentice Hall, Inc. S. 71–73 & 533–538.
- Mafu, A. A., Roy, D., Goulet, J. & Magny, P. 1990a. Attachment of *Listeria monocytogenes* to stainless steel, glass, polypropylene, and rubber surfaces after short contact times. *J. Food Prot.*, Vol. 53, s. 742–746.

- Mafu, A. A., Roy, D., Goulet, J., Savoie, L. & Roy, R. 1990b. Efficiency of sanitizing agents for destroying *Listeria monocytogenes* on contaminated surfaces. *J. Dairy Sci.*, Vol. 73, s. 3428–3432.
- Margulis, M. A. 1985. Sonoluminescence and sonochemical reactions in cavitation fields: A review. *Ultrasonics*, Vol. 23, s. 157–169.
- Marriott, N. G. 1994. Principles of food sanitation. 4. painos. Gaithersburg, Maryland: Aspen Publishers, Inc. 363 s. ISBN 0-8342-1232-3.
- Marriott, N. G. 1999. Principles of food sanitation. Gaithersburg: Aspen Publ. Inc. S. 230. ISBN 0-8342-1232-3.
- Mason, T. J. 1998. Power ultrasound in food processing – the way forward. Teoksessa: Povey, M. J. W. & Mason, T. J. (toim.). *Ultrasound in Food Processing*. London: Blackie Academic and Professional. S. 151–180.
- Mathieson, I. & Bradley, R. H. 1996. Improved adhesion to polymers by UV/ozone surface oxidation. *Int. J. Adhes. Adhes.*, Vol. 16, s. 29–31.
- Mattila, T. & Frost, A. J. 1988. The growth of potential food poisoning organisms on chicken and pork muscle surfaces. *J. Appl. Bacteriol.*, Vol. 65, s. 455–461.
- Mattila-Sandholm, T. & Wirtanen, G. 1991. Mikrobinen muodostaman biofilmin esiintymisilmiöt teollisuudessa. Tekes-julkaisu 29/91. Helsinki: Tekes. 100 s. + 4 s. liitteitä.
- Maunuksela, J. 1995. Mikrobinen torjunta peretikkahapolla. *Kemia–Kemi* 22, s. 242–244.
- McClements, D. J. 1995. Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing. *Trends Food Sci. Technol.*, Vol. 6, s. 293–299.
- McDonnell, G. & Russell, A. D. 1999. Antiseptics and disinfectants: activity, action, and resistance. *Clin. Microbiol. Rev.*, Vol. 12, s. 147–179.
- McMahon, C. M. M., Byrne, C. M., Sheridan, J. J., McDowell, D. A., Blair, I. S. & Hegarty, T. 2000. The effect of culture growth phase on induction of the heat

shock response in *Yersinia enterocolitica* and *Listeria monocytogenes*. J. Appl. Microbiol., Vol. 89, s. 198–206.

Meer, R. R., Baker, J., Bodyfelt, F. W. & Griffiths, M. W. 1991. Psychrotrophic *Bacillus* species in fluid milk products: a review. J. Food Prot., Vol. 54, s. 969–979.

Mereghetti, L., Quentin, R., Marquet-Van Der Mee, N. & Audurier, A. 2000. Low sensitivity of *Listeria monocytogenes* to quaternary ammonium compounds. Appl. Environ. Microbiol., Vol. 66, s. 5083–5086.

Miettinen, M. K., Björkroth, K. J. & Korkeala, H. J. 1999. Characterization of *Listeria monocytogenes* from an ice cream plant by serotyping and pulsed-field gel electrophoresis. Int. J. Food Microbiol., Vol. 46, s. 187–199.

Miettinen, M. K., Palmu, L., Björkroth, K. J. & Korkeala, H. 2001. Prevalence of *Listeria monocytogenes* in broilers at the abattoir, processing plant, and retail level. J. Food Prot., Vol. 64, s. 994–999.

Miller, P. C. & Bott, T. R. 1982. Effects of biocide and nutrient availability on microbial contamination of surfaces in cooling-water systems. J. Chem. Technol. Biotechnol., Vol. 32, s. 538–546.

Miller, D. L. & Thomas, R. M. 1993a. A comparison of hemolytic and sonochemical activity of ultrasonic cavitation in a rotating tube. Ultrasound Med. Biol., Vol. 19, s. 83–90.

Miller, D. L. & Thomas, R. M. 1993b. Frequency dependence of cavitation activity in a rotating tube exposure system compared to the mechanical index. J. Acoust. Soc. Am., Vol. 93, s. 3475–3480.

Miller, D. L., Thomas, R. M. & Buschbom, R. L. 1995. Comet assay reveals DNA strand breaks induced by ultrasound cavitation *in vitro*. Ultrasound Med. Biol., Vol. 21, s. 841–848.

Mišik, V. & Riesz, P. 1999. EPR characterization of free radical intermediates formed during ultrasound exposure of cell culture media. Free Rad. Biol. Med., Vol. 26, s. 936–943.

