

Juuso Keskinen

Uudet puhdistusteknologiat elintarvike- ja muussa prosessiteollisuudessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja elintarviketekniikka

Insinööryö

7.12.2015

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Juuso Keskinen Uudet puhdistusteknologiat elintarvike- ja muussa prosessi- teollisuudessa 52 sivua + 14 liitettä 18.12.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Bio- ja elintarviketekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Elintarviketekniikka
Ohjaaja(t)	Carola Fortelius, tutkintovastaava Kimmo Nurmi, tuotekehityskemisti
<p>Tässä insinööriyössä tehtiin kirjallisuusselvitys uusista puhdistusteknologioista elintarvike- ja muussa teollisuudessa. Työn lopussa pohdittiin kaupallisen potentiaalin hyödyntämismahdollisuuksia yrityksen omaan käyttöön uusissa puhdistusteknologioissa. Kirjallisuusselvityksen ja omien pohdintojen tarkoituksena on omalta osaltaan vaikuttaa yhtiön strategiseen suuntautumiseen tulevaisuudessa.</p> <p>Työ toteutettiin tekemällä kirjallisuuskatsaus, jossa keskityttiin kolmeen suurempaan aihealueeseen. Nämä aihealueet olivat nanopinnoitteet, ultraäänipuhdistus sekä <i>in situ</i> -puhdistusteknologia. Työn alussa käytiin läpi yleisiä, nykypäivän puhdistukseen ja desinfiointiin liittyviä asioita, minkä jälkeen käsiteltiin edellä mainitut aihealueet. Nanopinnoitteissa suurin painoarvo työssä oli titaanidioksidilla ja nanohopealla. <i>In situ</i> -teknologiassa keskityttiin pääasiassa elektrolyyttiseen veteen, mutta myös klooridioksidin sekä peretikkahappoon.</p> <p>Kirjallisuuskatsauksen pohjalta tehtiin omaa pohdintaa liittyen edellä mainittujen teknologioiden tulevaisuuteen, mahdollisuuksiin ja kaupallisiin sovellusmahdollisuuksiin. Osa tiedoista jäi ainoastaan yrityksen käyttöön ja niitä ei julkisessa versiossa ole nähtävillä.</p> <p>Tehdyn kirjallisuuskatsauksen perusteella uudet puhdistusteknologiat tulevat saamaan jalansijaa markkinoilla ja tästä johtuen pesuaineyritysten on harkittava, miten suhtautua uusiin puhdistusteknologioihin, joissa perinteistä kemiaa käytetään entistä vähemmän. Yhteistyötä tulee harkita yhtiöiden kanssa, jotka toimivat uusien puhdistusteknologioiden parissa.</p>	
Avainsanat	titaanidioksidi, nanohopea, ultraäänipuhdistus, <i>in situ</i> -teknologia, elektrolyyttinen vesi

Author(s) Title Number of Pages Date	Juuso Keskinen New cleaning technologies in the food and other process industries 52 pages + 14 appendices 7 December 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Biotechnology and Food Engineering
Specialisation option	Food Engineering
Instructor(s)	Carola Fortelius, Head of Degree Programme Kimmo Nurmi, R & D Chemist
<p>In this thesis a literature review was done on new cleaning technologies in food and other industries. On the basis of this thesis, the company is considering exploiting the commercial potential of the new technologies. The points brought up in the literature review and discussion are used as some of the guiding factors in deciding about the company's future strategies.</p> <p>The thesis was carried out as a literature review which focused on three larger areas: nanocoatings, ultrasonic cleaning and <i>in situ</i> cleaning technology. The beginning of the paper covers the general facts about today's cleaning and disinfecting technologies, after which the previously mentioned main areas are introduced. In nanocoatings the main focus was on titanium dioxide and nano silver. In <i>in situ</i> technologies the main focus was on electrolytic water but also on chlorine dioxide and peracetic acid.</p> <p>On the basis of the review, the future of the technologies, their possibilities and commercial potential was discussed. Some of the information provided in the thesis was exclusively for the company's use and is not available in this public version of the paper.</p> <p>The results of the literature review indicate that the new cleaning technologies will grow their share of the market. This is why the detergent manufacturers need to think about their approach to the new cleaning technologies where traditional chemistry is less used. Cooperation with the companies that are working with the new technologies should be considered.</p>	
Keywords	titanium dioxide, nano silver, ultrasonic cleaning, <i>in situ</i> cleaning technology, electrolyzed water

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Yleistä puhdistuksesta ja desinfektiosta	2
2.1	Biofilmi	2
2.2	Hygienian kannalta ongelmallisimmat laitteet elintarviketeollisuudessa	3
2.3	Pesutulokseen vaikuttavia tekijöitä	4
2.4	Avoimet- ja suljetut pesujärjestelmät	4
2.4.1	Vaahtopesu	5
2.4.2	Tunnelipesu	5
2.4.3	Kiertopesu eli CIP-menetelmä	5
2.5	Pesu- ja desinfektioaineet elintarviketeollisuudessa	6
2.6	Puhdistus- ja desinfiointiaineiden tulevaisuuden kehityssuunta	7
3	Nanopinnat- ja pinnoitteet	7
3.1	Titaanidioksidi TiO ₂	9
3.1.1	Käyttö ja ominaisuudet	10
3.1.2	Fotokatalyyttinen reaktio	11
3.2	Kitosaani	12
3.2.1	Kitosaani yleisesti	12
3.2.2	Kitosaanin käyttökohteita teollisuudessa	12
3.3	Nanohopea / nanohopeayhdisteet	13
3.4	Sinkkioksidi	14
3.5	Nanopinnoitteiden hyödyntämismahdollisuudet elintarvikealalla	15
3.6	Esimerkkejä tiedossa olevista nanopinnoitesovelluksista desinfiointiin ja mikrobien hallintaan elintarviketeollisuudessa	17
4	Ultraäänipuhdistus	18
4.1	Kavitaatio	19
4.2	Kavitaatiomekanismi	20
4.3	Ultraäänipuhdistajan perusosat	21
4.4	Pesunesteet ja kemia	22
4.4.1	Ultraäänipuhdistuksessa käytettävän pesunesteen haluttuja ominaisuuksia ja kemiaa	22
4.4.2	Yleisesti puhdistuksessa käytettävien pesuaineiden jako ryhmittäin	23

4.5	Ultraäänipesu vesipohjaisella pesuaineella	24
4.6	Ultraäänipuhdistuksen käyttökohteita	24
4.7	Ultraäänien käyttö veneen puhdistuksessa	26
4.8	Ultraäänipesun vertailua muihin pesumenetelmiin	28
4.9	Ultraäänipuhdistuksen tulevaisuus	28
5	<i>In situ</i> -desinfektiomenetelmiä: Elektrolyyttinen vesi, klooridioksidi sekä peretikkahappo	29
5.1	Elektrolyyttisen veden valmistusprosessi	30
5.1.1	Katodilla tapahtuvat reaktiot	31
5.1.2	Anodilla tapahtuvat reaktiot	31
5.2	Elektrolyyttinen vesi hygieniassa ja desinfiointissa – Esitettyjä tutkimusteorioita reaktioista ja desinfiointitehoon vaikuttavista tekijöistä	32
5.3	Elektrolyyttisen veden vaikutukset mikrobeihin	34
5.4	Elektrolyyttisen veden ominaisuuksia	35
5.4.1	Elektrolyyttisen veden etuja ja hyviä puolia	35
5.4.2	Elektrolyyttisen veden negatiivisia puolia	37
5.5	Elektrolyyttisen veden käyttökohteita- ja sovelluksia	37
5.6	Lypsyjärjestelmän CIP-pesun optimointi ja mallintaminen elektrolyyttisellä vedellä pilot-koossa	39
5.7	Klooridioksidi	40
5.8	Peretikkahappo	42
6	Pohdintaa	43
	Lähteet	49
	Liitteet	
	Liite 1. Elintarviketeollisuudessa käytettäviä desinfiointiaineita ominaisuuksineen	
	Liite 2. Elintarviketeollisuudessa yleisesti käytettyjen desinfiointiaineiden ominaisuuksia	
	Liite 3. Superhydrofiilisen teknologian teoreettisia ja käytössä olevia sovelluksia	
	Liite 4. Kitosaanin käyttökohteita ja sovelluksia eri teollisuusaloilla	
	Liite 5. Kitosaanin erilaisia käyttökohteita eri teollisuuden aloilla	
	Liite 6. Kitosaanin pääasiallisia käyttökohteita ja sovelluksia lääketieteessä	
	Liite 7. Kitosaanin käyttökohteita eri teollisuuden aloilla	
	Liite 8. Hopean käyttö (oikea puoli kädestä) ja nanohopean käyttö (vasen puoli kädestä) lääketieteessä	
	Liite 9. Hopeaionien antibakteerinen vaikutus bakteerisolussa	
	Liite 10. Erilaisia, antimikrobisten nanomateriaalien nykyisiä ja tulevaisuuden mahdollisia käyttösovelluksia	

Liite 11. Elektrolyyttisen veden vaikutus patogeeneihin elintarviketeollisuuden materiaaleissa

Liite 12. Peretikkahapon teho vaikutus mikrobeihin eri olosuhteissa

Liite 13. Peretikkahapon vaikutus eläintautia aiheuttaviin mikro-organismeihin

Liite 14. Vaikutusajat eri mikro-organismeihin 5 %:n peretikkahapon käytössä

Lyhenteet ja määritelmät

ATP	Adenosiinitrifosfaatti. Mitokondrioiden tuottama runsasenerginen yhdiste.
CIP	Cleaning-in-place. Elintarviketeollisuudessa käytetty suljettu kierto- pesusysteemi.
DNA	Deoksiribonukleiinihappo. Sisältää eliöiden geneettisen materiaalin.
<i>in situ</i>	Paikan päällä tehtävä tai valmistettava.
ORP	Oxidation-reduction potential. Hapetuspelkistyspotentiaali. Sähköinen potentiaali, joka tarvitaan elektronien siirtämiseksi aineesta toiseen (ha- pettimesta pelkistimeen).
PET	Polyeteenitereftalaatti. Erityisesti pakkausteollisuudessa käytetty kesto- muovi.
ppm	Parts per million. Suhdeyksikkö, joka ilmaisee, kuinka monta miljoonas- osaa jokin on jostakin.

1 Johdanto

Teollisuudessa hygienialla ja puhtaudella on suuri merkitys. Erityisesti elintarviketeollisuudessa sekä lääke- ja sairaalateollisuudessa laitteiden, pintojen, putkistojen ja erilaisten instrumenttien tulee olla puhtaita niin kemiallisesti kuin mikrobiologisesti. Elintarviketeollisuudessa yleisellä hygienialla taataan elintarviketurvallisuus, lääke- ja sairaalateollisuudessa taas potilasturvallisuus.

Pesutapahtumaan vaaditaan aina neljä eri tekijää: aika, lämpötila, mekaniikka ja kemia eli pesuaine. Jos jotain näistä neljästä on pesutapahtumassa mukana vähemmän, tarvitaan jotain toista tekijää enemmän. Tämä on tärkeää huomioida, kun uusia pesuaineita kehitetään erilaisiin käyttötarkoituksiin. Tällä hetkellä erilaisilla, vahvoilla pesuaineilla ja kemikaaleilla on erittäin tärkeä ja suuri rooli pesutapahtumissa. Väärin käytettynä ja -varastoituna pesuaineet ja kemikaalit voivat aiheuttaa erilaisia terveyshaittoja ja myrkytysoireita. Esimerkiksi monissa valkaisuaineissa käytettävää hypokloriittia ei tule päästää kosketuksiin happamien aineiden, kuten etikan tai sitruunahapon kanssa, sillä aineet saattavat reagoida keskenään, jolloin muodostuu haitallista kloorikaasua. Kloori ärsyttää ja pahimmillaan syövyttää silmiä, ihoa ja hengityselimiä aiheuttaen pahimmillaan pysyviä vaurioita. Ympäristön kannalta haitallisimpia ovat kemikaalit, jotka hajoavat hyvin hitaasti tai eivät hajoa ollenkaan luonnossa, sillä nämä kemikaalit voivat rikastua ravintoketjussa. Nykyään pesu- ja puhdistusaineita valmistavat yhtiöt kehittelevät yhä ympäristöystävällisempiä tuotteita.

Tämä insinööri työ tehtiin KiiltoClean Oy:lle. KiiltoClean Oy on Kiilto Family -konserniin kuuluva suomalainen puhtaus- ja hygieniaratkaisujen toimittaja. Yhtiö kehittää ja valmistaa tuotteet pääosin Suomessa. Tuotevalikoimaan kuuluvat pesu-, puhdistus- ja hoitoaineet, erilaiset hygieniatuotteet, teollisuuskemikaalit sekä siivousvälineet ja -koneet.

Yhä etenevässä määrin ollaan menossa suuntaan, jossa kemikaalien käyttöä halutaan mahdollisuuksien mukaan vähentää ja kemikaalien tilalle etsitään turvallisempia, mutta kuitenkin yhtä tehokkaita pesu- ja puhdistusratkaisuja. Kemikaalien vähentämisellä lisätään pesutapahtumien turvallisuutta ja säästetään pesuissa käytettävää vettä sekä energiaa. Tämän insinööri työnsä tavoitteena on tehdä kirjallisuusselvitys uudemmissa pesu- ja puhdistusteknologioista, joissa kemikaalien käyttöä korvataan muilla menetelmillä ja -tekniikoilla. Työssä keskitytään teollisuuden sovelluksiin. Työn pohjalta tavoit-

teena on lisäksi pohtia kaupallisen potentiaalin hyödyntämistä yrityksen omaan käyttöön uusissa teknologioissa ja omalta osaltaan vaikuttaa yhtiön strategiseen suuntautumiseen tulevaisuudessa.

2 Yleistä puhdistuksesta ja desinfektiosta

Elintarviketuotantolaitoksissa tuotantohygienian hallinta on tärkeää, jotta pystytään estämään lopputuotteiden kontaminaatio. Korkea tuotantohygienia on pohjana tuotteiden puhtaudelle niiden prosessoinnin aikana. Lisäksi kunnollinen tuotantohygienia takaa elintarvikkeiden turvallisuuden ja hyvän laadun. Elintarviketeollisuudessa pesujen tarkoituksena on päästä niin kemiallisesti kuin mikrobiologisesti puhtaaseen lopputuokseen. Pesun jälkeisellä desinfektiolla tarkoituksena on tuhota mahdollisesti jäljelle jääneet patogeeniset mikro-organismit tuotannon linjastoista, työvälineistä sekä pinnoilta. [1; 2]

Puhdistuksessa lian ja puhdistettavien välineiden pinnan täytyy kostua ja pesuaineliuoksen tulee päästä vaikuttamaan puhdistettavaan kohteeseen. Valitun pesuaineen täytyy reagoida lian ja pinnan kanssa haluttujen vaikutusten aikaansaamiseksi. Desinfektioaineiden tarkoituksena on reagoida mikrobien solukalvon kanssa tai tunkeutua solun sisään aikaansaaden biosidisen tai biostaattisen vaikutuksen. [2]

2.1 Biofilmi

Suurimmalla osalla mikrobeista on kyky tarttua erilaisiin pintojen materiaaleihin ja kasvaa biofilmiksi. Biofilmillä tarkoitetaan sekä elollisilla että elottomilla pinnoilla kasvavia mikrobiyhteisöjä. Mikrobit muodostavat biofilmimuodossa ympärilleen limaa, joka koostuu erilaisista polymeerisistä aineista. Arkinen esimerkki biofilmistä on hammasplakki. Biofilmin muodostuminen vaatii mikrobisolujen ja ravinteiden lisäksi tarttumapinnan sekä pienen määrän nestettä. [1; 3]

Biofilmiongelma tulee esiin herkimmin rehu- ja elintarviketeollisuudessa, sillä siellä prosessoidaan eloperäistä materiaalia. Elintarviketeollisuuden laitesuunnittelussa pintamateriaalien ominaisuudet vaikuttavat suuresti biofilmin muodostumiseen. Näitä ominaisuuksia ovat esimerkiksi pinnan sileys ja kunto, hiushalkeamat sekä mahdolliset säröt. Nämä ovat tärkeitä ominaisuuksia estettäessä biofilmin muodostumista. Biofilmin muo-

dostuminen erilaisille pinnoille on merkittävä ongelma-alue koko prosessiteollisuudessa. [1]

2.2 Hygienian kannalta ongelmallisimmat laitteet elintarviketeollisuudessa

Elintarvikepuhtauden kannalta ongelmallisimpia ovat laitteiden rakenteet, jotka keräävät likaa ja/tai hankaloittavat pesua ja desinfiointia. Jos pesu tai desinfiointi ei ole ollut riittävän tehokasta, voi se johtaa puutteelliseen hygieniaan ja tuotteiden saastumiseen. *Listeria monocytogenes* on *Listeria*-sukuun kuuluva bakteeri, joka aiheuttaa paljon haittaa elintarviketeollisuudessa. [1] Taulukossa 1 on esimerkkejä erilaisista elintarviketeollisuuden laitteista, joissa on esiintynyt *Listeria monocytogenes* -saastumisia.