- Morgan, R. 1989. UV "green" light disinfection. Dairy Ind. Int., Vol. 54, s. 33–35.
- Morton, G. 2000. Problems of biofilms in industrial waters and processes. Teoksessa: Walker, J., Surman, S. & Jass, J. (toim.). Industrial biofouling – detection, prevention and control. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd. S. 79–102.
- Mosteller, T. M. & Bishop, J. R. 1989. Bacterial attachment and sanitizer efficacy. J. Dairy Sci., Vol. 72 (suppl. 1), s. 111–112.
- Mosteller, T. M. & Bishop, J. R. 1993. Sanitizer efficacy against attached bacteria in a milk biofilm. J. Food Prot., Vol. 56, s. 34–41.
- Murga, R., Foster, T., Brown, E., Pruckler, J., Carr, J., Fields, B. & Donlan, R. 2000. Ecology of *Legionella pneumophila* and *Hartmannella veriformis* in potable water biofilms: a laboratory model. Teoksessa: ASM Conference on Biofilm 2000 (B2K). Washington DC: Am. Soc. Microbiol.. S. 74.
- Mustapha, A. & Liewen, M. B. 1989. Destruction of *Listeria monocytogenes* by sodium hypochlorite and quaternary ammonium sanitizers. J. Food Prot., Vol. 52, s. 306–311.
- Neppiras, E. A. 1980. Acoustic cavitation. Phys. Rep., Vol. 61, s. 159–251.
- Neppiras, E. A. 1984. Acoustic cavitation: an introduction. Ultrasonics, s. 25–28.
- Neppiras, E. A. & Noltingk, B. E. 1950. Cavitation produced by ultrasonics: theoretical conditions for the onset of cavitation. Proc. Phys. Soc. B, Vol. 63, s. 1032–1038.
- Nesbakken, T., Kapperud, G. & Caugant, D. A. 1996. Pathways of *Listeria monocytogenes* contamination in the meat processing industry. Int. J. Food Microbiol., Vol. 31, s.161–171.
- Nestor, G. J. & Cappeline, G. A. 1979. Water related problems of evaporative cooling systems and control methods. Ind. Water Eng., Vol. 16:3, s. 14–25.
- Netuschil, K. 1995/1996. Hygienic lubrication in the food processing and pharmaceutical industry. Food Tech. Europe. Dec 1995/Jan 1996, s. 82–90.

- Noltingk, B. E. & Neppiras, E. A. 1950. Cavitation produced by ultrasonics. Proc. Phys. Soc. B, Vol. 63, s. 674–685.
- Norwood, D. E. & Gilmour, A. 1999. Adherence of *Listeria monocytogenes* strains to stainless steel coupons. J. Appl. Microbiol., Vol. 86, s. 576–582.
- Norwood, D. E. & Gilmour, A. 2000. The growth and resistance to sodium hypochlorite of *Listeria monocytogenes* in a steady-state multispecies biofilm. J. Appl. Microbiol., Vol. 88, s. 512–520.
- Norwood, D. E. & Gilmour, A. 2001. The differential adherence capabilities of two *Listeria monocytogenes* strains in monoculture and multispecies biofilms as a function of temperature. Lett. Appl. Microbiol., Vol. 33, s. 320–324.
- O'Driscoll, B., Gahan, C. G. & Hill, C. 1996. Adaptive acid tolerance response in *Listeria monocytogenes*: isolation of an acid-tolerant mutant which demonstrates increased virulence. Appl. Environ. Microbiol., Vol. 62, s. 1693–1698.
- Oh, D.-H. & Marshall, D. L. 1995. Destruction of *Listeria monocytogenes* biofilms on stainless steel using monolaurin and heat. J. Food Prot., Vol. 57, s. 251–255.
- Ojajärvi, J. 1996. Desinfektioaineet ja niiden käyttö. Teoksessa: Vuorela, P. (toim.). Farmaseuttinen mikrobiologia, Helsinki: Suomen farmaseuttinen yhdistys ry. S. 239–260.
- Ortiz, C., Guiamet, P. S. & Videla, H. A. 1990. Relationship between biofilms and corrosion of steel by microbial contaminants of cutting-oil emulsions. Int. Biodeterior., Vol. 26, s. 315–326.
- Pagán, R., Mañas, P., Alvarez, I. & Condón, S. 1999. Resistance of *Listeria monocytogenes* to ultrasonic waves under pressure at sublethal (manosonication) and lethal (manothermosonication) temperatures. Food Microbiol., Vol. 16, s. 139–148.
- Patchett, R. A., Watson, N., Fernandez, P. S. & Kroll, R. G. 1996. The effect of temperature and growth rate on the susceptibility of *Listeria monocytogenes* to environmental stress conditions. Lett. Appl. Microbiol., Vol. 22, s. 121–124.

Pedersen, L. 1994. Reinigung von Mehrwegverpackungen aus Kunststoff. Fleischwirtschaft, Vol. 74, s. 25–30.

Pelczar, M. J. Jr., Chan, E. C. S. & Krieg, N. R. 1993. Microbiology-Concepts and applications. USA: McGraw-Hill, Inc. S. 221–240.

Phan-Thanh, L., Mahouin, F. & Alige, S. 2000. Acid responses of *Listeria monocytogenes*. Int. J. Food Microbiol., Vol. 55, s. 121–126.

Phelps, A. & Leighton, T. G. 1997. The subharmonic oscillations and combination frequency emissions from a resonant bubble. Acta Acustica, Vol. 83, s. 59–66.

Pickett, E. L. & Murano, E. A. 1996. Sensitivity of *Listeria monocytogenes* to sanitizers after exposure to a chemical shock. J. Food Prot., Vol. 59, s. 374–378.

Pini, P. N. & Gilbert, R. J. 1988. The occurrence in the U.K. of *Listeria* species in raw chickens and soft cheese. Int. J. Food Microbiol., Vol. 6, s. 317–326.

Plesset, M. S. & Prosperetti, A. 1977. Bubble dynamics and cavitation. Ann. Rev. Fluid Mech., Vol. 9, s. 145–185.

Povey, M. J. & Mason, T. J. 1998. Power ultrasound in food processing – the way forward. Teoksessa: Ultrasound in Food Processing. London: Blackie Academic Professional. S. 105–126.

Pritchard, T. J., Flanders, K. J. & Donnelly, C. W. 1995. Comparison of the incidence of *Listeria* on equipment versus environmental sites within dairy processing plants. Int. J. Food Microbiol., Vol. 26, s. 375–384.

Puckorius, P. R. 1978. Controlling corrosive microorganisms in cooling-water systems. Chem. Eng., Vol. 85:23, s. 171–172, 174.

Puleo, J. R., Favero, M. S. & Petersen N. J. 1967. Use of ultrasonic energy in assessing microbial contamination on surfaces. Appl. Microbiol., Vol. 15, s. 1345–1351.

Quartly-Watson, T. 1998. The importance of power ultrasound in cleaning and disinfection in the poultry industry – a case study. Teoksessa: Povey, M. J. W. &

Mason, T. J. (toim.). *Ultrasound in Food Processing*. London: Blackie Academic Professional. S. 144–150.

Quintavalla, S. & Campanini, M. 1991. Effect of rising temperature on the heat resistance of *Listeria monocytogenes* in meat emulsion. *Lett. Appl. Microbiol.*, Vol. 12, s. 184–187.

Qvist, S. & Liberski, D. 1991. *Listeria monocytogenes* in frankfurters and ready-to-eat sliced meat products. *Dan. Veterinaertidsskr.*, Vol. 74, s. 773–778.

Raaska, L. 2002. Hygienic aspects of packaging materials. Teoksessa: Matuszek, T. (toim.). *Food, packaging, equipment and building surfaces in their contribution to food products contamination and process safety*. Gdansk: Gdansk University of Technology Publishing Office. S. 43–44. ISBN 83-88579-40-1.

Rapoport, N., Smirnov, A. I., Pitt, W. G. & Timoshin, A. A. 1999. Bioreduction of tempone and spin-labeled gentamicin by Gram-negative bacteria: kinetics and effect of ultrasound. *Arch. Biochem. Biophys.*, Vol. 362, s. 233–241.

Raso, J., Pagán, R., Condón, S. & Sala, F. J. 1998a. Influence of temperature and pressure on lethality of ultrasound. *Am. Soc. Microbiol.*, Vol. 64, s. 465–471.

Raso, J., Palop, A., Pagán, R. & Condón, S. 1998b. Inactivation of *Bacillus subtilis* spores by combining ultrasonic waves under pressure and mild heat treatment. *J. Appl. Microbiol.*, Vol. 85, s. 849–854.

Rayleigh, L. 1917. On the pressure developed in a liquid during the collapse of a spherical cavity. *Phil. Mag.*, Vol. 34, s. 94–98.

Reagan, J. O., Smith, G. C. & Carpenter, Z. L. 1973. Use of ultraviolet light for extending the retail caselife of beef. *J. Food Sci.*, Vol. 38, s. 929–931.

Restaino, L., Frampton, E. W., Hemphill, J. B. & Palnikar, P. 1995. Efficacy of ozonated water against various food-related micro-organisms. *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol. 61, s. 3471–3475.

Reybrouck, G. 1986. Uniformierung der Prüfung von Desinfektionsmitteln in Europa. *Zbl. Bakt. Hyg. B*, Vol. 182, s. 485–498.



- Riesz, P. & Kondo, T. 1992. Free radical formation induced by ultrasound and its biological implications. *Free Rad. Biol. Med.*, Vol. 13, s. 247–270.
- Riley, R. L. & Nardell, E. A. 1989. Clearing the air. The theory and application of ultraviolet air disinfection. *Am. Rev. Resp. Dis.*, Vol. 139, s. 1286–1294.
- Ronner, A. B. & Wong, A. C. L. 1993. Biofilm development and sanitizer inactivation of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella typhimurium* on stainless steel and Buna-n rubber. *J. Food Prot.*, Vol. 56, s. 750–758.
- Rossmoore, K. 1988. The microbial activity of glutaraldehyde in chain conveyor lubricant formulations. Teoksessa: Houghton, D. R., Smith, R. N. & Eiggins, H. O. W. (toim.). *Biodeterioration 7*. Essex: Elsevier Science Publishers Ltd. S. 242–247.
- Rowan, N. J., MacGregor, S. J., Anderson, J. G., Fouracre, R. A., McIlvaney, L. & Farish, O. 1999. Pulsed-light inactivation of food-related microorganisms. *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol. 65, s. 1312–1315.
- Russel, S. M. 2000. Effect of a novel sanitizer on pathogenic, spoilage, and indicator populations of bacteria from chicken carcasses. *J. Appl. Poultry Res.*, Vol. 9, s. 393–402.
- Rørvik, L. M. & Yndestad, M. 1991. *Listeria monocytogenes* in foods in Norway. *Int. J. Food Microbiol.*, Vol. 13, s. 97–104.
- Rørvik, L. V., Yndestad, M. & Skjerve, E. 1991. Growth of *Listeria monocytogenes* in vacuum-packed, smoked salmon, during storage at 4°C. *Int. J. Food Microbiol.*, Vol. 14, s. 111–118.
- Rørvik, L. M., Caugant, D.A. & Yndestad, M. 1995. Contamination pattern of *Listeria monocytogenes* and other *Listeria* spp. in a salmon slaughterhouse and smoked salmon processing plant. *Int. J. Food Microbiol.*, Vol. 25, s. 19–27.
- Rørvik, L. M., Skjerve, E., Knudsen, B. J. & Yndestad, M. 1997. Risk factors for contamination of smoked salmon with *Listeria monocytogenes* during processing. *Int. J. Food Microbiol.*, Vol. 37, s. 215–219
- Rørvik, L. M. 2000. *Listeria monocytogenes* in the smoked salmon industry. *Int. J. Food Microbiol.*, Vol. 62, s. 183–190.