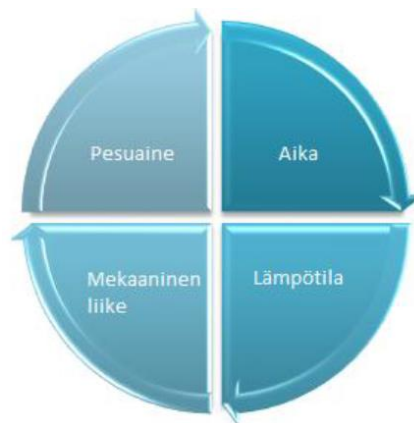
Taulukko 1. Eri elintarviketeollisuuden alojen laitteita, joissa on esiintynyt *Listeria monocytogenes* -saastumisia. [1]

Ala	Laite	Viite
Meijeri-teollisuus	Annostelukone	Cotton & White 1990, Pritchard ym. 1995, Miettinen ym. 1999, Lyytikäinen ym. 2000.
	Jäähdytin	
	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	

Eri elintarvikealan sektoreilla käytetään erilaisia laitteita, joten myös hygienian kannalta ongelmallisimmat laitteet vaihtelevat eri sektoreilla. Tietyt laitteet, kuten viipalointikoneet, jäähdyttimet, kuljettimet, pakkaus- ja täyttökoneet ovat kuitenkin käytössä monilla elintarvikealoilla. Nämä laitteet ovatkin yleisiä *Listeria monocytogenes* -saastumispaikkoja. [1]

2.3 Pesutulokseen vaikuttavia tekijöitä

Pintojen puhdistettavuuteen vaikuttavat monet tekijät, kuten poistettavan lian ominaisuudet sekä puhdistettavan pinnan materiaalin ominaisuudet. Pesutapahtumassa vaikuttavat useat eri tekijät, kuten käytetyn pesuaineen sisältämät kemikaalit, käytetty pesuainekonsentraatio, pesuliuoksen lämpötila sekä pesuliuoksen vaikutusaika. Myös mekaaninen vaikutus pesutapahtumassa on tärkeää. Tämä saadaan aikaan joko virtauksella tai paineella. [1] Kuvassa 1 on esitetty niin kutsuttu pesuympyrä, josta nähdään pesutapahtumassa vaikuttavat parametrit.



Kuva 1. Pesuympyrä, jossa sen kaikki parametrit vaikuttavat puhdistuksen lopputulokseen. Jos jotain parametria on vähemmän, tulee muita parametreja olla enemmän, jotta haluttu lopputulos saavutettaisiin. [4]

Nämä eri osatekijöiden yhteisvaikutukset määräävät yhdessä pesutehon ja ne muodostavat toisiinsa nähden eräänlaisen riippuvuussuhteen, sillä jonkin osatekijän heikkentyminen on korvattava muita osatekijöitä voimistamalla, mikäli halutaan päästä samaan pesutulokseen. Koska tavoitteena on saavuttaa aina optimaalinen pesutulos, on pesuparametreja valittaessa kiinnitettävä huomiota taloudellisiin seikkoihin. Näitä ovat esimerkiksi työvoiman, energian ja vedenkulutuksen aiheuttamat kustannukset. [1]

2.4 Avoimet- ja suljetut pesujärjestelmät

Elintarviketeollisuudessa puhdistusmenetelmät voidaan jakaa avoimiin ja suljettuihin puhdistusmenetelmiin. Halutun pesumenetelmän valinta riippuu pestävästä kohteesta ja sen rakenteesta. Myös pestävän kohteen puhtausvaatimukset vaikuttavat käytettyyn puhdistusmenetelmään. Avoimet puhdistusmenetelmät soveltuvat ulkoisten pintojen,

kuten kuljetussäiliöiden ja monimutkaisten laitteiden pesuun. Suljettuja puhdistusmenetelmiä käytetään putkistojen, säiliöiden, tankkien ja prosessin laitteistojen pesuun. [1; 2]

2.4.1 Vaahtopesu

Elintarviketeollisuudessa vaahtopesua käytetään avoimien prosessijärjestelmien pintojen pesussa. Pestäviä kohteita ovat muun muassa kuljettimet sekä erilaiset pinnat. Puhdistettavat pinnat huuhdellaan aluksi vedellä irtolian poistamiseksi. Sen jälkeen pinnalle ruiskutetaan vaahtokerros. Vaahdon annetaan vaikuttaa 15–30 minuuttia, minkä jälkeen vaahto huuhdellaan pois kuumalla vedellä. Niin sanotussa matalapainepesussa käytetään 18–22 baarin painetta ja korkeapainepesussa yli 100 baarin painetta. Hygieenisen alueen pesu ei sovi tehtäväksi korkeapainepesulla, sillä menetelmä levittää helposti likaa aerosoleina ympäristöön. [1; 2]

2.4.2 Tunnelipesu

Tunnelipesussa pestään laitteiden irrotettuja osia ja kappaleita, joista ensin on poistettu suurin osa liasta mekaanisella menetelmällä. Kappaleet etenevät suljetussa tunnelissa kuljetushihnaa pitkin ja pesusuuttimet suihkuttavat pesunestettä pestävään kohteeseen. Suuttimien vedenpaine, suutinten määrä ja tunnelin perusosan pituus vaikuttavat pesutulokseen. Tunnelipesureissa on yleensä ensimmäisenä esihuuhteluosasto, minkä jälkeen tulee varsinainen liuospesu. Liuospesun jälkeen pesunesteet huuhdellaan pois jälkihuhteluosastossa. Lämpötilaa ja pesunesteen liuosväkevyyttä voidaan vaihdella vaaditun puhtaustason mukaan. [1; 2]

2.4.3 Kiertopesu eli CIP-menetelmä

Elintarvikeprosesseissa suurin osa pesuista tapahtuu automatisoiduilla kiertopesuilla eli cleaning-in-place (CIP) -systeemillä. Suljetussa kiertopesussa puhdistus- ja/tai desinfiointineet sekä vesi kiertävät systeemissä ja vaikuttavat elintarvikkeen kanssa kosketuksissa oleviin putkistojen ja laitteiden sisäpintoihin. CIP-pesut soveltuvat parhaiten pumppujen, säiliöiden ja putkistojen pesuun. Erityisesti meijereissä ja panimoissa menetelmää käytetään erittäin paljon. Lihateollisuudessa CIP-menetelmää hyödynnetään esimerkiksi putkien tyhjentämisessä sekä laajalti erityyppisten valmistuslaitteiden ja pakkauslinjojen kiertopesuissa. [2; 37]

Kiertopesumenetelmässä pesutapahtumaan sisältyy useita vaiheita. Pesuun kuuluu aina esihuuhtelu, pesu ja huuhtelu. Lisäksi monesti näitä vaiheita seuraa vielä desinfektiovaihe ja loppuhuuhtelu. Kylmällä tai kuumalla vedellä tehtävä esihuuhtelu poistaa pinnoilta helposti irtoavaa likaa. Kaksivaiheisessa pesussa pesuliuksena käytetään sekä emäksisiä natrium- ja/tai kaliumhydroksidipohjaisia pesuaineita että typpihappopohjaisia pesunesteitä. Happopesuista on luovuttu joissain paikoissa kokonaan. Pesuvaiheen jälkeen tulevan huuhteluvaiheen tarkoituksena on poistaa pesuainekemikaalit ja loppu lika järjestelmästä. Jos halutaan käyttää desinfiointia, se suoritetaan huuhtelun jälkeen. Mahdollisen desinfiointivaiheen jälkeen loput liuokset ja desinfektioaineet poistetaan vielä loppuhuuhtelulla. [1; 2]

Kiertopesumenetelmän tehokkuuteen vaikuttavat virtausnopeus, aika, lämpötila sekä puhdistusaineen pitoisuus. Pesuajan tulee olla riittävän pitkä, jotta puhdistustulos olisi halutunlainen. Liian pitkä aika taas on turha lopputuloksen kannalta ja saattaa aiheuttaa tuotannon tehokkuuden laskua. Lämpötilan tulee olla riittävän korkea sekä pysyä tasaisena ja myös oikea pesuaineen pitoisuus on tärkeää. CIP-pesuissa nesteen virtausnopeuden tulee olla yli 1,5 m/s, sillä nesteen turbulenssivirtaus on prosessissa likaa irrottava voima. Käytännössä virtauksen tulee olla vielä suurempi, sillä putkistoissa on monia virtausesteitä, jotka aiheuttavat painehäviöitä ja virtauksen hidastumista. [2]

2.5 Pesu- ja desinfektioaineet elintarviketeollisuudessa

Erilaisia pesuaineseoksia käytetään elintarviketeollisuudessa lian ja mikrobien poistamiseen, sillä yleensä yksin käytettynä mikään aine ei ole riittävän tehokas halutun lopputuloksen kannalta. Pesuaineseokset voivat sisältää muun muassa erilaisia pintaaktiivisia aineita, orgaanisia tai epäorgaanisia happoja sekä epäorgaanisia emäksisiä aineita. Halutun puhdistusaineen valintaan vaikuttavat esimerkiksi käytettävä pesumenetelmä, lian laatu, pinnan laatu sekä veden kovuus. [2]

Desinfiointin tarkoituksena on tuhota pesun jälkeen pinnoille mahdollisesti jääneet mikrobit ja näin varmistaa pesun tehokkuus. Yleisimpiä käytössä olevia desinfiointiaineita ovat esimerkiksi klooriyhdisteet, peretikkahappo/vetyperoksidi sekä erilaiset kationiset yhdisteet, kuten DDAC (Didecyldimethylammonium chloride) sekä BAC (Benzalkonium chloride). Lisäksi elintarvikelaitoksissa pintojen desinfiointiin voidaan käyttää muun

muassa alkoholipohjaisia aineita ja vetyperoksidia. [1; 2; 37] Liitteissä 1 ja 2 on esitetty elintarviketeollisuudessa käytettyjen desinfiointiaineiden ominaisuuksia.

2.6 Puhdistus- ja desinfiointiaineiden tulevaisuuden kehityssuunta

Vielä tällä hetkellä selvästi suurin osa teollisuuden pesuista ja desinfiointeista hoidetaan erilaisilla kemikaaleilla ja niiden seoksilla. Joitakin kohteita puhdistetaan muilla menetelmillä, kuten ultraäänen avulla sekä niin kutsutuilla *in situ* -menetelmillä, joihin kuuluvat muun muassa otsoni, klooridioksidi sekä elektrolyyttinen vesi. Pääasiassa pintojen ja laitteiden pesut sekä desinfiointit tehdään kuitenkin vielä vahvoilla kemikaalipohjaisilla aineilla.

Uusille puhdistusteknologioille on tarvetta, sillä kehitys on menossa suuntaan, jossa perinteisten pesu- ja desinfiointikemikaalien käyttöä halutaan vähentää hygieniaturvallisuutta vaarantamatta ja kemikaalien tilalle etsitään turvallisempia, mutta kuitenkin yhtä tehokkaita pesu- ja puhdistusratkaisuja. Taustalla ovat taloudelliset intressit, sillä kemikaalien vähentämisellä voidaan parantaa työturvallisuutta sekä säästää ympäristöä, energiaa- ja vettä. Veden käytön väheneminen pesuissa on iso taloudellinen tekijä suurissa elintarvikelaitoksissa, joissa vettä kulutetaan päivittäin pelkissä pesuissa jopa useita satoja tuhansia litroja. Kun veden määrää voidaan vähentää pesuissa, myös jätevesikustannukset laskevat.

3 Nanopinnat- ja pinnoitteet

Itsepuhdistuvissa pinnoitteissa ja funktionaalisilla pinnoilla käytetään erilaisia nanokokoisia materiaaleja, kuten nanosilikaatteja, nanohopeaa/nanohopeayhdisteitä, titaanidioksidia, joka on tällä hetkellä ehkä tunnetuin ja tutkituin pinnoite, sekä muutamia muita pinnoitemateriaaleja. Itsepuhdistuvat ja likaantumattomat pinnat voidaan jakaa hydrofiilisiin ja hydrofobisiin pintoihin. [5]

Pintaan voidaan tehdä pinnoite, joka ultraviolettisäteilyn vaikutuksesta hajottaa katalyyttisesti orgaanista likaa. Tällaista pintaa kutsutaan fotokatalyyttiseksi pinnoitteeksi. Kun fotokatalyyttinen pinnoite ultraviolettivalon vaikutuksesta hajottaa likaa, muuttuu pinta samalla superhydrofiiliseksi, jolloin vesi ei pisaroidu pinnalle, vaan leviää tasaisesti pinnalle. Superhydrofiilisyyttä käytetään hyväksi monissa teollisuussovelluksissa

ja myös arkisissa sovelluksissa. [5] Taulukossa 2 on esimerkkejä käytössä olevista hydrofiilisyyttä hyödyntävistä sovelluksista. Pääasiallisena materiaalina on käytetty titaaniidioksidaa, joka on ominaisuuksiensa puolesta erinomainen fotokatalyyttinen pinnoite. Lisäksi liitteessä 3 käydään läpi superhydrofiilisyyteen perustuvia sovelluksia arki- ja teollisuuskäytössä.

Taulukko 2. Käyttökohteita, jotka ovat pinnoitettu titaaniidioksidilla. [6]

Käyttökohde	Käyttötapa
Itsepuhdistuvat ikkunalasit	Lasi päällystetään nanometriluokan TiO ₂ -kerroksella
Auton sivupeili ja alusta	Pinnoitus TiO ₂ -nanokerroksella
Betonielementit ja -seinät	TiO ₂ :ta sekoitetaan betoniin
Kosteiden tilojen kaakelit	Pinnoitus TiO ₂ -nanokerroksella
Saniteettikalusteet	Pinnoitus hopeidulla TiO ₂ :lla
Katukäytävälaatat	TiO ₂ :ta sekoitetaan pintakerrokseen
Ilmanpuhdistimet	Sisällä TiO ₂ -pintaist levyt ja ultraviolettisäteilijä
Katto- ja seinäpinnoitteet	TiO ₂ :ta sekoitetaan pinnoitteeseen
Vedenpuhdistus	TiO ₂ -pintainen kenno tai TiO ₂ -jauhe
Ruokien pilaantumisen esto	Kylmätiloissa fotokatalyytilaite

Fotokatalyyttisen pinnan teknologisesti tärkeitä ominaisuuksia ovat itsepuhdistuvuus ja huurtumattomuus. Vesihöyry sumentaa lasit ja peilit helposti ilmankosteuden vaikutuksesta, jolloin vesipisarat muodostavat peilin tai lasin pintaan niin kutsutun sumentavan kalvon. Käytettäessä superhydrofiilistä pinnoitetta vesi ei ole pisaramuodossa, vaan se leviää tasaisesti pinnoitteen päälle. Tällainen pinnoite ei vaadi ulkoisia tekijöitä huurtumisen estämiseksi. [7]

Toinen pinnoitustapa on valmistaa itsepuhdistuva pinta niin kutsutun Lootusilmiön pohjalta. Tässä ilmiössä pinta tehdään erittäin hydrofobiseksi eli vettä hylkiväksi, jolloin vesipohjainen lika tarttuu huonosti pintaan ja pois vierivät vesipisarat puhdistavat pintaan laskeutuneet likapartikkelit. Voimakkaasti hydrofobiseen pintaan vaaditaan oikeanlainen pinnankarheus ja hydrofobinen pintakemia. Voimakasta hydrofobista efektiä voidaan käyttää hyväksi, kun halutaan estää pintaa likaantumasta tai haluttaessa tehdä pinnasta vettä hylkivä. [5]

Lootusefektin nimi tulee lootuskasveista, joiden lehtien rakenne ja pinta ovat sellaisia, etteivät epäpuhtaudet tartu pintaan ja vesi puhdistaa lehtien pinnalle laskeutuneen pölyn tai muun lian. Pinta on epätasainen ja lehden vahakerros on erittäin tiivis. Tämän vuoksi likapartikkelit ovat kosketuksissa lehden pintaan vain pieneltä alalta. Tästä johtuen lika ei pysty tarttumaan kunnolla lehden pintaan vaan vesipisarot valuvat lootuk-

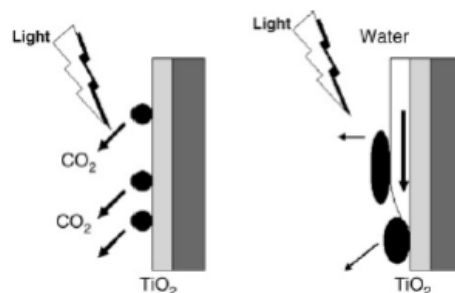
sen pintaa pitkin ja likahiukkasten on helpompi tarttua vesipisaroihin, kuin lehden pintaan. Ehkä tunnetuin Lootusefektiä hyödyntävä sovellus arkikäytössä on vettä hylkivä materiaali Teflon ja siihen perustuvat Gore-Tex -vaatteet sekä Teflonilla päällystetyt paistinpannut. [8]

3.1 Titaanidioksidi TiO_2

Titaanidioksidi on titaanin ja hapen muodostama kemiallinen yhdiste. Titaanidioksidi on eniten käytössä oleva fotokatalyytti lukuisten hyvien ominaisuuksiensa vuoksi. Näitä ominaisuuksia ovat muun muassa elektroniset ominaisuudet, kemiallinen stabiilisuus, matala hinta ja yhdisteen myrkyttömyys. Titaanidioksidilla on havaittu olevan käytännön kannalta parhaat ja erilaisissa olosuhteissa kestävimät ominaisuudet, joita itsepuhdistuvalta pinnoitteelta halutaan. [9]

Titaanidioksidilla on kolme kiderakennetta: rutiili, anataasi ja brukiiitti. Anataasin kiderakenteen on todettu olevan fotokatalyyttisesti aktiivisin. Sen energia-aukon koko on 3,2 elektronivoltia (eV), joka aallonpituudeksi muutettuna vastaa UV-valon aallonpituutta. Toisin sanoen UV-valo saa titaanidioksidin aktivoitumaan. [9]

Kuvassa 2 näkyy, kuinka titaanidioksidilla pinnoitettu pinta vaikuttaa likaan. Likapartikkelit pilkkoutuvat ultraviolettivalon vaikutuksesta pienemmiksi. Syntyy hiilidioksidia, jonka jälkeen vesi tunkeutuu titaanidioksidipinnan ja likapartikkelien väliin ja huuhtoo lian pois. [9]



Kuva 2. Titaanidioksidipinnoitteen toiminta. Pinta absorboi UV-säteilyä, jonka seurauksena likapartikkelit pilkkoutuvat pienemmiksi. Reaktiossa syntyy hiilidioksidia ja vettä, joka huuhtelee lian pois tunkeutumalla pinnoitteen ja likapartikkelien väliin. [9]

Yhdisteen fotokatalyyttinen pinta tuhoaa myös mikrobeja ja levää ultraviolettivalon vaikutuksesta. Tämä ominaisuus tekee titaanidioksidista tärkeän puhdistettaessa ja desin-

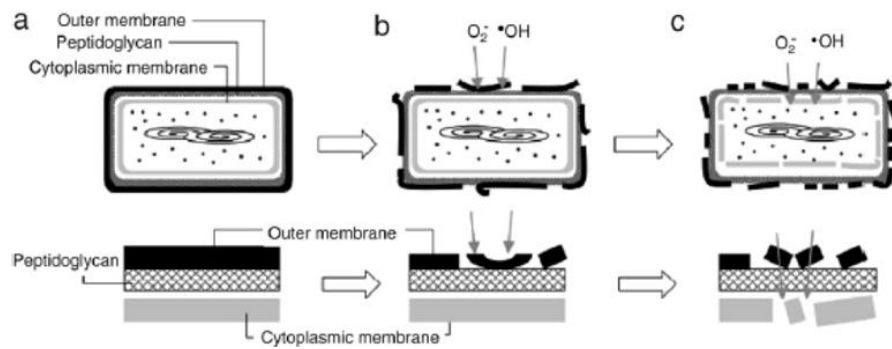
fioitaessa ilmaa, erilaisia pintoja ja vettä. Jos ultraviolettivalon vaikutus kestää riittävän kauan, mikrobit mineralisoituvat kokonaan vedeksi, hiilidioksidiksi ja muiksi hivenaineiksi. Nanokokoisen titaanidioksidin on raportoitu tuhonneen esimerkiksi poliovirus 1:n, B-hepatiittiviruksen sekä *Herpes simplex* viruksen. [9; 10]

3.1.1 Käyttö ja ominaisuudet

Titaanidioksidia käytetään laajasti erilaisissa sovelluksissa. Sitä käytetään pinnoittamisen lisäksi muun muassa pigmenttinä maaleissa, muovien ja paperin lisäaineena sekä kosmetiikkateollisuudessa. Väriaineen lisäksi titaanidioksidia käytetään esimerkiksi UV-suojana aurinkovoiteissa, elektrokeramisissa tuotteissa sekä katalysaattoreissa voima- ja teollisuuslaitoksilla. Titaanidioksidi on hyvin inertti yhdiste, jonka vuoksi sitä käytetään myös lääkeaineiden täyteaineena. [9]

Fotokatalyyttisen pintansa ansiosta titaanidioksidi pystyy tuhoamaan erilaisia mikrobeja, viruksia ja leviää UV-valon vaikutuksesta. Tämä ominaisuus tekee titaanidioksidista käytetyn materiaalin desinfioitaessa vettä, ilmaa ja erilaisia pintoja. Bakteerien tuhoutumisnopeus riippuu niiden soluseinän paksuudesta. Bakteri, jolla on paksumpi soluseinä, tuhoutuu hitaammin, kuin bakteri, jolla on ohuempi soluseinä. Titaanidioksidi-pinta hajottaa myös bakteerien myrkylliset ainesosat. [9]

Fotokatalyyttinen pinnoite absorboi UV-säteilyä ja muodostaa vesihöyrystä hydroksyyli- radikaaleja sekä vapaita happiradikaaleja. Molemmat ovat voimakkaita hapettajia. Mikrobin tuhoutuminen fotokatalyyttisellä pinnalla voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa hydroksyyli- radikaalit ($\text{OH}\cdot$) ja vapaat happiradikaalit ($\text{O}_2\cdot^-$) hajottavat mikrobisolun ulointa kalvoa. Toisessa vaiheessa hydroksyyli- radikaalit ja vapaat happiradikaalit hajottavat mikrobin solulimakalvon, jolloin se kuolee. Viimeisessä vaiheessa radikaalit hajottavat kuolleen solun jäljelle jääneet osat kokonaan mineraaleiksi. [9; 10] Kuvassa 3 nähdään, miten vapaat radikaalit hajottavat mikrobin solun.

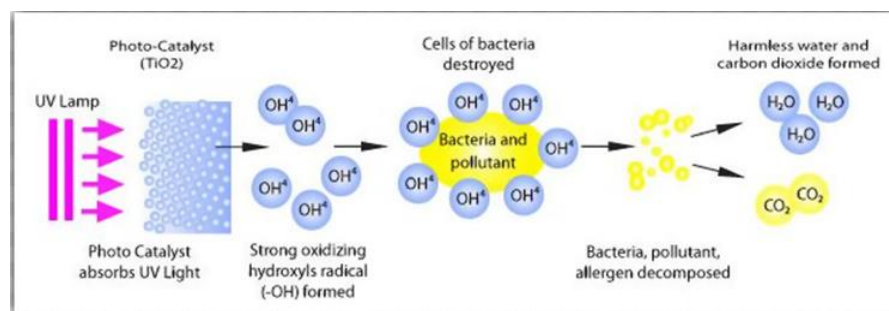


Kuva 3. Kuvassa on esitetty mikrobin tuhoutumismekanismi fotokatalyyttisellä pinnalla. Alussa vapaat happi- ja hydroksyyli-radikaalit hajottavat mikrobisolun uloinna solukalvoa. Sen jälkeen radikaalit tuhoavat solulimakalvon, jonka seurauksena solu kuolee. Lopuksi kuolleen solun jäljelle jääneet osat hajoavat täysin vedeksi, hiilidioksidiksi ja muiksi mineraaleiksi. [9]

Titaanidioksidilla päällystetty pinta hajottaa orgaanista likaa ultraviolettisäteilyn vaikutuksesta. Teollisuudelle tämä on tärkeä lisäarvo, sillä titaanidioksidi pystyy hyödyntämään auringon ultraviolettisäteilyä tai fluoresoivista lamputa syntyvää ultraviolettisäteilyä. Tämä voi auttaa säästämään koneiden huoltokustannuksissa ja vähentämään pesuaineiden käyttöä. [9]

3.1.2 Fotokatalyyttinen reaktio

Fotokatalyyssillä tarkoitetaan reaktiota, jossa ultraviolettisäteilyn energialla tuhoaan erilaisia mikrobeja sekä hajotetaan orgaanisia aineita yksinkertaisemmiksi haitattomiksi yhdisteiksi. [6] Kuvassa 4 havainnollistetaan fotokatalyyssireaktio ja sen vaikutus bakteerisolulle.



Kuva 4. Fotokatalyyttinen reaktio on esitetty bakteerille titaanidioksidin pinnalla. Titaanidioksidipinta absorboi UV-säteilyä ja muodostaa ilman vesihöyrystä hydroksyyli-radikaaleja, jotka ovat voimakkaita hapettimia. Radikaalit tuhoavat mikrobin ja tarpeeksi pitkän ajan kuluessa mikrobi muuttuu kokonaan vedeksi, hiilidioksidiksi ja muiksi mineraaleiksi. [9]

Fotokatalyyysin avulla pystytään myös hapettamaan epäorgaanisia aineita vähemmän haitallisiksi. Prosessi vaatii toteutuakseen katalyytin, happea sekä UV-säteilyä. Hajotettavan materiaalin tulee olla myös tarpeeksi lähellä katalyytin pintaa. Reaktion nopeuteen vaikuttavat lisäksi muun muassa ilmankosteus, valon intensiteetti sekä hajotettava yhdiste. Erityisesti vapaiden OH-radikaalien ansiosta titaanidioksidin fotokatalyyysillä on todettu olevan erinomainen kyky hapettaa lähes kaikkia orgaanisia ja polymeerisiä yhdisteitä. [6; 11]

3.2 Kitosaani

3.2.1 Kitosaani yleisesti

Kitosaani on biohajoava biopolymeeri, jota valmistetaan äyriäisten kuorista sisältävästä kitiinistä kemiallisen prosessin avulla. Siitä edelleen kitosaani prosessoidaan esimerkiksi hiutaleiksi, geeliksi tai kalvoiksi riippuen käyttökohteesta- ja tarkoituksesta. Kitiini on toiseksi runsaimmin esiintyvä polysakkaridi luonnossa heti selluloosan jälkeen. Yhdisteellä on todettu olevan vahvasti antibakteerinen eli erilaisia mikrobeja tappava vaikutus. Yhdisteen antimikrobiset ominaisuudet riippuvat monesta eri tekijästä, kuten yhdisteen molekyylipainosta, pH:sta, kitosaanin omasta pitoisuudesta (konsentraatiosta) sekä vaikutusajasta. Yleisesti tämä yhdiste on veteen liukenematon, mutta sen sijaan se liukenee hyvin sekä orgaanisiin että epäorgaanisiin happoihin. [10; 12]

3.2.2 Kitosaanin käyttökohteita teollisuudessa

Kitosaania käytetään eri teollisuuden aloilla joko yksinään tai yhdistettynä muihin luonnollisiin polymeereihin, kuten gelatiiniin tai tärkkelykseen. Yhdistettä käytetään esimerkiksi elintarviketeollisuudessa, lääke/sairaalateollisuudessa, veden käsittelyssä sekä kosmetiikkateollisuudessa. Elintarviketeollisuus sekä lääketeollisuus ovat kasvavat kohteet kitosaanille, sillä yhdisteen antibakteerinen vaikutus on molemmilla teollisuuden aloilla erittäin tärkeä tekijä. [10; 12]

Elintarviketeollisuudessa kitosaanista valmistettuja kalvoja on onnistuneesti käytetty suojaamaan ja säilömään erilaisia ruokia. Lääketeollisuudessa on kehitelty kalvoja, joilla pystytään ohjaamaan paranevien kudosten kasvua, esimerkiksi syöpäkasvaimen

leikkaushoidossa, sillä kitosaanivalmisteisella kalvolla on todettu olevan kemoterapeuttisia vaikutuksia. [10; 12] Liitteissä 4–7 on käyty läpi esimerkkejä kitosaanin erilaisista sovelluksista ja ominaisuuksista eri teollisuuden aloilla.

3.3 Nanohopea / nanohopeayhdisteet

Nanohopealla tai nanohopeapartikkeleilla tarkoitetaan hopea-atomeista rakentuneita klustereita, joiden halkaisija on välillä 1 – 100 nanometriä (nm). Nanohopean on tutkimuksissa todettu olevan erittäin antibakteerinen ja se estää laajasti erilaisten bakteerien kasvua. Nanohopeapartikkelien toksisuus ihmisluille riippuu partikkelien koosta. Pienemmät nanohopeapartikkelit aiheuttavat enemmän haitallisia biologisia vaikutuksia verrattuna suurempiin partikkelikokoihin. Nanohopeayhdisteistä eniten käytössä lienevät erilaiset nanohopea-polymeeriyhdisteet sekä nanohopea-titaanidioksidiyhdisteet. [15; 16]

Vaateteollisuus on sisällyttänyt nanohopeaa sukkiin kuituihin. Jalkahiki alkaa haista erilaisten bakteerien vaikutuksesta jaloissa ja nanohopeapartikkelit sukkiin kuiduissa neutralisoivat hajua muodostavia bakteereja, jolloin hajua ei synny tai se pysyy hyvin mietona. Nanohopeaa on sisällytetty erilaisiin elintarvikepakkauksimateriaaleihin, kuten muoveihin, joita käytetään esimerkiksi einespakkauksissa. Myös jääkaappien pintoja, säilytyspusseja ja leikkuulautoja on päällystetty nanohopeapartikkeliyhdisteillä tavoitteena estää haitallisten bakteerien kasvua. Nanohopea-polymeeriyhdisteitä taas käytetään erilaisissa optisissa materiaaleissa sekä sensoreissa. [15]

Erytisesti lääke- ja sairaalateollisuudessa nanohopeapartikkelit ovat laajasti kiinnostuksen kohteena niiden antibakteeristen vaikutustensa ansiosta. Erilaisia kaupallisia sovelluksia on markkinoilla, kuten nanohopeapinnoitteella päällystettyjä haavasidosmateriaaleja ja erilaisia kirurgisia instrumentteja. Nanohopeapartikkeleita käytetään lisäksi esimerkiksi sydänimplanteissa sekä verikontaktissa käytetyissä biopolymeereissä. [15] Taulukossa 3 on esitelty kaupallisesti saatavilla olevia tuotteita lääketieteessä, jotka sisältävät nanohopeaa. Lisäksi liitteessä 8 käydään läpi hopean ja nanohopean käyttöä lääketieteessä.

Taulukko 3. Kaupallisia, saatavilla ja käytössä olevia nanohopeaa sisältäviä tuotteita lääketieteessä. [15]

Commercially available medical products containing NS

Product	Company	Description	Clinical uses
Acticoat™	Smith & Nephew	Nanocrystalline silver wound dressing	Dressing for a range of wounds including burns and ulcers; prevents bacterial infection and improves wound healing.
Silverline®	Spiegelberg	Polyurethane ventricular catheter impregnated with NS	Neurosurgical drain of CSF for hydrocephalus. Also can be adapted for use as shunts. Antibacterial silver NP coating prevents catheter-associated infections.
SilvaSorb®	Medline Industries and AcryMed	Antibacterial products: hand gels, wound dressings, cavity filler	Wound dressings and cavity filler prevent bacterial infection. Hand gels used to disinfect skin in clinical and personal hygiene purposes.
ON-Q SilverSoaker™	I-Flow Corporation	Silver-NP-coated catheter for drug delivery	Delivery of medication (e.g. local anesthetics or analgesics) per-, peri- or post-operatively for pain management or for antibiotic treatment.

Nanohopean toksisuuden aiheuttama mekanismi on laajasti tutkittu ja melko hyvin tunnettu tapahtuma, mutta lisää tutkimusta tarvitaan vielä tälläkin saralla, sillä myöskään nanohopean kokoon, muotoon ja yhdenmukaisuuteen liittyvää vuorovaikutusta toksisuuteen ei tunneta vielä täysin. Yleisesti uskotussa teoriassa hopeaionit ovat vuorovaikutuksessa bakteerin soluseinän, plasmamembraanien, bakteerin DNA:n sekä proteiinien kanssa aiheuttaen näille antibakteerisia vaikutuksia. [15] Liitteessä 9 kuvataan tarkemmin tämä antibakteerinen mekanismi.

Nanohopealla ja nanohopeayhdisteillä on jo olemassa paljon erilaisia sovelluksia ja potentiaalia on vielä käyttämättä, mutta asia vaatii vielä paljon tutkimusta. Nanohopeapartikkelien antibakteerisen mekanismin biologisista vaikutuksista ihmisoluja vastaan ei vielä täysin ymmärretä. EU:ssa ei ole nanohopeaa koskevia rajoituksia, mutta asiaan on kiinnitetty huomiota. Suurin huoli liittyy hopean turhaan käyttöön. Tämä voi johtaa mikrobien hopearesistenssin yleistymiseen, mikä vähentää hopean tehoa lääketieteellisissä sovelluksissa (haavasiteet). [16; 38]

3.4 Sinkkioksidi

Sinkkioksidi on sinkin ja hapen muodostama yhdiste. Nanotasolle mentäessä se on hyvin samantyylinen yhdiste, kuin titaaniidioksidi ja sitä käytetään laajasti muun muassa aurinkovoiteissa, maaleissa ja kosmetiikkateollisuudessa. Yhdiste pystyy absorboimaan tehokkaasti auringon UV-säteilyä ja on ympäristöystävällinen ja vähätoksinen yhdiste. [10]

Nanokokoisten sinkkioksidipartikkelien on tutkimuksissa todettu olevan antibakteerisia monille eri bakteereille, mutta yhdisteen antibakteerisen mekanismin toimintatapaa ei vielä täysin tunneta. Samalla tavalla, kuin nanohopean kanssa, vapautuvien sinkki-ionien arvellaan osallistuvan antibakteeriseen mekanismiin, mutta tästä ei ole saatu vielä täyttä varmuutta. Partikkelikoon vaikutuksesta antibakteerisuuteen on saatu ristiriitaisia tuloksia. Toisen tutkimuksen mukaan pienet hiukkaset olivat myrkyllisempiä suurempiin partikkeleihin verrattuna, mutta toisessa tutkimuksessa eroja ei löytynyt partikkelien koon ja toksisuuden välillä. [10] Sinkkidioksidi on paljon tutkittu yhdiste ja yleisesti käytössä muun muassa kosmetiikkateollisuudessa, mutta pinnoitteiden osalta on raportoitu vain vähän tietoa ja käytännön sovelluksista on myös niukasti raportoitua tietoa.

3.5 Nanopinnoitteiden hyödyntämismahdollisuudet elintarvikealalla

Nanopinnoitteiden käyttökohteet on ryhmitelty sekundääripintoihin ja kontaktimateriaaleihin. Sekundääripintoja ovat tuotantolaitoksen pinnat, jotka eivät ole suorassa kontaktissa elintarvikkeisiin. Esimerkkinä toimivat säiliöiden ulkopinnat, pakattujen tuotteiden hihnat ja kuljettimet, ilmanvaihtojärjestelmät sekä seinät. Kontaktimateriaalit, kuten säiliöiden sisäpinnat taas koskettavat valmiita tuotteita tai niiden valmistamiseen käytettäviä raaka-aineita. Mikäli nanopinnoitetta halutaan käyttää kontaktimateriaalina, täytyy pinnoitteen elintarviketurvallisuus selvittää tarkasti. [17]

Elintarviketeollisuuden ja koneenvalmistajien haastatteluista kerättyjä sekundääripintojen/pinnoitteiden käyttökohteita ovat esimerkiksi kuljetinhihnojen pinnat pakatuilla tuotteilla, juustomuotin käsittelylinjasto, ilmastointikanavat, joihin kertyy rasvaa, korkealla olevat pinnat, joita on muuten vaikeampi puhdistaa sekä sähkökeskusten pinnat, joita ei voi pestä vaahtopesuaineella. Kontaktimateriaalien käyttökohteita ovat muun muassa levylämmönvaihtimet pastöroinnissa, leikkuupöytien pinnat ja putkistojen kuolleet kulmat. [17] Taulukossa 4 on esitetty nanomateriaalien mahdollisia hyötyjä elintarviketeollisuudessa.