Sallam, S. S. & Donnelly, C. W. 1992. Destruction, injury, and repair of *Listeria* species exposed to sanitizing compounds. J. Food Prot., Vol. 55, s. 771–776.

Salvat, G., Toquin, M. T., Michel, Y. & Colin, P. 1995. Control of *Listeria monocytogenes* in the delicatessen industries: the lessons of a listeriosis outbreak in France. Int. J. Food Microbiol., Vol. 25, s. 75–81.

Samelis, J. & Metaxopolous, J. 1999. Incidence and principal sources of *Listeria* spp. and *Listeria monocytogenes* contamination in processed meats and meat processing plant. Food Microbiol., Vol. 16, s. 465–467.

Sasahara, K. C. & Zottola, E. A. 1993. Biofilm formation by *Listeria monocytogenes* utilizes a primary colonizing microorganism in flowing systems. J. Food Prot., Vol. 56, s. 1022–1028.

Scherba, G., Weigel, R. M. & O'Brien J. R. 1991. Quantitative assesment of the germicidal efficacy of ultrasonic energy. Appl. Environ. Microbiol., Vol. 57, s. 2079–2084.

Setlow, P. 2001. Resistance of spores of *Bacillus* species to ultraviolet light. Environ. Mol. Mutag., Vol. 38, s. 97–104.

Shama, G. 2002. Ultraviolet light. Teoksessa: Robinson, R. K., Batt, C. A. & Patel, P. D. (toim.). Encyclopedia of food microbiology. San Diego: Academic Press. S. 2208–2214. ISBN 0-12-227073-8

Shapton, D. A. & Shapton, N. F. 1998. Principles and practices for the safe processing of foods. Cambridge: Woodhead publishing. 457 s. ISBN 1-85573-362-5

Shearer, A. E., Paik, J. S., Hoover, D. G., Haynie, S. L. & Kelley, M. J. 2000. Potential of an antibacterial ultraviolet-irradiated nylon film. Biotechnol. Bioeng., Vol. 67, s. 141–146.

Shelley, A. 1990. The prevention of microbial contamination in air handling systems. Aust. Refrig. Air Cond. Heat., Vol. 44:3, s. 30–36.

Shin-Ho-Lee & Frank, J. F. 1991. Inactivation of surface-adherent *Listeria monocytogenes*, hypochlorite and heat. J. Food Prot., Vol. 54, s. 4–6.

Siegele, D. A. & Kolter, R. 1992. Life after log. *J. Bacteriol.*, Vol. 174, s. 345–348.

Sinde, E. & Carballo, J. 2000. Attachment of *Salmonella* spp. and *Listeria monocytogenes* to stainless steel, rubber and polytetrafluorethylene: the influence of free energy and the effect of commercial sanitizers. *Food Microbiol.*, Vol. 17, s. 439–447.

Sipiläinen-Malm, T. 2002. Elintarvikkeen kanssa kosketukseen joutuvat materiaalit – elintarvikekelpoisuutta koskevia ohjeita. <http://www.pakkaus.com/elohje.htm>. 22.2.2002.

Skogman, L. 1997. Rengörings- och desinfektionsmedels mikrobisida effekt samt deras tensidrester på ytor. Diplomityö. Helsinki: Teknillinen korkeakoulu. 114 s.

Skovgaard, N. & Morgen, C.-A. 1988. Detection of *Listeria* spp. in feces from animals, in feeds and in raw foods of animal origin. *Int. J. Food Microbiol.*, Vol. 6, s. 229–242.

Somers, E. B., Schoeni, J. L. & Wong, A. C. 1994. Effect of trisodium phosphate on biofilm and planktonic cells of *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli* O157: H7, *Listeria monocytogenes* and *Salmonella typhimurium*. *Int. J. Food Microbiol.*, Vol. 22, s. 269–276.

Sommer, P., Martin-Rouas, C. & Mettler, E. 1999. Influence of the adherent population level on biofilm population, structure and resistance to chlorination. *Food Microbiol.*, Vol. 16, s. 503–515.

Sommer, R., Lhotsky, M., Haider, T. & Cabaj, A. 2000. UV inactivation, liquid-holding recovery, and photoreactivation of *Escherichia coli* O157 and other pathogenic *Escherichia coli* strains in water. *J. Food Prot.*, Vol. 63, s. 1015–1020.