Taulukko 4. Taulukossa on esitetty nanomateriaalien teoreettisesti mahdollisia käyttökohteita elintarviketeollisuudessa. [17]

Hyöty elintarvikelaitoksella	Nanomateriaali	Käyttökohte-esimerkki
Hygieenisuus parantuu elintarviketuotannossa ja mikrobikontaminaatioiden riski pienenee	Antimikrobinen pinnoite	■ Pinnoitus paikoissa, joissa puhdistettavuus on hankalampaa (ei voida käyttää vaahtopesuainetta tai pintaan on vaikea ulottua)
Hygieenisuus ja siisteys parantuvat elintarviketuotannossa, pesumenetelmät voivat olla miedompia, edullisempia tai helpompia	Likaa hylkivä pinnoite	■ Pinnoitus paikoissa, joissa puhdistettavuus on hankalampaa (ei voida käyttää vaahtopesuainetta tai pintaan on vaikea ulottua)
Energiätehoisuus tuotannossa kasvaa ja energiakustannukset alentuvat	Nanoeriste	■ Kohteet, joissa tarvitaan tehokasta eristystä ja energiansäästö ylittää eristeen investointikustannukset (mahdollisesti pakastevarastot lämmitetyssä tilassa) ■ Kylmävarastojen ovet ja luukut, joita ei rakennusteknisistä syistä voida eristää yhtä paksusti
Ohuemmalla eristepaksuudella saadaan lisää säilytysalaa tilarajoitteisissa kohteissa	Nanoeriste	■ Tilarajoitteiset kylmäsäilytyskohteet
Nanomateriaali toimii passiivisena turvaratkaisuna sähkökatkon aikana (perinteisiä materiaaleja tehokkaampi eristys)	Nanoeriste	■ Pakasteiden säilytyspaikat, kuten kylmävarastot ja kuljetusautot
Koneenosien käyttöikä kasvaa, ja huoltoväli pitenee	Kulutuskestävyyttä kasvattava ja kitkaa alentava pinnoite	■ Akselit, laakerit
Voiteluaineista päästään eroon	Kitkaa alentava pinnoite	■ Aiemmin voiteluainetta tarvinneet koneenosat

Nanopinnoitteiden käytössä elintarviketeollisuudessa on monia rajoitteita, jotka on tunnettava tarkasti ennen pinnoitteiden mahdollista käyttöä tuotantolaitoksissa. Tärkeimpänä yritysten kannalta on varmistaa, että elintarviketurvallisuus säilyy asianmukaisella tasolla. Ennen kuin nanomateriaalia voidaan käyttää tuotantolaitoksissa, täytyy vertailutietoa nanomateriaalien hyödyistä olla perinteisiin jo käytössä oleviin materiaaleihin verrattuna. Osalla elintarvikeyrityksistä on suurasiakkaita, jotka ovat päättämässä tuotantoprosessiin tehtävistä muutoksista aina materiaalivalinnoista alkaen. Tämä voi muodostua esteeksi nanomateriaalien käyttöönotolle. [17]

Nanomateriaalien pesunkestävyys on tärkeää elintarviketuotannossa sekä tieto materiaalien kuumen- ja kylmänsietokyvystä. Elintarvikkeiden tuotantolaitoksilla lämpötilat vaihtelevat pakkasolosuhteista (noin -30 °C) aina kuumaan vesihöyryyn (noin 150 °C). Lämpötilavaihtelujen lisäksi käytetään suljetussa pesukierrossa erilaisia pesuaineita, joiden pH vaihtelee erittäin happamasta hyvin emäksiseen. Monia pintoja pestään myös emäksisillä vaahtopesuaineilla. Lisäksi joihinkin pesukohteista saattaa kohdistua mekaanista hankausta tai painetta. [17]

3.6 Esimerkkejä tiedossa olevista nanopinnoitesovelluksista desinfiointiin ja mikrobin hallintaan elintarviketeollisuudessa

USA:ssa toimiva Industrial Nanotech Inc. valmistaa eristeenä käytettävää nanokomposiittia rakennusteollisuuteen sekä laitevalmistukseen. Komposiitti levitetään nesteinä halutulle pinnalle, johon muodostuu ohut kalvo. Tuotteen valmistajan mukaan eristämisen lisäksi kalvo suojaa homekasvustoilta ja korroosiolta. Elintarviketeollisuudesta komposiitin valmistaja on julkaissut muutaman esimerkin. Esimerkiksi karibialaisen välipalavalmistajan Holiday Snacks Ltd:n tuotantotiloissa kuumia pintoja käsiteltiin nanokomposiitilla, jotta nähtäisiin komposiitin eristävä vaikutus. Muun muassa uunissa ja maapähkinöiden kuivaajassa, jotka olivat käsitelty nanokomposiitilla, pintalämpötilat laskivat keskimääräisesti 17,5 %. [17]

Bioni USA on nanopinnoitevalmistaja, joka on kehittänyt yhdessä Fraunhofer-Gesellschaft-tutkimusinstituutin kanssa vesipohjaisen ”Bioni System Food”-pinnoitteen, joka on tarkoitettu juoma- ja elintarviketeollisuuteen seinä- ja kattopinnoille parantamaan hygieenisyyttä. Pinnoite koostuu kahdesta pohjakerroksesta ja nanorakenteellisesta pintakerroksesta. Pintakerros estää uuden mikrobikasvuston synnyn ja pohjakerros tuhoaa seinäpinnoilla valmiiksi kasvavaa biofilmiä. [17]

Diageon panimoilla Iso-Britanniassa ja Irlannissa on saatu tuotteesta käyttökokemuksia usean vuoden ajan. Pinnoitteella on maalattu seiniä niin tuotanto- ja varastotiloissa kuin myös henkilökunnan toimistoilla. Nanopinnoitteen käyttöönoton jälkeen on saatu monia tuotannollisia parannuksia. Kokonaisbakteerien määrä pinnoilla on vähentynyt sekä hygieniä- ja makuhaittoja aiheuttavien homeiden määrä on vähentynyt huomattavasti. Nykyisin panimoilla säästetään puhdasta käyttövettä, pesuaineita ja jätevedenpuhdistuskustannuksia, sillä pesukerrat ovat vähentyneet. Aiemmin seinät puhdistettiin kerran viikossa, mutta nykyisin seinien pesu jopa kerran kolmessa viikossa riittää. Seiniä ei myöskään enää tarvitse maalata joka vuosi, vaan nanopinnoitteelle riittää uusiminen kolmen vuoden välein. Nanopinnoitteen heikkoutena on raportoitu heikompi korroosionkesto. [17]

Diageon panimolla tehtiin käyttökoe ennen pinnoituksen ostoa. Tässä kokeessa pinnoitteen suojausteho varmistettiin ja todennettiin. Samalla kerättiin tietoa ympäristön olosuhteista, kuten lämpötilasta, pesutavasta ja paineesta sekä erilaisista seinämateriaaleista. Tämän perusteella jokaiseen käyttöympäristöön valittiin sopiva pinnoitevalinta.

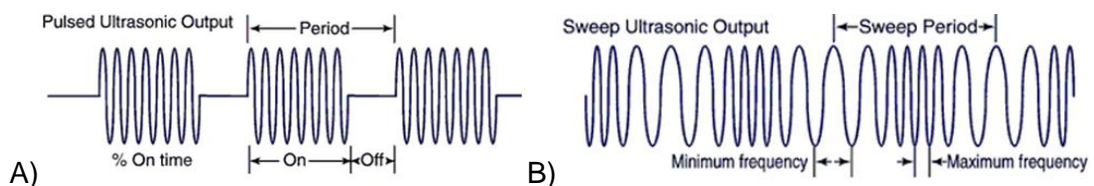
[17] Liitteessä 10 on esitetty erilaisten nanomateriaalien nykyisiä- ja mahdollisia tulevaisuuden käyttösovelluksia.

4 Ultraäänipuhdistus

Ultraääni on atomien muodostamaa mekaanista, korkeataajuuksista aaltoliikettä, joka tarvitsee edetäkseen jonkin väliaineen. Ultraäänien taajuus on ihmisen kuuloalueen yläpuolella. Ultraääni voi olla pienitehoista ja korkeataajuisia tai suuritehoista ja matalataajuisia. Puhdistuksessa käytetään laajasti suuritehoista ja matalataajuisia ultraääntä. Erityisesti teollisessa ultraäänipuhdistuksessa käytetään taajuusalueita 20 kHz–200 kHz. [1; 4; 18]

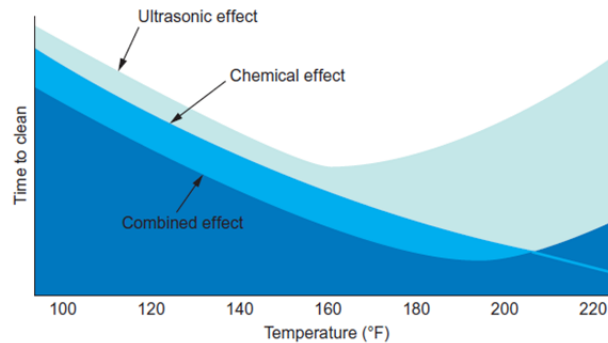
Ultraäänipuhdistuksessa puhdistettava kappale laitetaan pesunesteeseen, johon muodostetaan samaan aikaan ultraäänitaajuisia värähtelyä. Puhdistuminen ei tapahdu suoraan värähtelyn johdosta, vaan ultraäänien aiheuttaman kavitaation vaikutuksesta. Kavitaatio muodostaa tarpeellisen mekaanisen energian, joka poistaa likaa yhdessä muiden pesuparametrien kanssa. Väliaineena käytetään vettä, johon lisätään tarpeen mukaan pesuainetta. [4]

Ultraäänipesuissa voidaan käyttää erilaisia taajuus- ja amplitudiyhdistelmiä. Pulssittaisessa ultraäänipuhdistuksessa ultraäänigeneraattori tuottaa jaksoittain ultraääntä, jonka energia on päällä ja pois päältä vuoronperään. Niin sanotussa pyyhkäisevässä ultraäänipuhdistuksessa taajuus voi muuttua usean sekunnin välein, jopa satoja kertoja sekunnissa ja voi vaihdella useista kHz:stä aina useaan kymmeneen ja jopa sataan kHz:iin. [19] Kuvan 5 A)- ja B-osat selventävät näiden kahden ilmiön eroja.



Kuva 5. A-kohdassa pulssittaisessa ultraäänessä nähdään, miten ultraäänigeneraattori tuottaa jaksoittain ultraääntä. Kohdassa nähdään, milloin laite tuottaa ultraäänien energiaa ja hetket, jolloin laite ei tuota energiaa lainkaan. B-osassa nähdään, kuinka taajuus vaihtelee suuresti niin kutsutussa pyyhkäisevässä ultraäänipuhdistuksessa. Generaattori tuottaa vaihtelevaa ultraäänitaajuutta, josta voidaan erottaa minimi- ja maksimitaajuus. [19]

Ultraäänipuhdistuksessa pesutulokseen vaikuttavat aika, käytettävä pesuaine, lämpötila sekä puhdistuksessa syntyvä mekaaninen energia, joka riippuu kavitaatiokuplien koosta. Näiden tekijöiden painoarvon pesussa määrittää poistettavan lian ominaisuudet sekä puhdistettava kappale. [2; 18] Kuvassa 6 esitetään suuntaa antava puhdistusaika lämpötilan funktiona.



Kuva 6. Puhdistusaika on esitetty lämpötilan funktiona. Kuvasta nähdään ultraäänien vaikutus, käytetyn pesukemikaalin vaikutus sekä niiden yhdistetty vaikutus erilaisissa lämpötiloissa Kuvan mukaan maksimaalinen kavitaatiovaikutus muodostuu noin 160 Fahrenheitissa eli noin 70 °C:ssa. Pesukemikaalit toimivat eri lämpötiloissa eri lailla, joten kuva on suuntaa antava kokonaisvaikutuksen osalta. [18]

Vaikka lämpötilan nostaminen parantaa perinteisesti puhdistustehoa, ultraäänipuhdistus on tehokkaimmillaan keskisuurilla lämpötiloilla. Lämpötilan muuttuminen vaikuttaa viskositeettiin ja kaasun liukoisuuteen nesteessä. Viskositeetti ja kaasu heikentävät kavitaation voimakkuutta. Jos tehokkuutta ja lämpötilaa vertaillaan kuvaajilla, jokaisella pesuaineyhdisteellä on oma kapea, optimaalinen lämpötila-alueensa, jossa kavitaatio ja puhdistus ovat parhaimmillaan. Paras tapa on käyttää pesuainetta sen suurimmalla suositellulla lämpötilalla, ensisijaisesti lämpötila-alueella 50–70 °C, mutta ei ylittäen 85 °C:tta. [20]

4.1 Kavitaatio

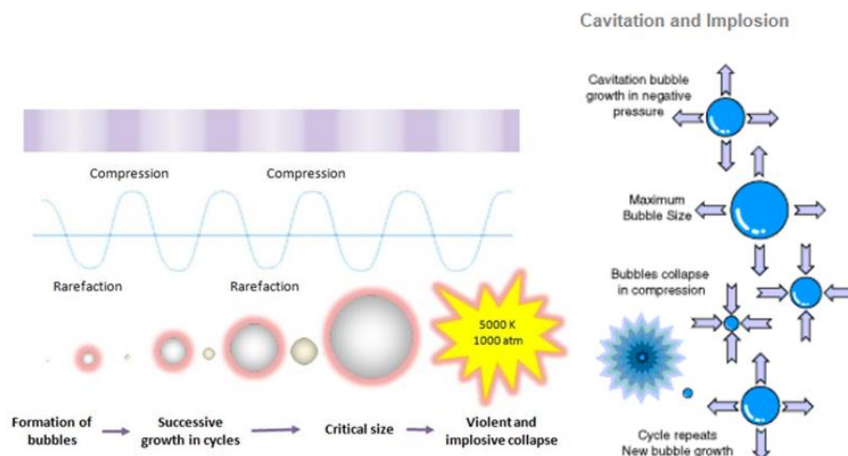
Kavitaatioksi kutsutaan fysikaalista ilmiötä, jossa nesteeseen syntyy hyvin pieniä kaasun, höyryn tai niiden seoksen täyttämiä pieniä alipaineisia kuplia. Ultraäänipesun vaikutus perustuu kavitaatioon, joka poistaa pintoihin koheesio- ja ionivoimilla kiinnittyneitä hiukkasia. Likaa irrottava vaikutus perustuu nesteeseen syntyvistä yli- ja alipainealueista, jotka irrottavat likaa ja aiheuttavat kavitaation avulla vaurioita myös mikrobien soluseinissä. [1; 2]

Kavitaatio voidaan jakaa seisovaan- ja ohimenevään kavitaatioon. Ohimenevässä kavitaatiossa kaasukuplien luhistumisen vaikutus on hyvin voimakas ja lyhytaikainen. Seisova kavitaatio on puolestaan mekaaniselta vaikutukseltaan heikkoa. Tässä syntyvät kaasukuplat värähtelevät ultraäänikentän mukaisesti ja värähtelyssä syntyvät mikrovirtaukset kykenevät rikkomaan mikrobin solukalvoja. [1]

Pesuliuoksen ominaisuudet määräävät kaasukuplien liikkumisen nesteessä ja kuplien kasvunopeuden. Nesteen viskositeetti ja kaasupitoisuus, pintajännitys sekä nesteeseen liuenneen kaasun paine vaikuttavat kavitaation kehittymiseen ja kavitaation aiheuttaman mekaanisen energian vaikutuksiin pestävän kappaleen pinnalla. [18]

4.2 Kavitaatiomekanismi

Kaasukuplat alkavat kasvaa vasta tuhansien ultraääniaaltojen aiheuttamien värähdysten jälkeen. Värähtelevät kuplat luovat ympärilleen pyörteitä ja osa kaasukuplista kiinnittyy ultraäänikenttään. Kun ympäröivä neste liikkuu, muodostuu voimakkaita leikkausvoimia kaasukuplien ympäristöön. Pyörteet ja liikkeet muodostavat hankaavan efektiin, joka irrottaa likaa ja aiheuttaa mikrobin tuhoutumista. [1] Kuvassa 7 havainnollistetaan kavitaatiomekanismia.



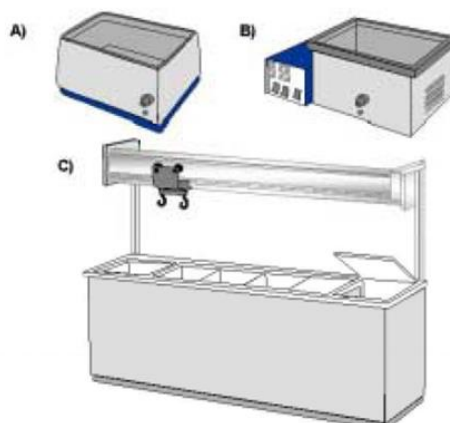
Kuva 7. Vasemmanpuoleisessa kuvassa nähdään kaasukuplan kasvaminen ja äkillinen luhistuminen nesteessä. Kuvassa nähdään, kuinka kaasukupla kasvaa, kunnes saavutetaan kriittinen piste ja kupla luhistuu äkillisesti, jolloin muodostuu noin 100 000:n kPa:n suuruisen paikallinen paine ja hetkellinen noin 4700 °C:n lämpötila. Oikeanpuoleisessa kuvassa kavitaatiosta aiheutuvan kaasukuplan kasvaminen ja luhistuminen. Kavitaatioilmiötä esiintyy, kun kaasunpaine alenee nesteen "murtuessa" ääniaallon aiheuttaman negatiivisen paineen vuoksi. Ultraäänipuhdistuksen teho perustuu kaasukuplien äkilliseen luhistumiseen. [1; 19; 21]

Kuplien törmätessä toisiinsa, syntyy kavitaatiossa törmäysten yhteisvaikutuksesta jatkuvasti muuttuva kavitaatiokenttä, johon voi muodostua jopa yhden GPa:n suuruisia paineita sekä jopa noin 4700 °C:n lämpötila-alueita. [1]

4.3 Ultraäänipuhdistajan perusosat

Ultraäänipesuri koostuu ultraäänigeneraattorista, pesualtaasta, johon pestävä kappale upotetaan sekä värähtelijästä. Generaattori muuttaa normaalin verkkovirran (230 V, 50 Hz) suurijännitteiseksi ja suuritaajuiseksi sähköenergiaksi. Jännite nostetaan 600–700 V ja taajuus noin 30:een kHz. [4]

Allas on valmistettu yleisesti ruostumattomasta teräksestä. Varusteina altaissa on muun muassa termostaattiohjatut lämmitys-, täyttö- ja tyhjennysventtiilit, erilaisia turvalaitteita sekä lämpö- ja äänieristys. Altaassa olevan nesteen painon tulee olla ainakin kolme kertaa pestävien kappaleiden paino, jotta väliaineeseen muodostuu riittävä kavitaatio. [4] Kuvassa 8 on kolme erilaista esimerkkiä käytössä olevista pesualtaista.