Sprenger, R. 1995. Hygienic design of meat processing equipment. Teoksessa: Burt, S. A. (toim.). *Cleaning and disinfection technologies in the meat industries*. Utrecht: Ecceamst. S. 1–9. ISBN 90-75319-01-0.

Stanier, Y., Ingraham, J. L., Wheelis, M. L. & Painter, P. R.. 1987. General microbiology. 5. painos. Hong Kong: Macmillian education ltd. 689 s. ISBN 0-333-41768-2.

Stermer, R. A., Lasater-Smith, M. & Brasington, C. F. 1987. Ultraviolet radiation- an effective bactericide for fresh meat. J. Food Prot., Vol. 50, s. 108–111.

Stewart, P. S., Grab, L. & Diemer, J. A. 1998. Analysis of bioside transport limitation in an artificial biofilm system. J. Appl. Microbiol., Vol. 85, s. 495–500.

Stewart, P. S., McFeters, G. A. & Huang, C.-T. 2000. Biofilm control by antimicrobial agents. Teoksessa: Bryers, J. (toim.). Biofilms II: Process analysis and applications, New York: John Wiley–Liss Inc. S. 373–405. ISBN 0-471-29656-2.

Storgårds, E. 2000. Process hygiene control in beer production and dispensing. Espoo: VTT Publications 410. 105 s. + liitt. 66 s. ISBN 951-38-5559-7

Suihko, M.-L., Salo, S., Niclasen, O., Gudbjörnsdóttir, B., Torkelsson, G., Bredholt, S., Sjöberg, A.-M. & Gustavsson, P. 2002. Characterization of *Listeria monocytogenes* isolates from the meat, poultry and seafood industries by automated ribotyping. Int. J. Food Microbiol., Vol. 72, s. 137–146.

Sumner, S. S., Sandros, T. M., Harmon, M. C., Scott, V. N. & Bernard, D. T. 1991. Heat resistance of *Salmonella typhimurium* and *Listeria monocytogenes* in sucrose solutions of various water activities. J. Food Sci., Vol. 56, s. 1741–1743.

Sumner, S. S., Wallner-Pendleton, E. A., Froning, G. W. & Stetson, L. V. 1996. Inhibition of *Salmonella typhimurium* on agar medium and poultry skin by ultraviolet energy. J. Food Prot., Vol. 59, s. 319–321.

Suslick, K. S., Hammerton, D. A. & Cline, R. E. Jr. 1986. The sonochemical hot-spot. J. Am. Chem. Soc., Vol. 108, s. 5641–5642.

Sutherland, P. & Porritt R. 1996. Dissemination and ecology of *Listeria monocytogenes* in Australian dairy factory environments. Food Aust., Vol. 48, s. 172–178.

Taormina, P. J. & Beuchat, L. R. 2001. Survival and heat resistance of *Listeria monocytogenes* after exposure to alkali and chlorine. *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol. 67, s. 2555–2563.

Taormina, P. J. & Beuchat, L. R. 2002. Survival of *Listeria monocytogenes* in commercial food-processing equipment cleaning solutions and subsequent sensitivity to sanitizers and heat. *J. Appl. Microbiol.*, Vol. 92, s. 71–80.

Tarvainen, K., Wirtanen, G. & Mattila-Sandholm, T. 1994. Preventing airborne microbial risks in rooms with special hygiene requirements. *Teoksessa: Healthy Buildings '94, Budapest, 22–25 August, 1994. Budapest: Technical University of Budapest. S. 217–222.*

Taylor, J. H., Rogers, S. J. & Holah, J. T. 1999. A comparison of the bactericidal efficacy of 18 disinfectants used in the food industry against *Escherichia coli* O157:H7 and *Pseudomonas aeruginosa* at 10 and 20 degrees C. *J. Appl. Microbiol.*, Vol. 87, s. 718–725.

Tiwari, N. P. & Aldenrath, S. G. 1990. Occurrence of *Listeria* species in food and environmental samples in Alberta. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.*, Vol. 22, s. 109–113.

Tompkin, R. B. 2002. Control of *Listeria monocytogenes* in the food-processing environment. *J. Food Prot.*, Vol. 65, s. 709–725.

Tompkin, R. B., Scott, V. N., Bernard, D. T., Sveum, W. H. & Gombas, K. S. 1999. Guidelines to prevent post-processing contamination from *Listeria monocytogenes*. *Dairy Food Environ. Sanit.*, Vol. 19, s. 551–562.

Troller, J. A. 1993. *Sanitation in food processing*, San Diego: Academic Press Inc. S. 30–70, 263–286.

Tuncan, E. U. 1993. Effect of cold temperature on germicidal efficacy of quaternary ammonium compound, iodofor and chlorine on *Listeria*. *J. Food Prot.*, Vol. 56, s. 1029–1033.