Kuva 8. Kuvassa on esimerkkejä erilaisista käytössä olevista ultraäänipesualtaista. A) Pieni allas, jossa kaikki elementit ovat allasrakennelmassa suojakennon sisällä. B) Pieni allas, jossa ultraäänielementit ovat altaan ulkopuolella. C) Useiden ultraäänialtaiden muodostama rakennelma automatisoidussa pesuprosessissa. [1]

Laitteen värähtelijän tehtävänä on muuttaa sähköinen energia mekaaniseksi energiaksi, joka johdetaan pesualtaassa olevaan väliaineeseen. Pienissä puhdistuslaitteissa värähtelijä on kiinnitetty altaan seinämiin tai pohjaan. Suuremmissa laitteissa käytetään niin sanottuja uppovärähdyskoteloida. Uppovärähtelijä on vesitiivis kotelo, joka on upotettu nesteeseen. [4; 18]

4.4 Pesunesteet ja kemia

4.4.1 Ultraäänipuhdistuksessa käytettävän pesunesteen haluttuja ominaisuuksia ja kemiaa

Puhdistuksessa käytettävien pesukemikaalien ominaisuudet ovat tärkeitä lopputuloksen kannalta. Valitun kemikaalin tulee olla puhdistettavan pinnan kanssa reagoimaton ja sen on pystyttävä poistamaan haluttu lika pinnalta ultraäänen ja väliaineen yhteisvaikutuksen kanssa. Jos pinnalla on liukoisia epäpuhtauksia, tulee valitun pesuaineen pystyä liuottamaan haluttu lika. Jos epäpuhtaudet ovat kiinteitä, tulee valitun pesunesteen pystyä tunkeutumaan likapartikkeleihin ja ympäröimään lika sen poistamiseksi. Puhdistusaine ei myöskään saa aiheuttaa merkittäviä kavitaatiohäviöitä pesun aikana. Puhdistavan liuoksen pitäisi mahdollistaa ultraäänialloille hyvä läpäisykyky, eikä niinkään tähdätä korkeisiin pitoisuuksiin ja lämpötiloihin. Parhaimmillaan pesuaineen tulisi tehostaa kavitaation syntymistä ja kuplien luhistumisprosessia. [18; 19; 20, s. 473–476]

Ultraääniaaltojen mekaaninen voima syntyy pintaa vasten tapahtuvasta luhistumisesta ja aaltojen läpäisykyvyn ansiosta luhistumisvoima pysyy yllä. Tästä syystä kemiallisten tekijöiden tai fyysisten esteiden (mikrokokoinen vaahto) ei tulisi heikentää luhistumisenergiaa. Tehokkaan kavitaation saavuttamiseksi puhdistusnesteen tulisi sisältää liuenneita kaasuja mahdollisimman vähän, sillä liuenneet kaasut vapautuvat kavitaatiovaiheessa. Kaasujen vapautuminen heikentää luhistumisen voimaa ja johtaa huonompaan pesutehoon. Mahdollisimman tehokkaan pitoisuus- ja lämpötilavälin selvittämiseksi on tehty laboratoriokokeita. [20, s. 473–476]

Ultraääniaaltojen johtokyvystä tiedetään joitakin oleellisia asioita. Pesuaineen epäorgaaniset aineet (muun muassa natriumhydroksidi, kaliumkarbonaatti, mineraalihatot ja kompleksinmuodostajat) eivät mahdollista ultraääniaaltojen saavuttaa parasta tehoaan. Esimerkiksi natriumhydroksidi saavuttaa parhaan puhdistustehonsa vain, jos se formuloidaan yhteen kostuttavien, pintajännitystä alentavien tensidien kanssa. Tensidien soveltuvuus ultraäänisovelluksiin täytyy tutkia tapauskohtaisesti. Kostuttavien, pintajännitystä vähentävien tensidien vaikutus ennenaikaisen kavitaation estämisessä on niin suuri, että tensidien parantama puhdistusteho kumoaa niistä mahdollisesti aiheutuvien ylimääräisten kaasujen negatiiviset vaikutukset, vaikka kaasujen syntymisen estämistä pidetään itsessään merkittävänä tekijänä. [20, s. 473–476]

Jotkin suihkepesusovellukset, liuotin-vesi emulsiot ja monet hiilivetyliuottimet ovat huomattavimpia esimerkkejä kohteista, jotka eivät aiheuta kavitaatiota ja kavitaatiosta aiheutuvien kuplien luhistumista. Suhteellisen korkean höyrynpaineen uskotaan olevan syy kavitaation puutteeseen näissä tapauksissa. [18]

Joidenkin puhdistusaineiden käyttö saattaa vaatia ultraäänipesuriin erityisiä vaatimuksia, jotta päästään haluttuun pesuvaikutukseen. Puhdistuksessa käytettävällä lämpötilalla on suuri merkitys käytettävän kemikaalin kannalta, sillä jotkin pesukemikaalit vaativat maksimaalisesti toimiakseen korkeamman lämpötilan ja jotkin toimivat paremmin alhaisemmissa lämpötiloissa. [19]

4.4.2 Yleisesti puhdistuksessa käytettävien pesuaineiden jako ryhmittäin

Pesuaineet jaetaan kolmeen ryhmään. Nämä ryhmät ovat haihtuvat orgaaniset liuottimet, huonosti haihtuvat liuottimet sekä vesipohjaiset pesuaineet. Haluttu pesuteknikka määräytyy ryhmävalinnan mukaan. Orgaanisia liuottimia ovat esimerkiksi erilaiset klooratut liuottimet, kuten trikloorietyleeni, metyleeni-kloridi sekä perkloorietyleeni. [4]

Palavat orgaaniset liuottimet, kuten asetoni, isopropyylialkoholi sekä metanoli ovat syttymisvaaran vuoksi hankalia käyttää. Myös huonosti haihtuvat liuottimet, esimerkiksi terpeenit ja erilaiset hiilivedyt ovat tehokkaita, mutta hankalia käyttää syttymisvaaran vuoksi. [4]

Vesipohjaiset pesuaineet lienevät tutuin ryhmä yleisellä tasolla. Ne yleistyvät myös teollisissa pesuprosesseissa. Pelkkä vesi ei liuota kaikkea likaa, joten veden ominaisuuksia joudutaan muuttamaan lisäaineilla. Esimerkiksi erilaiset lisätyt pinta-aktiiviset aineet kääntävät hydrofobisen (vettä hylkivän) puolensa rasvaan päin ja hydrofiilisen (veteen liukenevan) päänsä veteen päin. Näin myös veteen liukenemattomat aineet saadaan liukenemaan veteen. [4]

Alkalisia eli emäksisiä pesuaineita käytetään öljyjen ja rasvojen poistoon. Happamilla pesuaineilla poistetaan ruostetta ja hapettumia. Neutraalit pesuaineet soveltuvat herkien materiaalien puhdistamiseen. Neutraaleita pesuaineita käytetään melko paljon kodin yleispuhdistuksessa. Pesuaineiden valmistajat kehittävät etevissä määrin ympäristöystävällisempiä aineita, jotka hajoavat biologisesti mahdollisimman helposti. Suu-

rinta osaa pesuaineista voidaan käyttää tyydyttävällä tasolla ultraäänipesussa, mutta jotkin pesuaineet ovat suunniteltu juuri ultraäänipesua varten. [4; 18]

4.5 Ultraäänipesu vesipohjaisella pesuaineella

Pestävä kappale upotetaan pesualtaaseen joko sellaisenaan tai sopivassa korissa tai telineessä. Pesuaika on tavallisesti 2–5 minuuttia ja pesunesteen lämpötila 50–60 °C. Kappaleen asento vaikuttaa pesun lopputulokseen. Mahdollisesti muodostuvia ilmataskuja tulee välttää, sillä kavitaation vaikutus näkyy ainoastaan pinnoilla, joiden kanssa pesuneste pääsee kosketuksiin. [4]

Pesun jälkeen tehdään halutulle kohteelle huuhtelu erillisessä altaassa. Huuhtelu tapahtuu lämpimällä, ionivaihdetulla vedellä, jolloin varmistetaan läikätön huuhtelutulos. Huuhtelun vaikutusta voidaan tehostaa käyttämällä esimerkiksi nestepinnan alapuolella tapahtuvaa suihkutusta, ilmakuplia, liikuttamalla huuhdeltavaa kappaletta nesteessä tai yhdistelemällä näitä tekniikoita. Huuhteluvaiheita voi olla useita. Yleisesti huuhtelualtaat kytketään sarjaan ja huuhtelu etenee siirtymällä likaisemmasta nesteestä puhtaampaan päin. Suljetussa huuhtelujärjestelmässä nestettä voidaan halutessa kierrättää ja suodattaa siitä pois pesuainejäämiä sekä mekaanisia epäpuhtauksia. [4]

Lopuksi kappale kuivataan. Kuivaus voi tapahtua huoneilmassa tai esimerkiksi kiertoilmakuivaimessa, jolloin kuivaus tapahtuu hyvin nopeasti. Jos lämpötila halutaan pitää kuivauksen aikana matalana, kuivausta voidaan nopeuttaa tyhjiön avulla. Tyhjiökuivauksen etuna on se, että kuivattava kappale on käsiteltävissä heti kuivauksen jälkeen eikä erillistä jäähdytysaikaa tarvita. [4]

4.6 Ultraäänipuhdistuksen käyttökohteita

Ultraäänipuhdistuksella on lukemattomia käyttökohteita ja joskus se voi olla ainut toimiva keino saada haluttu esine puhtaaksi. Laboratorioissa käytetään ultraäänipesureita puhdistamaan erilaisia instrumentteja ja sairaaloissa herkkiä instrumentteja puhdistetaan ultraäänellä. Taulukossa 5 on listattu esimerkkejä ultraäänipuhdistuksen käyttökohteista niin teollisuudessa kuin arkisessa käytössä.

Taulukko 5. Taulukkoon on kerätty esimerkkejä käytössä olevista ultraäänipuhdistuksen käyttökohteista teollisuus- ja arkikäytössä. [4]

	ultraäänipuhdistuksen käyttö- alueita
ajoneuvohuolto	mm. generaattorit, venttiilit, turbiinit, suuttimet, kaasuttimet
ilmailu	mm. turbiinit, suodattimet, jarrujen osat, polttoainelaitteet
koneistus ja koneenrakennus	mm. leikkuu ja koneistus, hydraulikkaosat, pneumatiikka
huolto ja kunnossapito	mm. kaasuventtiilit, suodattimet, suuttimet, puristintyökalut
metalliteollisuus	mm. metallin leikkuu, pintakäsittely, lämpökäsittely, laadunvalvonta

Ultraäänikäsittelyllä on huomattavia etuja moniin pesumenetelmiin verrattuna. Se poistaa vaikeitakin epäpuhtauksia ja sopii herkillekin materiaaleille, jotka eivät kestä vahvoja puhdistusaineita. Lisäksi kavitaation ansiosta ultraäänipesuilla pystytään puhdistamaan tehokkaasti monimutkaisiakin koneenosia, joita ei muulla mekaanisella energialla saada välttämättä puhtaaksi. Taulukossa 6 on esitelty esimerkkejä ultraäänipuhdistuksen eduista ja käyttökohteista teollisuudessa.

Taulukko 6. Taulukossa on esitetty esimerkkejä ultraäänipuhdistuksen eduista ja käyttökohteista teollisuudessa. [22]

vaikeat mekaaniset epäpuhtaudet	kiillotusvaha, mikrosirut, kiinnipalanut hiili
herkät materiaalit	elektroniikka, korut, kiillotetut pinnat, instrumentit
monimutkaiset osat	elektroniikka, hydraulikkaosat, lentokoneiden osat, monimutkaiset valut
korkea puhtaus	elektroniikka, terveydenhuollon instrumentit, lentokoneiden osat, avaruusteknologia, elintarviketeollisuus
korkea automaatioaste	katkeamaton teollinen tuotanto, lyhyt käsittelyaika, vaaralliset kemikaalit, vaativat pesuprosessit, tasaisen laadun vaatimus
lyhyt käsittelyaika	suuri kapasiteetin tarve, langan ja nauhan pesu jatkuvatoimisessa prosessissa, herkät materiaalit

Elintarviketeollisuudessa ultraäänipuhdistusta käytetään melko vähän. Eniten sitä käytetään panimoteollisuudessa sekä meijeriteollisuudessa. Meijeriteollisuudessa pesua käytetään erityisesti erilaisten juustomuottien pesussa, sillä muoteissa on uria, joita on vaikea puhdistaa muilla pesumenetelmillä. Juustomuottien pesussa käytetään monesti tunnelipesutekniikkaa. Siinä puhdistettava materiaali upotetaan pesunesteeseen, johon ultraäänielementtien avulla luodaan voimakas ultraäänikenttä. Esimerkiksi niin sanotuissa tunnelilaatikonpesukoneissa käytetään heikompia pesutekijöitä, kuin juustomuottien pesuun tarkoitetuissa tunnelipesureissa. Lihateollisuudessa ultraäänipuhdistusta käytetään hyväksi puhdistettaessa esimerkiksi hankalasti pestäviä koneenosia sekä teurasruhojen kuljetuskoukkuja. [1; 2]

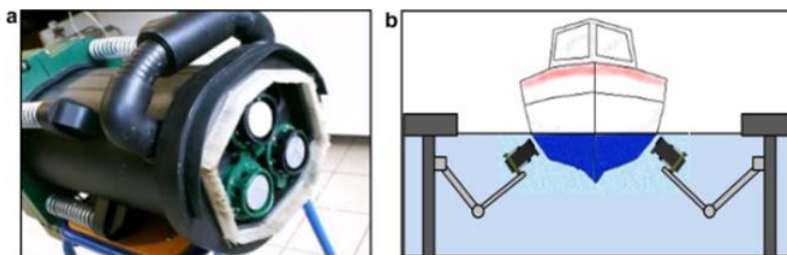
4.7 Ultraäänien käyttö veneen puhdistuksessa

Eräessä tutkimuksessa tutkittiin 15-metrinen laivan rungon puhdistusta ultraäänien avulla. Tämä tutkimus oli osa maailmanlaajuista hanketta, jossa haluttiin kehittää automaattinen, ultraäänipuhdistukseen perustuva itsepalvelupuhdistusasema. Ideana oli, että useampi puhdistuslaite liikkuisi veneen pintaa pitkin irrottaen lian ja keräävän sen imun avulla talteen. Hankkeen tavoitteena oli kehittää systeemi, jolla laivan puhdistamiseen

menisi noin kaksi tuntia. Tämä on huomattavasti vähemmän, kuin nykyisin käsin tehtävät laivanpuhdistukset, joissa kestää kaiken kaikkiaan noin kaksi päivää riippuen laivan koosta ja lian määrästä. Ultraääneen perustuvalla puhdistustekniikalla työ olisi huomattavasti nopeampaa, helpompaa ja halvempaa. [23]

Tällä hetkellä veneiden moottorit ja pohjat ovat työläisiä ja kalliita puhdistaa, sillä vene täytyy nostaa ylös vedestä toimenpiteen ajaksi. Lisäksi työ tehdään pääasiassa käsin painepesuria hyväksi käyttäen. Jotta vene pysyisi hyvässä kunnossa, tulisi veneen pohja puhdistaa kerran vuodessa. [23]

Tutkimuksessa käytettiin 20 kHz:n taajuutta, jotta pystyttiin käyttämään suurempaa tehoa- ja amplitudia eli värähdysliikkeen laajuutta. Ensimmäinen puhdistustehon testi tehtiin simpukoilla ja testissä mitattiin vain puhdistusaikaa ja ultraäänilaitteen etäisyyttä puhdistettavasta kohteesta. Tuloksista voitiin päätellä, että ultraäänilaitteen tulee olla hyvin lähellä puhdistettavaa pintaa, jotta kavitaation vaikutus toimii. Alustavista testeistä määritettiin tärkeimmät puhdistukseen liittyvät parametrit. Niistä tärkeimmät olivat ultraäänilaitteen etäisyys puhdistettavasta pinnasta, sekä sopiva puhdistusajonopeus. Yhdessä ultraäänipuhdistajassa käytettiin kolmea ”torvea” ja laitteen pyrkimyksenä oli kerätä myös puhdistuksessa tuleva lika talteen. Torvet oli sijoitettu kolmion muotoon, jotta puhdistuspinta-ala olisi mahdollisimman laaja. Kuvassa 9 on esitetty ultraäänipuhdistuslaite ja kuva siitä, miten kaksi laitetta puhdistaa laivan pohjaa. [23]



Kuva 9. A-kohdassa testeissä käytetty ultraäänipesuri, jossa näkyy kolme ”torvea”. B-kohdassa on luonnosteltu teoreettinen puhdistusasema kahdella ultraäänipuhdistajalla, jotka puhdistavat laivan runkoa molemmilta puolilta samaan aikaan. [23]

Alustavat testit osoittivat, että veneen puhdistaminen ultraäänellä on mahdollista ja tutkimuksen pohjalta pystyttiin optimoimaan puhdistusparametreja. Välimerellä kesällä tehdyssä *in situ* -kokeessa puhdistettiin onnistuneesti 15-metrinen vene. Tutkimuksia ja optimointia vaaditaan vielä, mutta kyseisen kokeen tulokset olivat jo lupauksia herättäviä. [23.] Veneen pohjan puhdistaminen osoittaa, että myös suurempia kappaleita pys-

tytään puhdistamaan ultraäänen avulla. Tätä voitaisiin mahdollisesti hyödyntää myös teollisuudessa.

4.8 Ultraäänipesun vertailua muihin pesumenetelmiin

Ultraäänipuhdistuksella on monia ominaisuuksia, jotka tekevät sen erittäin tehokkaaksi muihin pesumenetelmiin verrattuna. Kun halutaan puhdistaa kappaleita, joissa on runsaasti kanavia, mutkia, onteloita ja aukkoja, voi ultraäänipuhdistus olla jopa ainut toimiva keino puhdistamisessa. Tällaisia kappaleita ovat muun muassa hydrauliiikan komponentit sekä ajoneuvojen erilaiset osat. Hankalat epäpuhtaudet, esimerkiksi hiomavahnan poistaminen on yksi ultraäänipuhdistuksen sovelluksista. Jos pesuun liitetään mukaan oikeanlaiset pesuaineet, pystytään pesulla vaikuttamaan erittäin vastustuskykyisiin likakerroksiin. [4]

Pesukemikaalien tarve ultraäänilaitteessa on pienempi verrattuna muihin menetelmiin, sillä usein toimeen tullaan pienemmillä liuosväkevyyksillä. Pesuliuksen käyttöikä on myös pitkä, sillä sitä pystytään käsittelemään ja kierrättämään laitteistossa, jolloin säästetään ympäristön turhaa kuormittamista. Pesu on lisäksi nopea ja energiatehokas, jolloin energiaa kuluu vähemmän. [4]

Puhdistuskone tarvitsee huoltoa harvoin, sillä koneessa ei varsinaisesti ole pyöriä tai liikkuvia osia. Huollon tarve kohdistuu lähinnä ultraääni-generaattoriin. Koko laitteen elinikä riippuu pitkälti altaan ja värähtelijäelementtien kestosta. Kavitaatio aiheuttaa hidasta syöpymistä, mutta erityisesti vaikutus kohdistuu värähtelijään. Rajoituksena ultraäänipuhdistuksessa ovat tietynlaiset pehmeät materiaalit, sillä niiden pinta vaimentaa värähtelyn estäen kavitaation muodostumisen. Tällaisia tyypillisiä pehmeitä materiaaleja ovat kankaat ja pehmeät kumit. Myös niin sanottu pehmeä epäpuhtaus (silikonimassa, paksu vaseliinikerros) saattaa vaimentaa kavitaation kokonaan. [4]

4.9 Ultraäänipuhdistuksen tulevaisuus

Kotitalouksille on suunniteltu ultraäänipuhdistajia vaatteiden ja astioiden puhdistamiseen, mutta sitä ei ole konkreettisesti saatu realisoitua. Erityisesti vaatteiden puhdistamisesta ultraäänellä on tehty tutkimuksia, joista on saatua lupaaviakin tuloksia tiettyjen kankaiden kohdalla, mutta prosessissa on paljon rajoituksia. Tällä hetkellä astioiden

puhdistamiseen ultraäänellä vaadittaisiin enemmän vettä, pesuainetta ja energiaa nykyisiin astianpesukoneisiin verrattuna. Kotikäyttöön on nykyisin saatavilla pieniä ultraäänipesureita, joilla puhdistetaan esimerkiksi koruja sekä moottoriajoneuvojen pieniä osia. [18]

Ultraäänipesureiden käyttöä rajoittaa niiden korkeahko hinta. Ultraäänilaitteistojen, jotka toimivat perinteisemmällä taajuuksilla 20–70 kHz, kustannukset ovat pysyneet samansuuruisina useiden vuosikymmenien ajan. Korkeammilla taajuuksilla ja kehittyneemmällä säätömahdollisuuksilla varustettujen laitteiden hinta verrattuna niiden matalataajuisempiin vastineisiin selittyy niiden erikoisemmilla sovelluskohteilla. Korkeampi hinta erikoisemmissä sovelluksissa pohjautuu kalliimpien komponenttien ja laitteiston kehitykseen menneiden kulujen kattamiseen. [18]

Ultraääneen perustuvalla puhdistusteknologialla ei ole vielä kovinkaan merkittävää osaa elintarviketeollisuudessa, sillä teknologia tarvitsee vielä lisää investointeja ja käytökokemusta. Uusia, ultraääneen perustuvia puhdistustekniikoita kehitetään edelleen ja kehitys näyttää johtavan suuntaan, jossa uusissa ultraäänisovelluksissa käytetään paljon nykyistä, käytössä olevaa teknologiaa. Kehitys kohti tehokkaampia puhdistusyksiköitä tulee jatkumaan ja ultraäänipuhdistus tulee olemaan jatkossakin tärkeä osa monissa tuotantoprosesseissa. Oikein käytettynä teknologia säästää rahaa ja aikaa. Lisäksi monia pieniä, herkkiä tai monimutkaisia osia on äärimmäisen hankalaa pestä muilla menetelmillä. Uudet, kehitteillä olevat ultraääneen perustuvat puhdistusteknologiat ovat kuitenkin hyvin salaista tietoa ja uusimmista innovaatioista ei tietoa ole saatavilla. [18; 20, s. 473–476]

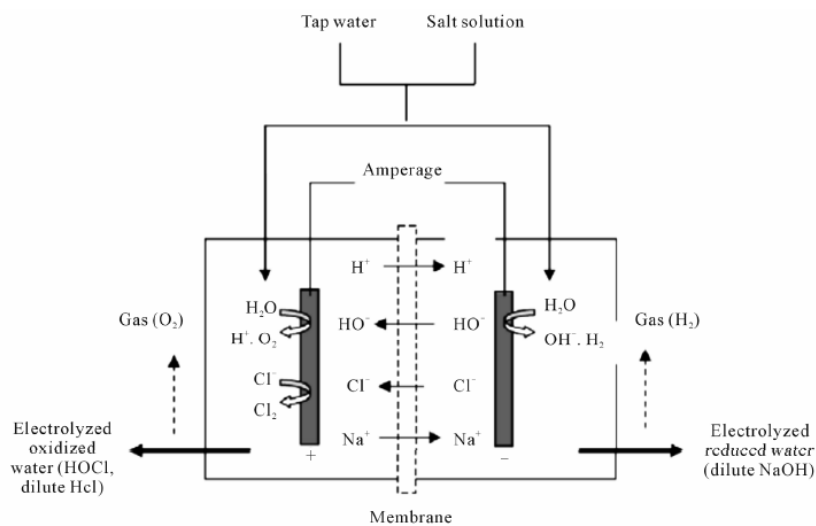
5 *In situ* -desinfektio menetelmiä: Elektrolyttinen vesi, klooridioksidi sekä peretikkahappo

Elektrolyttisen veden valmistus on esimerkki *in situ* -menetelmästä. *In situ* käsitteenä tarkoittaa prosessissa synnyttävää tai paikanpäällä tehtävää/valmistettavaa. Elektrolyttinen vesi on pehmeää- tai jopa hanavettä, johon on liuotettu yleensä puhdasta natriumkloridia (NaCl) eli ruokasuolaa. Liuos on erillisissä elektrolyysikennoissa, joihin johdetaan sähkövirtaa. Lopputuotteina katodilla ja anodilla syntyy emäksinen liuos (natriumhydroksidi NaOH) ja hapan liuos (hypokloorihapoke HClO), sekä happi-, kloori- ja vetykaasua (O₂, Cl₂, H₂). Elektrolyttisestä vedestä ja sen valmistusprosessista käytetään myös nimityksiä elektrolyttinen hapetettu vesi, funktionaalinen vesi ja elektro-

miallinen vesi sekä prosessista elektrolyyttinen desinfektio ja elektrokemiallinen desinfektio. [24, s. 527–529; 25; 26]

5.1 Elektrolyyttisen veden valmistusprosessi

Elektrolyysi on sähkövirran avulla aikaansaatu elektrolyyttien pakotettu hapetus-pelkistysreaktio. Yksinkertaisimmillaan elektrolyysikennossa on vain kaksi elektrodia, anodi ja katodi, joiden välissä on membraani, joka estää anodi- ja katodiliuoksia sekoitumasta keskenään. Useasti elektrolyysirakennelmat ovat kuitenkin suurempia ja koostuvat useasta rinnan kytketystä elektrodista ja elektrolyyttitilasta. Elektrodeissa käytettäviä materiaaleja on useita erilaisia, mutta eräs yleinen käytössä oleva elektrodimateriaali on platina. [25; 26] Kuvassa 10 on esitetty yksinkertainen elektrolyysikenno. Kuvasta nähdään myös elektrodeilla syntyvät lopputuotteet.



Kuva 10. Yksinkertainen elektrolyysikenno elektrolyyttisen veden valmistuksessa. Kuvassa on esitetty elektrolyysikenno, johon kuuluvat virtalähde, kaksi elektrodia sekä membraani, joka erottaa anodi- ja katodipuolet toisistaan. Kuvasta nähdään syntyvät tuotteet anodilla ja katodilla sekä liuoksessa elektrodien välillä liikkuvat ionit. [25]

Elektrolyyttisen veden valmistusprosessissa syntyy kahdenlaisia liuoksia. Anodilla syntyy hapan liuos, jolla on alhainen pH, korkea hapetus-pelkistyspotentiaali (oxidation-reduction potential ORP) ja joka sisältää vapaata klooria. Katodilla syntyy alkalinen liuos, jolla on korkea pH ja matala ORP. Alkalisen elektrolyyttisen vesiliuoksen pH vaihtelee välillä 10.0–12.0 ja ORP on keskiarvollisesti -500–900 mV. Happaman elektrolyyttisen vesiliuoksen pH vaihtelee 2.5–4 välillä, kun ORP on 1000–1300 mV. Lisäksi vapaan kloorin konsentraatio vaihtelee happamassa liuoksessa välillä 40–90 ppm

Jos liuos sisältää erilaisia aineita, matalamman hapettumispotentiaalin omaavat aineet hapettuvat ensimmäisenä anodilla ja korkeamman hapettumispotentiaalin aineet (eli vähemmän sähköistä työtä vaativat) pelkistyvät ensin katodilla. Elektrolyyttien ORP voi kuitenkin muodostaa systeemin, jossa anioni (Cl⁻) hapettuu hydroksidin sijaan ja kationi (Na⁺) pelkistyy vetyionin sijaan. Natrium- ja kloridi-ionien ORP lukeutuu tähän ryhmään, tehden kloorikaasun syntymisen kautta elektrolysoidusta vedestä sopivaa desinfektioon. [24, s. 527–529]

5.2 Elektrolyyttinen vesi hygieniassa ja desinfiointissa – Esitettyjä tutkimusteorioita reaktioista ja desinfiointitehoon vaikuttavista tekijöistä

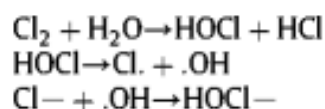
Elektrolyyttinen vesi sopii desinfiointiin ja puhdistukseen erinomaisesti. Desinfiointissa käytetään anodilla syntyvää hapanta elektrolyyttiliuosta. Syntyvän liuoksen HClO- ja Cl₂-pitoisuudet riippuvat liuoksen pH:sta. Kun pH on lähellä 2.5, liuos sisältää noin 85 % HClO:tta ja noin 15 % Cl₂:a. Yleisesti pH:n ollessa alle 4, yhä suurempi osuus kloorista on alkuainemuodossa. Kun pH on 4–5, kloorista suurin osa on hypokloorihapokemuodossa. Kun pH nousee yli viiden, suurempi osa kloorista alkaa olla hypokloriittimuodossa ja pH:n ollessa 7.5, on suurin osa kloorista ionisoituneena liuoksessa. Syntyvä HClO on heikko happo, mutta voimakas hapetin, minkä vuoksi se toimii erinomaisena desinfiointiaineena. Kloori toimii parhaiten biosidina, kun se on liuoksessa hypokloorihapokkeena. Hypokloorihapoke voi olla jopa 100 kertaa tehokkaampi biosidi, kuin hypokloriitti-ioni (OCl⁻). Klooriyhdisteiden antimikrobinen vaikutus on voimakkain happamassa liuoksessa, mutta ne ovat epästabiileja siinä. Sen vuoksi suurin osa kaupallisista hypokloriittiliuoksista tuottaa käyttöliuoksenaan alkalisen liuoksen. [2; 25]

Jos anodilla muodostuva liuos sekoitetaan katodilla muodostuvaan liuokseen, HClO neutralisoituu osittain natriumhypokloriitiksi (NaClO). Kun pH on lähellä neutraalia, liuos sisältää konsentraatioltaan suunnilleen yhtä paljon HClO:tta ja hypokloriitti-ioneita. Kun elektrolyysissä käytetään puhdasta vettä (pehmeää tai jopa vesijohtovettä) ja puhdasta natriumkloridia, muodostuu reaktiossa kemiallinen tasapainotila HClO:n ja sen suolan, NaClO:n välille. Elektrolyyttisen veden teho desinfiointissa perustuu pohjimmiltaan kloorin kahteen muotoon: hypokloorihapokkeeseen ja natriumhypokloriittiin. [24, s. 527–529]

Joidenkin tutkimusten mukaan HClO ja hypokloriitti-ionit muodostavat pH:sta riippuvan kemiallisen tasapainotilan anodilla reaktioyhtälön $\text{HClO} \leftrightarrow \text{ClO}^- + \text{H}^+$ mukaan. Veden

desinfiointissa hypokloorihapokkeen ja hypokloriitin summaa kutsutaan usein vapaaksi tai aktiiviseksi klooriksi. Yleisesti vapaan kloorin käsite tarkoittaa klooriyhdisteitä, jotka pystyvät toimimaan hapettimina. Vapaan kloorin puhdistava vaikutus perustuu atomisen hapen vapautumiseen seuraavien reaktioyhtälöiden mukaan: $\text{HClO} \rightarrow \text{O} + \text{Cl}^- + \text{H}^+$ ja $\text{ClO}^- \rightarrow \text{O} + \text{Cl}^-$. Puhdistuksen aikana, elektrokemiallisessa vapaan kloorin syntymässä kulutetut kloridi-ionit uudelleenjärjestyvät, eli elektrokemiallisessa vedenpuhdistuksessa veden kemiallinen kokonaisrakenne säilyy muuttumattomana. [26]

Vaihtoehtoisesti on esitetty tutkimuksia, joiden mukaan hydroksyyliiradikaaleja on havaittu useissa erityyppisissä elektrolyyttisissä vesissä, kuten myös natriumhypokloriittiliuoksissa. On raportoitu, että elektrolyyttisen veden OH-radikaalit syntyvät seuraavien reaktioiden kautta, joita kuva 13 havainnollistaa. [27]



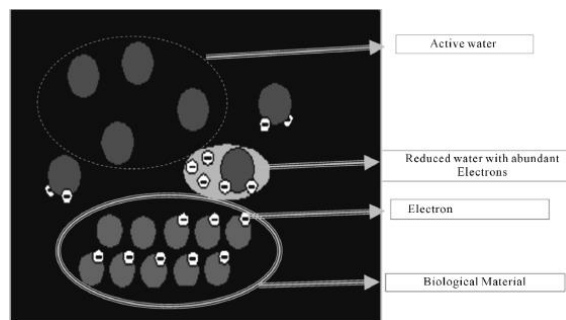
Kuva 13. Hydroksyyliiradikaalin syntyminen anodilla erään tutkimuksen mukaan. Reaktioyhtälöissä anodilla syntyy ensin kloorikaasusta ja vedestä hypokloorihapoketta ja suolahappoa. Hypokloorihapoke hajoaa liuoksessa, jolloin muodostuu hetkellisiä kloori- ja hydroksyyliiradikaaleja. Nämä radikaalit reagoivat keskenään ja muodostavat hypokloorihapoke-ionin. [27]

Näiden reaktioiden mukaan elektrolyyttisen veden hydroksyyliiradikaali voi muodostua vapaan kloorin ansiosta, mukaan lukien hypokloorihapokkeesta, hypokloriitti-ioneista ja kloorikaasusta. Eräässä tutkimuksessa klooriyhdisteiden olemassaolo johti lopulta väistämättä hydroksyyliiradikaalin syntyyn. Hydroksyyliiradikaalin lyhyen eliniän ja edellä mainitun tutkimuksen tulosten perusteella tutkijat päättelivät, että vapaan kloorin ja hydroksyyliiradikaalin pitoisuuksilla ei ole niinkään merkitystä elektrolyyttisen veden desinfektiotehokkuuden kanssa, vaan tärkeämmässä roolissa on klooriyhdisteiden rakenne. [27]

Tutkimuksessa useita kertoja laimennetuista happamasta- ja vähemmän happamasta elektrolyyttisestä vedestä voitiin kvantitatiivisesti havaita hydroksyyliiradikaaleja. Eri pH-arvoisten elektrolyyttisten vesien UV-skannausten ja erityyppisten elektrolyyttisten vesien desinfektioitehon perusteella tutkimuksen pohjalta todettiin, että vertaamalla matalamman klooripitoisuuden omaavaa elektrolyyttistä vettä perinteisiin klooripohjaisiin puhdistusaineisiin, hydroksyyliiradikaalia tärkeämpää elektrolyyttisen veden desinfektioitehon kannalta on klooriyhdisteiden rakenne. [27]

5.3 Elektrolyyttisen veden vaikutukset mikrobeihin

Elektrolyyttisellä vedellä on todettu monissa tutkimuksissa olevan erittäin inaktivoiva vaikutus erilaisia mikro-organismeja vastaan. Yleisesti bakteerit kasvavat pH-alueella 4–9. Aerobiset bakteerit kasvavat usein ORP-alueella 200:sta 800:aan mV:iin, kun anaerobiset bakteerit kasvavat hyvin -700:stä +200:een mV:iin. Elektrolyyttisen veden korkea ORP aiheuttaa bakteerien soluissa metabolisia muutoksia sekä ATP:n tuotannossa häiriöitä. Arvellaan, että vaikutukset johtuvat elektronivirtojen muutoksista soluissa. Lisäksi ajatellaan alhaisen pH:n herkistävän bakteerisolujen uloimman solukalvon niin että HClO pääsee bakteerisolujen sisään. Ehdotettuja tekijöitä solun kuoleman syyksi ovat muun muassa proteiinisynteesin häiriöt, erilaiset reaktiot nukleiinihappojen, puriinien ja pyrimidiinien kanssa sekä solun tärkeiden entsyymien kuoleman jälkeinen epätasapainoinen metabolia. [25] Kuvassa 14 on esitetty teoria antibakteerisesta mekaniismista liittyen elektronien muutoksiin mikrobisolussa.