Unnerstad, H., Bannerman, E., Bille, J., Danielsson-Tham, M. L., Waak, E. & Tham, W. 1996. Prolonged contamination of a dairy with *Listeria monocytogenes*. *Neth. Milk Dairy J.*, Vol. 50, s. 493–499.

van de Weyer, A., Devleeschouwer M.-J. & Don, J. 1993. Bactericidal activity of disinfectants on *Listeria*. J. Appl. Bacteriol., Vol. 74, s. 480–483.

van der Waa, P. K. 1995. Lubrication of food processing machinery. Teoksessa: Food Technology International Europe. Lontoo: Sterling Publications Ltd. S. 140–144.

van der Wende, E., Characklis, W. G. & Smith, D. B. 1989. Biofilms and bacterial drinking water quality. Water Res., Vol. 23, s. 1313–1322.

van Doorn, W. G., de Stigter, H. C. M., de Witte, Y. & Boekestein, A. 1991. Microorganisms at the cut surface and in xylem vessels of rose stems: a scanning electron microscope study. J. Appl. Bacteriol., Vol. 70, s. 34–39.

van Schaick, W., Gahan, C. G. M. & Hill, C. 2002. Acid-adapted *Listeria monocytogenes* displays enhanced tolerance against the lantibiotics nisin and lactisin 3147. J. Food Prot., Vol. 62, s. 536–539.

Varjonen, O. A., Hakkarainen, T.J. & Marmo, S. A. 1991. Observations on biofilms and corrosion resistance of stainless steels in paper machine environments. Teoksessa: The NACE Annual Conference and Corrosion Show: Corrosion 91 in Cincinnati, 11–15 March, 1991. Huston: NACE Publ. Dept. No. 190. 19 s.

Vasseur, C., Baverel, L., Hebraud, M. & Labadie, J. 1999. Effect of osmotic, alkaline, acid or thermal stresses on the growth and inhibition of *Listeria monocytogenes*. J. Appl. Microbiol., Vol. 86, s. 469–476.

Verran, J. & Jones, M. 2000. Problems of biofilms in the food and beverage industry. Teoksessa: Walker, J., Surman, S. & Jass, J. (toim.). Industrial biofouling – detection, prevention and control. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd. S. 145–174.

Vyas, B. & Preece, C. M. 1976. Stress produced in a solid by cavitation. J. Appl. Phys., Vol. 47, s. 5133–5138.

Wainess, H. 1987. Recommendations for the hygienic design of storage tanks for milk & milk products. Teoksessa: Hygienic design of dairy processing equipment. Bull. Int. dairy Fed., No. 218, s. 7–13.

- Wainess, H. & Hopkin, E. 2000. Recommendations for the Hygienic Design of Storage Tanks for Milk & Milk Products. Teoksessa: Bulletin of the international dairy federation. Brussels: IDF. No. 358. S. 49–53.
- Walker, S. J., Archer, P. & Banks, J. G. 1990. Growth of *Listeria monocytogenes* at refrigeration temperatures. J. Appl. Bacteriol., Vol. 68, 157–162.
- Wallner-Pendleton, E. A., Sumner, S. S., Froning, G. W. & Stetson, L. E. 1994. The use of ultraviolet radiation to reduce *Salmonella* and psychrotrophic bacterial contamination on poultry carcasses. Poultry Sci., Vol. 73, s. 1327–1333.
- Walton, A. J. & Reynolds, G. T. 1984. Sonoluminescence. Adv. Physics., Vol. 33, s. 595–660.
- Wang, C., & Muriana, P. M. 1994. Incidence of *Listeria monocytogenes* in packages of retail franks. J. Food Prot., Vol. 57, s. 382–386.
- Wase, D. A. J. & Patel, Y. R. 1985. Effect of cell volume on disintegration by ultrasonics. J. Chem. Tech. Biotechnol. B, Vol. 35B, s. 165–173.
- Watson, K. 1990. Microbial stress proteins. Adv. Microb. Physiol., Vol. 31, s. 183–223.
- Williams, J. F. & Worley, S. D. 2000. Types of biocides. Teoksessa: Robinson, R. K., Batt, C. A. & Patel, P. D. (toim.). Encyclopedia of food microbiology. San Diego: Academic Press. S. 1794–1801. ISBN 0-12-227073-8.
- Williams, S. 1984. Disinfectants. Teoksessa: Williams, S. (toim.). Official methods of analysis of the Association of official analytical chemists. 14th ed. Arlington, VA: AOAC. S. 70. ISBN 0-935584-24-2.
- Wirtanen, G. 1995. Biofilm formation and its elimination from food processing equipment. Espoo: VTT Publications 251. 106 s. + liitt. 48 s. ISBN 951-38-4789-6.
- Wirtanen, G. & Mattila-Sandholm, T. 1992. Effect of the growth phase of foodborne biofilms on their resistance to a chlorine sanitizer. Part II. Lebensm. Wiss. Tech., Vol. 25, s. 50–54.

Wirtanen, G. & Mattila-Sandholm, T. 1993. Epifluorescence image analysis and cultivation of foodborne biofilm bacteria grown on stainless steel surface. *J. Food Prot.*, Vol. 56, s. 678–683.

Wirtanen, G., Saarela, M. & Mattila-Sandholm, T. 2000. Biofilms – Impact on hygiene in food industries. Teoksessa: Bryers, J. (toim.). *Biofilms II: Process analysis and applications*. New York: John Wiley–Liss Inc. S. 327–372. ISBN 0-471-29656-2.

Wirtanen, G., Salo, S. & Mattila-Sandholm, T. 1994. Surface contamination of *Listeria monocytogenes* on food contact surfaces causing problems in detection methods. Teoksessa: 12th International Symposium on Contamination Control. Yokohama: ICCCS. S. 651–656.