Kuva 14. Esitetty teoria elektrolyyttisen veden antimikrobisesta toimintatavasta. Kuvassa on esitetty, kuinka hapettava tekijä nappaa elektroneita bakteerisolulta. Muutokset bakteerisolussa johtavat lopulta sen kuolemaan. [25]

Elektrolyyttisen veden korkea ORP ei liene antimikrobisen vaikutuksen päätekijä, sillä otsonoidulla vedellä on korkeampi ORP. Tästä huolimatta otsonoidulla vedellä ei näytä olevan korkeampaa desinfioivaa vaikutusta, kuin matalamman ORP:n sisältävällä elektrolyyttisellä vedellä. Tutkijoiden mukaan elektrolyyttisen veden vapaa kloori, joka pääasiassa koostuu hypokloorihapokkeesta, tuottaa vesiliuokseen hydroksyyli-radikaaleja, jotka vaikuttavat mikrobeihin. Otsonoidut liuokset tuottavat myös näitä radikaaleja. Suurempi HClO-konsentraatio elektrolyttisessä vedessä tuottaa enemmän OH^- radikaaleja, kuin otsonoitu liuos tarkoittaen parempaa desinfiointitehoa. Myös elektrolyyttisen veden suhteellinen molekylaarinen klooripitoisuus, hypokloriitti-ionit sekä Cl_2 ovat tekijöitä, jotka selittävät bakterisidista tehoa. [25]

Elektrolysoidulla vedellä voidaan tehokkaasti inaktivoida *Escherichia coli* O157: H7 -, *Salmonella enteritidis* - sekä *Listeria monocytogenes* -bakteereita. Erityisesti *E. coli* ja *L. monocytogenes* ovat tyypillisiä kontaminanteja elintarviketeollisuudessa. Bakteereita voidaan inaktivoida liuottamalla työvälineitä ja leikkuulautoja elektrolyytisessä vedessä. Jopa Staphylokokkiperaisen enterotoksiini-A:n on todettu inaktivoituvan elektrolyytisellä vedellä. Se on tehokas myös *Campylobacter jejuni* -bakteeria (esiintyy erityisesti siipikarjan ruhojen pesussa) vastaan ja *Staphylococcus aureus*- sekä *Staphylococcus typhimurium* -bakteereita (tuoreiden munien puhdistuksessa) vastaan. [24, s. 527–529]

Kun pH on 4–5, on HClO:n konsentraatio suurimmillaan elektrolyytisessä vedessä tarkoittaen parasta antibakteerista vaikutusta. Elektrolyytisen veden on todettu tutkimuksissa ja testeissä inaktivoivan erittäin tehokkaasti *Escherichia coli* O157; H7 ja *Listeria monocytogenes* -bakteereita laajalla pH-alueella (2.5–7.0), jos vapaan kloorin pitoisuus on ollut >2 mg/L. Kunkin klooriyhdisteen ORP ja antibakteerinen vaikutus kasvaa pH:n laskiessa tiettyyn pisteeseen saakka. Kaiken kaikkiaan tutkimusten mukaan elektrolyytisen veden antimikrobinen vaikutus perustuu vetyionikonsentraatioon, pH:n vaikutukseen, hapetus-pelkistys -potentiaaliin sekä vapaaseen klooriin. Tutkimuksissa päätekijänä reaktiossa arvellaan olevan ORP tai vapaan kloorin vaikutus, mutta tästä ei ole yksimielisyyttä [25; 27]

5.4 Elektrolyytisen veden ominaisuuksia

5.4.1 Elektrolyytisen veden etuja ja hyviä puolia

Elektrolyytisen veden suurin hyöty on sen vaarattomuus. Vaikka vesi luokitellaan vahvaksi hapoksi, se eroaa kuitenkin suola- ja rikkihaposta siinä, ettei se syövytä lyhyellä kontaktiajalla ihoa, limakalvoja tai muuta orgaanista ainetta. Vertailun vuoksi tällä hetkellä yleisesti desinfiointissa käytetty natriumhypokloriitti on osoittautunut vaaralliseksi, aiheuttaen esimerkiksi ihoärsytystä ja limakalvojen ärsytystä. [25]

Esimerkkinä esiin on otettu kanojen kasvattamot, joissa käytettävät desinfiointiaineet (monesti glutaraldehydi ja formaldehydikaasu) ovat haitallisia sekä ihmisille että kanoille ja muodostavat vakavan terveysriskin. Formaldehydin ja glutaraldehydin käyttöä rajoitetaan asteittain niiden ympäristölle- sekä ihmisille haitallisten vaikutusten vuoksi. Lähteen mukaan elektrolyytisellä vedellä on käyttöä myös ruuansulatuskanavien en-

doskooppien puhdistuksessa ja desinfiointissa potilaiden välillä, sillä se on turvallista ihmiskehölle ja ympäristölle. [25]

Elektrolyyttisen veden varastointiolosuhteet vaikuttavat sen kemiallisiin- ja fysikaalisiin ominaisuuksiin. Jos varastointi on avointa, valo aiheuttaa kloorihäviöitä. Umpinaisessa varastointiastiasa ja oikeassa lämpötilassa elektrolyyttinen vesi säilyttää tehonsa useita viikkoja, mutta veden teho on korkeimmillaan heti valmistamisen jälkeen. On raportoitu, että 4 °C:ssa säilytetty elektrolyyttinen vesi oli stabiilimpaa kuin 25 °C:ssa säilytetty. Yksi suuri etu elektrolyyttisellä vedellä on sen huomattavasti alhaisempi vapaa kloorin konsentraatio verrattuna muihin käytössä oleviin klooriyhdisteisiin, jolloin sitä on turvallisempaa käsitellä. Esimerkiksi paljon käytetyllä natriumhypokloriitilla vapaan kloorin konsentraatio on noin 200 ppm. [25; 27]

Elektrolyyttisen veden valmistushinta eri arvioiden mukaan on 0.05–0,08 €/L. Esimerkiksi 10 % kaupallisen hypokloriittiliuoksen hinta on noin 1 €/kg. Kun elektrolyyttinen hapan vesi joutuu kosketuksiin orgaanisen materiaalin kanssa tai sitä laimennetaan vesijohtovedellä tai käänteisosmoosivedellä, se muuttuu tavalliseksi vedeksi. Täten se on vaaratonta ympäristölle ja käyttäjien terveydelle. Lisäksi verrattuna muihin perinteisiin desinfektio menetelmiin, elektrolyyttinen vesi voi nopeuttaa desinfiointia, on helppoa käsitellä, omaa vain muutamia sivuvaikutuksia ja on hyvin halpaa. Lopputuotteen puhdistus on erinomainen. [25; 28]

Puhdistuksessa ja desinfektiossa käytettävät kemikaalit ovat verrattain kalliita ja ovat merkittävä käyttökulu teollisuudessa. Elektrolyyttisen veden tuottamiseen tarvittavan laitteiston hankintakustannusten jälkeen ainoat siitä aiheutuvat kustannukset ovat vesi, suola ja laitteen käyttöön tarvittava sähkö. [25; 28] Myös laitteiston huolto maksaa, riippuen laitetoimittajan kanssa sovitusta sopimuksista.

Erityisesti elintarviketeollisuudessa on paljon potentiaalia hyödyntää elektrolyyttisen veden desinfiointitehoa. Paikanpäällä valmistettavat desinfektio kemikaalit voivat mahdollistaa paremman puhdistustuloksen, sillä desinfektioaineet eivät olisi tekemisissä erilaisten apuaineiden kanssa. Kemikaalien varastointi, kuljetus ja käsittely ovat tarpeettomia, kun puhdistus tehdään elektrolyyttisellä vedellä. Prosessi on yleensä kustannustehokkaampaa verrattuna muihin desinfiointimenetelmiin, sillä kuuman veden käyttöä ei enää välttämättä tarvita tai sitä tarvitaan nykyistä vähemmän. Tuotantotehokkuutta voidaan myös kasvattaa, sillä CIP-pesuihin kuluva aika vähenee. Aineen annosteltavuutta pystytään säätämään ja CIP-pesujärjestelmän ohjausyksikkö voi-

daan ohjelmoida käyttämään elektrolyyttistä vettä tehokkaasti. Lisäksi elektrolyysilaitteisto mahtuu hyvinkin pieneen tilaan. Tehokas laitteisto on vain muutaman jääkaappipakastinyhdistelmän kokoinen. [25; 28]

5.4.2 Elektrolyyttisen veden negatiivisia puolia

Elektrolyysilaitteistoja on erilaisia, mutta yleisin käytössä olevin laitteisto on membraanikennolaitteisto. Toimiakseen hyvin laitteiston elektrodit täytyy pitää puhtaana ja membraani, joka erottaa anodin ja katodin toisistaan, täytyy vaihtaa säännöllisesti. Prosessissa syntyy myös ei-toivottuja kaasuja. Lisäksi elektrolyysilaitteisto on vielä verrattain kallis kertainvestointi, lisäksi sitä täytyy huoltaa ja kuluvia osia vaihtaa. [28] Jos elektrolyyttisen veden annostelujärjestelmään tulee häiriö, täytyy sen varalle olla jokin turvasysteemi. Täytyy olla varma, että pesun teho ei vaarannu häiriötilanteissa.

Elektrolyyttinen vesi kerää mainetta useissa eri sovelluskohteissa tavanomaisia kemiallisia desinfektioaineita parempana vaihtoehtona. Elektrolyyttiseen veteen liittyvät ongelmat, kuten kloorikaasupäästöt, metallien korrosio ja synteettisen hartsin hajoaminen happamuuden ja vapaan kloorin takia aiheuttavat huolta. Esiintyneestä korroosios- ta ja synteettisen hartsin hajoamisesta huolimatta ne eivät olleet vakavia tutkimukses- sa, jossa hemodialyysilaitteisto oli elektrolyyttisen veden käyttökohteena. Korroosiovai- kutuksista tarvitaan vielä lisää tutkimuksia. [25]

Lähteen mukaan elektrolyyttisellä vedellä ei ollut haittavaikutuksia ruostumattomaan teräkseen ja sitä voidaan edelleen käyttää turvallisesti desinfioidessa ruostumattomas- ta teräksestä tehtyjä ruuankäsittelypintoja. Korrosio voidaan välttää kokonaan pese- mällä välineet steriilillä vedellä desinfioinnin jälkeen. Korroosiota voidaan pienentää myös käyttämällä niin kutsuttua modifioitua elektrolyyttistä vettä, jolla on korkeampi pH. Elektrolyyttisen veden muodostumisprosessissa syntyy kloridi-ioneja ja siten vapautuu kloorikaasua. Tämä edellyttää tuuletinlaitteiston käyttöä. [25; 29]

5.5 Elektrolyyttisen veden käyttökohteita ja sovelluksia

Elektrolyyttisellä vedellä on paljon erilaisia sovelluksia ja lisää tutkitaan ja kehitetään jatkuvasti. Japanissa, jossa elektrolyyttinen vesi on tunnettu ja tutkittu jo useiden vuosi- kymmenten ajan, on monissa kotitalouksissa pieniä elektrolyysikoneita. Japanissa eri- tyisesti myös sairaalat käyttävät elektrolyysilaitteistoa desinfiointiin. [25]

Elektrolyyttinen vesi on tehokas menetelmä tuoreleikattujen tuotteiden desinfiointiin vähentäen huomattavasti tai jopa kokonaan aerobisia bakteereita, koliformeja, homeita sekä hiivoja, jotka vaikuttavat merkittävästi ruoan laatuun. Elektrolyyttistä vettä käytetään leikkuulautojen desinfiointissa sekä elintarvikelaitteiden ja välineiden desinfiointissa. Lisäksi vettä käytetään erilaisten hedelmien, vihannesten ja marjojen sekä raakatuotteiden desinfektiossa. Esimerkiksi tuoreita munia, siipikarjan ruhoja sekä erilaisia mereneläviä kaloista äyriäisiin pestään elektrolyyttisellä vedellä. [24, s. 527–529; 27; 29]

Elintarviketeollisuudessa, suurtalouskeittiöissä ja myös tavallisissa kotitalouksissa elektrolyyttisellä vedellä voidaan desinfoida työvälineitä ja mahdollisuuksien mukaan myös pintoja. Elektrolyyttisen veden on todettu olevan hyvä keino irrottaa ja tuhota biofilmiä pinnoilta. Liitteeseen 11 on kerätty esimerkkejä yleisistä patogeeneista, joita on inaktivoitu erilaisilta pinnoilta elektrolyyttisen veden avulla. Taulukosta nähdään materiaali, patogeeni, käsittelyaika ja elektrolyyttisen veden ominaisuuksia tietyissä lämpötiloissa. [29]

Joissakin tutkimuksissa on raportoitu, että elektrolyyttistä vettä voitaisiin käyttää vaihtoehtona perinteisten home- ja sienimyrkkyjen tilalla. Veden voimakkaasta desinfektiovaikutuksista on raportoitu myös muun muassa maksatulehduksia aiheuttavia hepatiitti B- ja C -viruksia sekä Hi-virusta vastaan. Näihin liittyvät sovellukset houkuttelevat ja ovat tutkimuksen alla, mutta lisätietoa tarvitaan vielä veden vaikutuksesta ja mahdollisista haitoista. [24, s. 527–529; 29]

Elektrolyyttisen veden tehokkuutta bakteerien tuhoajana lypsyjärjestelmän putkistoissa on tutkittu. Putkistoa pestiin 10 minuutin ajan 60 °C:n alkalisella elektrolyyttisellä vedellä, minkä jälkeen heti perään putkistot pestiin 10 minuutin ajan saman lämpöisellä happamalla elektrolyyttisellä vedellä. Käsittely tuhosi kaikki havaittavat bakteerit ei-huokoisilta maidon kanssa kosketuksissa olevilta pinnoilta. Lisäksi ATP (adenosiinitri-fosfaatti) jäännöstestit olivat negatiivisia. Saadut tulokset osoittavat, että elektrolyyttinen vesi on potentiaalinen puhdistus- ja desinfektioaine lypsylaitteistojen suljettuihin kiertopesujärjestelmiin. [29]

Veden käyttömahdollisuudet ovat teollisuuskäytössä laajat. Sovellusalueina voivat olla edellä mainittujen lisäksi esimerkiksi uimahallit, juomaveden desinfiointi sekä raakaveden desinfiointi. Lisäksi mielenkiintoisia alueita ovat jäähdytysvesien desinfiointi elektrolyyttisellä vedellä sekä CIP-pesut, joissa voitaisiin käyttää elektrolyyttistä vettä desin-

fiinnissa ja myös lian irrottamisessa. [28] ProMinent on vahva toimija Suomessa ja myös Euroopassa liittyen *in situ* -teknologiaan desinfiointissa.

Suomessa elektrolyyttiseen veteen perustuvaa tekniikkaa ei vielä juurikaan ole käytössä isommissa sovelluksissa. Eräällä suomalaisella panimolla on käytössä elektrolyyttiseen veteen perustuva pullopesuri. Lisäksi ulkomailla joillakin panimoilla käytetään niin sanottua jatkuvaa suihkutussysteemiä desinfioidessa pullopuskoneita. Tämä on vähentänyt kuluja ja systeemiin ollaan oltu tyytyväisiä. Euroopassa Coca-Cola käyttää elektrolyyttistä vettä PET (polyeteenitereftalaatti) -pullojen desinfiointiin ja raakaveden desinfiointiin. Yhdysvalloissa elektrolyyttisen veden käytölle on hyväksytty luvat laivojen juomaveden ja uima-allasvesien desinfiointiin. [28]

5.6 Lypsyjärjestelmän CIP-pesun optimointi ja mallintaminen elektrolyyttisellä vedellä pilot-koossa

Elektrolyyttisen veden käyttöä desinfiointiaineena lypsylaitteistojen CIP-järjestelmissä on tutkittu. Elektrolyyttistä vettä käyttäen lypsyjärjestelmän CIP-systeemiä optimoitiin pilottikoetta varten tehdyllä putkisysteemillä. Lypsylaitteistossa käytettiin raakamaitoa, mihin oli ympätty neljä maidosta yleisesti löytyvää mikro-organismia, minkä jälkeen lypsylaitteisto puhdistettiin käyttäen elektrolyyttistä vettä. Elektrolyyttisen veden tehokkuutta arvioitiin ATP-bioluminesenssikokeella sekä mikrobiologisella kokeella rikastusviljelmän avulla. [30.]