Wirtanen, G., Salo, S. & Gilbert, P. 2003. Efficacy testing of disinfectants using microbes grown in biofilm-constructs. Teoksessa: Click, A. (toim.). *Biofilms in medicine, industry and environmental biotechnology*. Lontoo: IWA Publishing. 6 s. Painossa.

Wirtanen, G., Salo, S., Allison, D. G., Mattila-Sandholm, T. & Gilbert, P. 1998. Performance-evaluation of disinfectant formulations using poloxamer-hydrogel biofilm-constructs. *J. Appl. Microbiol.*, Vol. 85, s. 965–971.

Wirtanen, G., Salo, S., Heino, A., Hattula, T. & Mattila-Sandholm, T. 2002a. Comparison of ultrasound based cleaning programs for cheesery utensils. Teoksessa: *Fouling, Cleaning and Disinfection in Food Processing*, Wilson, D. I., Fryer, P. J. & Hastings, A. P. M. (toim.). Cambridge: City Services Design and Print. S. 165–171. ISBN 0 9542483 0 9.

Wirtanen, G., Salo, S. & Storgårds, E. 2002b. Microbial assessment methods used in cleaning efficacy evaluation. Teoksessa: Matuszek, T. (toim.). *Food, packaging, equipment and building surfaces in their contribution to food products contamination and process safety*. Gdansk: Gdansk University of Technology Publishing Office. S. 49–57. ISBN 83-88579-40-1.

Wirtanen, G., Salo, S., Maukonen, J., Bredholt, S. & Mattila-Sandholm, T. 1997. *NordFood – Sanitation in dairies*. Espoo: VTT Publications 309. 47 s. + liitt. 22 s. ISBN 951-38-5055-2.



Yano, K. 2001. Food grade lubricants. *New Food*, Vol. 4, s. 3:59–62.

Yousef, A. E. & Marth, E. H. 1988. Inactivation of *Listeria monocytogenes* by ultraviolet energy. *J. Food Sci.*, Vol. 53, s. 571–573.

Yu, L. S. L., Prasai, R. K. & Fung, D. Y. C. 1995. Most propable number of *Listeria* species in raw meats detected by selective motility enrichment. *J. Food Prot.*, Vol. 58, s. 943–945.

Zyska, B. J. 1988. Microbial deterioration of rubber. Teoksessa: Houghton, D. R., Smith, R. N. & Eggins, H. O. W. (toim.). *Biodeterioration 7*. Essex: Elsevier Science Publishers Ltd. S. 535–552.

Tekijä(t) Wirtanen, Gun (toim.)			
Nimeke <b>Laitehygieniä elintarviketeollisuudessa</b> <b>Hygieniaongelmien ja <i>Listeria monocytogenes</i> hallintakeinot</b>			
Tiivistelmä <p>Tuotanto- ja laitehygieniä on keskeinen kohde elintarviketeollisuudessa. Katsaukseen on koottu ajankoh- taista tietoa laitehygieniasta ja siihen vaikuttavista tekijöistä. Katsauksessa käsitellään aluksi yleisiä asioita, kuten mikrobien kasvua pinnoilla ja tilaratkaisujen merkitystä hygienian ylläpidossa. Laitehygie- niaan liittyvä lainsäädäntö, määräykset, ohjeistukset ja standardit sekä keskeiset laitehygieniäjärjestöt (EHEDG, NSF, 3A, IDF, R3) käydään läpi katsauksessa. Katsauksessa tarkastellaan sitä, miksi tietyt laitteet ovat hygieenisesti ongelmallisia. Yleisesti ottaen elintarviketeollisuudessa ongelmalliset laitteet ovat kuljettimet, viipalointi- ja kuutionikoneet, jäädyttimet, täyttökoneet ja pakkauslaitteet; ne vaihtelevat alalta alalle. Kirjallisuuskatsauksessa annetaan tietoa laitteiden rakenteista, materiaaleista ja hygieeni- sestä laitesuunnittelusta. Elintarviketeollisuudessa käytettävien materiaalien on oltava tarkoitetuissa käyttöolosuhteissa korroosionkestäviä, myrkyttömiä ja imemättömiä. Materiaalit eivät saa myötävaikuttaa elintarvikkeen kontaminoitumiseen eikä niillä saa olla muitakaan haitallisia vaikutuksia elintarvikkeeseen. Elintarviketeollisuudessa käytettävät voiteluaineet ja niiltä vaadittavat ominaisuudet esitellään.</p> <p>Erityishuomiota on kohdistettu yleisesti ympäristössä esiintyvään <i>Listeria monocytogenes</i> -bakteeriin, joka on yksi hankalimmista elintarviketuotantolaitoksissa esiintyvistä patogeeneistä. <i>L. monocytogenes</i> on varsin resistentti useita ulkoisia tekijöitä kohtaan, se kykenee selviämään ja lisääntymään hankalammissa olosuhteissa kuin monet muut itiöttömät bakteerit. Katsauksessa käsitellään <i>L. monocytogenes</i> ominaisuuksia, kuten bakteerin kiinnittymistä pinnoille ja herkkyyttä desinfiointiaineille, lämmölle ja happamuudelle. Lisäksi käsitellään <i>L. monocytogenes</i> esiintymistä elintarvikkeissa ja sen aiheuttamia kontaminaatioita eri elintarviketeollisuuden tuotantolaitoksissa.</p> <p>Kirjallisuuskatsauksessa esitellään mikrobien kasvunestoa pesu- ja desinfiointimenetelmillä teollisuus- järjestelmissä. Lisäksi käsitellään tavallisimmin käytetyt desinfiointiaineet, jotka ovat klooriyhdisteet, alkoholit, hapettavat yhdisteet ja kationiset tensidit, ja niiden ominaisuudet sekä pesu- ja desinfiointi- tulokseen vaikuttavia tekijöitä. Katsauksessa tarkastellaan myös tavallisimpien käytettyjen desinfiointi- aineiden tehoa <i>L. monocytogenes</i> -bakteeriin. Siinä on myös kooste erilaisista desinfiointiaineen tehon testausmenetelmistä. Ultraäänipuhdistustekniikkaa ja sen soveltamista elintarviketeollisuuden pesuihin esitellään. Myös valobakteeriin perustuva pesukemikaalien jäämämääritysmenetelmä esitetään. Lisäksi käsitellään ultravioletin tehokkuutta desinfioinnissa.</p>			
Avainsanat hygiene, food industry, equipment design, equipment layout, decontamination, microbial contamination, <i>Listeria monocytogenes</i> , biofilms, legislation, standards, construction materials			
Toimintayksikkö VTT Biotekniikka, Tietotie 2, PL 1500, 02044 VTT			
ISBN 951-38-6013-2 (nid.) 951-38-6014-0 (URL: <a href="http://www.inf.vtt.fi/pdf/">http://www.inf.vtt.fi/pdf/</a> )		Projektinumero B1SU00276	
Julkaisu-aika Marraskuu 2002	Kieli Suomi	Sivuja 183	Hinta D
Projektin nimi Hygieeniset laitteet elintarviketeollisuudessa		Toimeksiantaja(t) Tekes, teollisuusryhmä, BEL, Helsingin yliopisto, Eläinlääketieteellinen tiedekunta	
Avainnimeke ja ISSN VTT Publications 1235-0621 (nid.) 1455-0849 (URL: <a href="http://www.inf.vtt.fi/pdf/">http://www.inf.vtt.fi/pdf/</a> )		Myynti: VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. (09) 456 4404 Faksi (09) 456 4374	

Kolmivuotiseksi suunnitellun ”Hygieeniset laitteet elintarviketeollisuudessa” -projektin tavoitteena on tuottaa tietoa siitä, miten hygieniatasoa voidaan parantaa elintarviketeollisuuden ongelmallisimmissa laitteissa. Tähän kirjallisuuskatsaukseen on koottu julkaistua tietoa tekijöistä, jotka vaikuttavat laitteiden hygieniaan elintarviketeollisuudessa, mm. biofilmien esiintymisestä teollisuusjärjestelmissä, elintarviketeollisuuden tilaratkaisuista ja niiden merkityksestä laitehygieniassa, elintarvikelaitteiden rakenneratkaisuista ja pintamateriaalien ominaisuuksista, laitteiden puhdistus- ja desinfiointitoimista sekä alan määräyksistä ja ohjeistuksista. Keskeisin lainsäädäntö laitesuunnittelulle elintarviketalalla löytyy EU:n direktiivistä 98/37/EU ja laitestandardista EN 1672-2: 1997 ”Elintarvikelineet. Perusteet. Osa 2: Hygieniavaatimukset”. Hygienian kannalta ongelmalliset laitteet vaihtelevat eri elintarviketeollisuuden aloilla; yleisesti ottaen elintarviketeollisuudessa kuljettimet, viipalointi- ja kuutiointikoneet, levylämmönvaihtimet, täyttökoneet, pakkauslaitteet, tankit ja erilaiset putkistot voivat olla ongelmallisia. Nämä laitteet voivat myös toimia *Listeria monocytogenes* -bakteerin saastumislähteenä. Elintarviketeollisuuden tuotantolaitoksissa *L. monocytogenes* on hankala patogeeni, jota tavataan kosteissa ja kylmissä tiloissa. Se on varsin resistentti useita ulkoisia tekijöitä kohtaan ja se sopeutuu hyvin ympäristöolosuhteisiin ja voi muodostaa pinnoille biofilmejä. Katsauksessa tarkastellaan myös tavallisimpien käytettyjen desinfiointiaineiden tehoa *L. monocytogenes* -bakteeriin. Prosessipinnoille mahdollisesti huuhtelun jälkeen jääneet kemialliset jäämät ovat määritettävissä valobakteeritestillä, joka on kemiallisesti epäspesifinen testimenetelmä. Kirjallisuuskatsauksessa on myös tietoa siitä, mitä erityisvaatimuksia pitäisi ottaa huomioon valittaessa voiteluaineita elintarviketeollisuussovelluksiin.



Tätä julkaisua myy  
VTT TIETOPALVELU  
PL 2000  
02044 VTT  
Puh. (09) 456 4404  
Faksi (09) 456 4374

Denna publikation säljs av  
VTT INFORMATIONSTJÄNST  
PB 2000  
02044 VTT  
Tel. (09) 456 4404  
Fax (09) 456 4374

This publication is available from  
VTT INFORMATION SERVICE  
P.O. Box 2000  
FIN-02044 VTT, Finland  
Phone internat. +358 9 456 4404  
Fax +358 9 456 4374