Emäksisen elektrolyyttisen veden eri lämpötilojen (45–75 °C) sekä happaman elektrolyyttisen veden lämpötilojen (25–45 °C) vaikutusta tutkittiin. Pilottikokeessa käytetylle järjestelmälle muodostettiin matemaattinen malli, jota verrattiin perinteiseen CIP-tekniikkaan. Kokeessa havaittiin, että CIP-järjestelmä käyttäen elektrolyyttistä vettä, suoriutui perinteistä CIP-järjestelmää paremmin, osoittaen näin potentiaalinsa maitotiloilla kaupallisessa käytössä. [30]

Elektrolyyttisen veden lämpötilaa ei ole suositeltavaa nostaa yli 45 °C:n, sillä korkeissa lämpötiloissa syntyy merkittäviä kloorihäviöitä. Tämä voi olla haitallista järjestelmän käyttäjälle ja johtaa lisäksi pesutehon heikkenemiseen. Alustavissa laboratoriokokeissa havaittiin, että elektrolyyttisen veden lämmitys ympäristön lämpötilasta 60 °C:een johti merkittäviin kloorihäviöihin. Ennen jokaista koetta järjestelmä puhdistettiin lähtötilanteeseen. Tämä tapahtui niin sanotulla maitoteollisuudessa käytetyllä shokkipesulla. [30]

CIP-järjestelmää elektrolyyttisellä vedellä käytettäessä noudatettiin seuraavaa protokollaa: 1) Esihuuhdeltu ilman takaisinkiertoa 40 °C:lla ja 38.1 litralla hanavettä, jolla huuhdottiin putkien sisäpinnoista kaikki maitopartikkelit, jotka eivät vaadi pesuainetta. 2) Pesu 68.14 litralla alkalista elektrolyyttistä vettä. Pesuliuosta lämmitettiin eri kokeissa 75-, 60- ja 45 °C:een ja kierrätettiin järjestelmässä 10 minuuttia. 3) Välihuuhdeltu suoritettiin 40 °C:lla ja 38.1 litralla lämmintä vettä ilman takaisinkiertoa, jotta kaikki emäksisen pesun jäämät saatiin poistettua ennen happaman elektrolyysiliuoksen ajamista systeemin läpi. 4) Tätä seurasi 10 minuuttia kestävä hapanta elektrolyyttinen vesipesu. Eri kokeissa käytettiin 68.14 litraa ja 45-, 35- sekä 25 °C:sta hapanta elektrolyyttistä vettä. Kokeen aikana varmistettiin, että hapanta elektrolyyttistä vettä ei lämmitetty missään vaiheessa yli 10 minuutin ajan, jotta vapaan kloorin määrä säilyisi riittävänä desinfiointin tehokkuuden kannalta. [30]

Käyttäen perinteisiä lämmönjohtumisen laskelmia, optimaalinen lähtölämpötila happamalle ja emäksiselle elektrolyyttiselle vedelle määritettiin käyttäen ruostumattomasta teräksestä valmistetun putkiston kokonaispinta-alaa sekä koko järjestelmän ympäristön lämpötilaa. Siten CIP-pesujärjestelmän ohjauksikkö voidaan ohjelmoida käyttämään elektrolyyttistä vettä tehokkaasti putkiston (halkaisija ja pituus) mukaan, varmistaen maksimaalisen puhtauden kaikissa tilanteissa. Tutkimuksessa optimoitujen parametrien todistettiin olevan optimaalisia pilot-mittakoon lypsylaitteistolle laboratorioolosuhteissa. Seuraava askel on validoida elektrolyyttisen veden käyttö CIP-järjestelmissä maitotiloilla kaupallisessa mittakaavassa. [30]

5.7 Klooridioksidi

Klooridioksidin valmistaminen *in situ* -teknologialla on tunnettu jo jonkin aikaa, mutta vasta viime vuosina se on otettu yleisemmin käyttöön teollisuudessa desinfiointitarkoituksessa. Klooridioksidi (ClO_2) on huoneenlämmössä herkästi reagoiva, myrkyllinen ja räjähtävä kaasu, jota valmistetaan siihen tarkoitetuilla laitteilla. Epästabiiliutensa vuoksi sitä ei voida varastoida, vaan tuotto tapahtuu käyttötarpeen mukaan *in situ* -prosessissa. Klooridioksidi valmistetaan pelkistämällä natriumkloriitti (NaClO_2) tai natriumkloriatti (NaClO_3) happamassa liuoksessa ja liottamalla syntynyt kaasu veteen. Klooridioksidi voidaan varastoida laimeina vesiliuoksina (6–9 g/L). Sitä käytetään eniten sellun valkaisuissa, mutta sillä on myös paljon käyttökohteita ja sovelluksia desinfiointissa. [31]

ClO_2 :lla voidaan korvata kloorin käyttö veden desinfioinnissa yhä useammin. Se on klooria tehokkaampi desinfektioaine ja sen teho ei riipu pH-arvosta, joka on suuri etu. Kloorisivutuotteita ei synny ClO_2 :n koostumuksesta johtuen. Klooria pidemmän puoliintumisaikansa vuoksi ClO_2 saa desinfioinnin jälkivaikutuksen jatkumaan jo käsitellyssä vedessä pidempään. ClO_2 pystyy irrottamaan tehokkaasti biofilmiä putkistoista ja säiliöistä estäen Legionella-bakteerien kasvua, mikä on erittäin tärkeää elintarvike- ja vesiteollisuudessa. [32]

Valmista liuosta voidaan varastoida suuremmissa säiliöissä noin viikon verran. Klooridioksidiliuos aiheuttaa pientä korroosiota lievän happamuutensa vuoksi. ClO_2 :n desinfioivaan tehoon vaikuttaa heikentävästi orgaaninen- ja epäorgaaninen lika. Lisäksi korkea lämpötila kaasuunnuttaa tuotteen. Vaikka ClO_2 :n tuottolaitteisto on pienikokoinen, voi *in situ* -menetelmä rajoittaa käyttöä, sillä tuotetta ei aina ole mahdollista tehdä paikan päällä. [28]

Klooridioksidia käytetään muun muassa juomaveden- ja jätevedenkäsittelyssä, Legionellan ehkäisyssä, prosessi- ja käyttöveden käsittelyssä panimoteollisuudessa ja elintarvikealalla sekä jäähdytysvesien käsittelyssä. Lisäksi monilla panimoilla pullopesurit käyttävät klooridioksidia desinfiointiin. ClO_2 soveltuu myös CIP-pesuihin loppudesinfioinnissa. ClO_2 soveltuu myös erilaisten raakatuotteiden desinfiointiin elektrolyytisen veden tavoin. Laitteistoja on olemassa esimerkiksi salaattien, vihannesten ja hedelmien pesuun. Lisäksi mereneläviä ja liha- sekä siipikarjatuotteita voidaan käsitellä klooridioksidin pohjautuvilla laitteilla. Suomessa sovelluksia on käytössä vielä suhteellisesti melko vähän. Suomessa menetelmä on käytössä esimerkiksi joillakin panimoilla, meijereillä sekä paperitehtailla, joissa klooridioksidia hyödynnetään raakavesisovelluksissa. [28; 32]

Lähteen mukaan eräs tunnettu meijeri on päättänyt siirtyä käyttämään desinfioinnissa klooridioksidilaitteistoa, sillä sen avulla saadaan desinfiointiin soveltuvaa ainetta halvemmalla, kuin käyttövalmista desinfiointiainetta ostamalla. Kyseinen meijeri desinfioi paljon erilaisia vesiä; muun muassa kunnallisvesi, laitoksen juomavesi, ultrasuodatuslaitteiston käyttövesi, jäähdytysvesi ja vesihöyry kuuluvat desinfiointiin. Päätös on tuonut meijerille kustannussäästöjen lisäksi muutakin hyötyä. Aikaisemmin hajautettujen annosteluasemien sijaan yhtiöllä on nyt keskitetty klooridioksidin valmistuslaitteisto, joka on kytketty suoraan ohjausjärjestelmään. Keskitetyn mallin vuoksi erilaisia kemikaaleja ei tarvitse enää varastoida useissa eri paikoissa. [33]

5.8 Peretikkahappo

Peretikkahappo ($C_2H_4O_3$) on etikkahapon johdannainen ja peroksihappoihin kuuluva orgaaninen yhdiste. Yhdistettä käytetään yleisesti desinfiointissa, orgaanisessa synteesissä sekä valkaisuaineena. Kaupallinen peretikkahappo on peretikkahapon, etikkahapon, vetyperoksidin ja veden muodostama tasapainoliuos, jossa liuoksen ominaisuudet riippuvat liuoksen pitoisuudesta. Peretikkahappo toimii vetyperoksidin kanssa yhteisvaikutuksessa desinfektiotapahtumassa niin, että molemmat aineet tukevat toistensa tehoa alentaen yhteisannosmäärää. Se on yksi käytetyimmistä desinfiointiaineista elintarvikealalla tällä hetkellä. [34; 35]

Peretikkahappo tehoaa eri mikro-organismeihin tehokkaasti. Virusten ja bakteeri- sekä homeitiöiden tuhoamiseen tarvitaan peretikkahappoa lähes kymmenkertainen määrä kasvumuotoisiin bakteereihin ja erilaisiin sieniin verrattuna. Käyttölämpötila on laaja, peretikkahappoa voidaan käyttää lämpötila-alueella $-30\text{ °C} \dots +70\text{ °C}$ ja pH-alueella 1–10. Alkalisissa olosuhteissa happo hajoaa nopeammin, jolloin sen kulutus on suurempi desinfiointitehon saavuttamiseen. Suurin teho peretikkahapolla on korkeassa lämpötilassa ja happamalla alueella. [34] Liitteissä 12–14 on esitetty peretikkahapon tehovaikeus mikrobeihin eri olosuhteissa, peretikkahapon vaikutus eläintauteja aiheuttaviin mikro-organismeihin sekä vaikutusajat 5 %:n peretikkahapon käytössä.

Peretikkahapolla on paljon käyttöalueita teollisuudessa. Sitä käytetään esimerkiksi säiliöiden ja kuljetuslaitteistojen desinfiointiin panimoissa ja meijereissä sekä jätevesilaitoksilla lietteen stabiloimiseen. Teollisuudessa peretikkahapolla desinfioidaan jäähdytys-, kierto- sekä prosessivesiä. Muita teollisuuden käyttökohteita ovat maatalous, tekstiiliteollisuus, paperi- ja puunjalostusteollisuus sekä lääketiede, jossa peretikkahappoa voidaan käyttää käsien ja sairaalainstrumenttien desinfiointiin. Eläinlääketieteessä voidaan peretikkahappoa käyttää esimerkiksi navetoissa ja kalanviljelylaitoksilla ehkäisemään eläintauteja. [34; 35]

Peretikkahappoon perustuvia *in situ* -teknologioita on kehitetty ja myös patentoitu, mutta kaupallisesti niitä ei ole vielä saatavilla. Niissä esiintyy ongelmia, jotka vaikuttavat teknologian kaupallistamiseen. Syntyvä peretikkahappoliuos on ilmeisesti melko epästabiliia, mutta muitakin ongelmia on. [36]

Lähteessä 36 (Pat. US 2015/0208652 A1, Michael S. Harvey, Jonathan N. Howarth) käsitellään menetelmiä tuottaa epätasapainoisia peroksidihappoliuoksia. Menetelmäs-

sä, johon patenttia haetaan, triasetiini ja vetyperoksidin vesiliuos yhdistetään veteen, sekoitetaan, minkä jälkeen joukkoon lisätään nestemäinen alkalimetallilähde tai maaalkalimetallihydroksidia. Triasetiini muuttuu nopeasti hyvällä konversioasteella peretikkahapoksi. Menetelmät tuottavat liuoksia, joissa on korkea, mutta epätasapainoinen peretikkahappopitoisuus. [36] Kun tämänhetkiset ongelmat saadaan ratkaistua ja teknologiaa vietyä eteenpäin kaupalliselle tasolle asti, tulee *in situ* -teknologiaan perustuvasta peretikkahaposta erittäin mielenkiintoinen ja varteenotettava vaihtoehto muille puhdistus- ja desinfektio menetelmille, erityisesti otsonille.

6 Pohdintaa

Insinööriyön tarkoituksena oli kirjallisuusselvityksen avulla perehtyä uusiin puhdistusteknologioihin ja pohtia niiden tulevaisuutta sekä potentiaalisia kaupallisia mahdollisuuksia pesu- ja puhdistusmarkkinoilla. Hygieniasta ei voida tinkiä tulevaisuudessa, mutta pesukertojen ja kemikaalien vähentämistä halutaan vähentää, sillä se tuo vuositasolla huomattavia taloudellisia säästöjä ja lisää työntekijöiden turvallisuutta.

Erilaisia nanomateriaaleja käytetään jo hyvin laajasti eri teollisuuden aloilla. Laajasti nanomateriaaleja käyttävät lääketieteen eri haarat ja elintarviketeollisuus, joissa käytetään hyväksi monien nanopinnoitteiden voimakkaita antimikrobisia ominaisuuksia. Yleisimmät nanoyhdisteet ovat erilaisia polymeereihin yhdistettyjä nanomateriaaleja, kuten titaanidioksidi ja nanohopea. Myös nanomateriaali-nanomateriaali -seoksia käytetään, kun halutaan tehdä voimakkaasti antimikrobisia pintoja.

Elintarviketeollisuudessa nanopinnoitteista saataisiin huomattavia säästöjä, kun pinnoitteita voitaisiin käyttää esimerkiksi prosessilaitteistoissa, kylmähuoneissa ja pesulinjastoissa. Säästöt perustuisivat pitkälti veden käytön vähenemiseen, sillä laitteiden ja pintojen pesukerrat harvenisivat ja pesuvälejä voitaisiin kasvattaa. Veden käytön vähenemisen seurauksena jätevesikustannukset laskevat ja myös energiakustannuksissa saadaan säästöä, kun kuumaa vettä käytetään vähemmän. Tämä vaikuttaa luonnollisesti suoraan pesuaineita valmistaviin yrityksiin, sillä tuotteita ei tarvittaisi niin paljon, kuin ennen.

Laajemmalle pinnoitteiden käytölle suurin este tällä hetkellä on se, että nanomateriaalilta vaaditaan muun muassa korkeita pesukestävyys- ja mekaanisen keston ominaisuuksia. Tutkimuksia täytyy vielä tehdä, mutta esimerkit maailmalla osoittavat, että

nanopinnoitteita on onnistuneesti käytetty elintarvikealan laitoksissa ja tulokset ovat olleet hyviä. Suomessakin teknologiaa tutkitaan paljon esimerkiksi VTT:n ja yliopistojen toimesta.

Tärkein vaatimus nanopinnoitteille elintarviketeollisuudessa on elintarviketurvallisuuden säilyttäminen, jos materiaali on kosketuksessa elintarvikkeen kanssa. Nanopartikkelien vaikutukset ihmiskehossa tulee tietää yksiselitteisesti. Pesuaineiden ja pinnoitteiden yhteisvaikutukset tulee myös tietää, sillä pinnoitteita pestäessä pesuaineet eivät saa liuottaa nanohiukkasia pinnoitteesta. Pinnoitteista ei saa vapautua esimerkiksi pintojen pesuissa hienoja aerosoleja ilmaan, jotka voisivat kulkeutua hengityksen mukana elimistöön.

Yleisesti nanomateriaalien kohdalla tarvitaan vielä paljon tutkimusta, vaikka jotkin materiaalit ovatkin jo hyvin tunnettu. Potentiaalia on valtavasti ja nanoteknologia yleisesti on tutkittu aihe tällä hetkellä. Jo lähitulevaisuudessa erilaiset nanoyhdisteet tullevat yleistymään eri teollisuuden aloilla sekä erilaisissa sovelluksissa, kun uusia innovaatioita kehitetään jatkuvasti. Varsinkin erilaiset polymeeri- ja polyuretaani -nanoyhdisteet ovat tutkimuksen alla ja tulevat luultavasti olemaan vahvasti esillä teollisuudessa. Myös pinnoitteiden osalta mennään koko ajan eteenpäin, mutta haasteita riittää vielä erityisesti pinnoitteiden kestävyden osalta teollisen rasituksen mittakaavassa.

Ultraäänipuhdistus tulee olemaan jatkossakin osa elintarvike- ja muuta prosessiteollisuutta, sillä monesti se on ainoa toimiva tapa puhdistaa haluttuja kohteita. Herkät materiaalit ja hankalat osat, joissa on paljon koloja, eivät välttämättä puhdistu riittävästi pelkillä pesunesteillä, joten ultraäänien aiheuttamaa kavitaatiomekanismia tarvitaan pesunesteen lisäksi. Parhaimmillaan ultraäänipuhdistus säästää huomattavasti aikaa ja rahaa. Negatiivisena puolena ultraäänipesureilla on toistaiseksi verrattain korkea hinta. Lisäksi ultraäänipuhdistus vaatii aina, että pestävä kappale upotetaan nesteeseen. Tämä aiheuttaa sen, ettei mitään kovinkaan suuria ja raskaita osia pystytä, ainakaan vielä, puhdistamaan ultraäänien avulla. Uusia sovelluksia kehitetään ultraäänipesuihin liittyen, mutta ne ovat erittäin salaista tietoa ja uusista innovaatioista ei ole raportoitua tietoa.

Erilaiset *in situ* -puhdistusteknologiat yleistyvät vähitellen. Niillä on jo jalansijaa teollisuudessa, mutta niiden potentiaali on suuri perinteisten pesukemikaalien osittaisessa korvaamisessa. Kaikkia kemikaaleilla suoritettavia pesuja ei voida korvata *in situ* -

teknologioilla, mutta varsinkin elintarviketeollisuuden CIP-pesuissa potentiaalia riittää ja uudemmat teknologiat tullevat yleistymään, mahdollisesti jo lähivuosina.

Elektrolyyttinen vesi on ja tulee olemaan tärkeä elementti esimerkiksi sairaaloissa, joissa erilaisia instrumentteja desinfioidaan turvallisesti elektrolyyttisen veden avulla, ilman kemikaaleja. Myös CIP-systeemeissä elektrolyyttistä vettä tutkitaan paljon ja sillä on osoitettu olevan potentiaalia sillä saralla. Erityisesti Japanissa elektrolyyttistä vettä on käytetty jo useamman vuosikymmenen ajan. Siellä sairaaloissa laitteisto on arkipäivää instrumenttien desinfiointissa. Myös useissa kotitalouksissa käytetään pieniä elektrolyysilaitteita esimerkiksi veitsien ja leikkuulautojen desinfiointiin. Työn pohjalta muodostui vahva mielikuva siitä, että Japania voisi kuvailla elektrolyyttisen veden pioneeriksi. Siellä tietotaitoa löytyy ja tutkimuksia tehdään paljon. Myös Yhdysvallat on merkittävä tekijä tällä saralla.

Tärkeimpänä positiivisena puolena elektrolyyttisessä vedessä on sen turvallisuus ihmisille. Se tuhoaa erilaisia mikrobeja tehokkaasti, mutta ei aiheuta välitöntä vaaraa ihmisille verrattuna moniin perinteisiin pesuissa ja desinfektiossa käytettäviin kemikaaleihin. Kemikaalien varastointi, kuljetus ja käsittely ovat tarpeettomia, kun puhdistus tehdään elektrolyyttisellä vedellä. Lisäksi parhaimmillaan CIP-pesujen aikoja voidaan vähentää, jolloin prosessista saadaan tuotannollisesti tehokkaampaa.

Elektrolyyttisen veden negatiivisina puolina pidetään sen korrosoivaa vaikutusta, vielä verrattain kalliita elektrolyysilaitteita sekä reaktiossa syntyviä haitallisia kaasuja. Reaktiotuotteiden pitäisi olla hyvälaatuisia, mutta onko tästä aina takeita. Jos reaktiossa syntyy ei-toivottuja sivutuotteita, miten ne vaikuttavat puhdistus/desinfektioitehoon tai onko niistä muuta haittaa laitteelle, ympäristölle tai ihmisille. Häiriötilanteiden varalta systeemissä tulee olla tarvittavat hätäkatkaisimet, jotka toimivat automaattisesti, mutta myös manuaalisesti tarvittaessa. Jos elektrolyysiprosessissa tulee häiriö, täytyy puhdistustehosta varmistua jollain tavalla tai tarvittaessa suorittaa pesu uudestaan, sillä desinfiointissa on ehdottoman tärkeää, että desinfiointiaine todella vaikuttaa halutulla tavalla.

Elektrolyyttisen veden energiankäyttöön liittyen täytyy tehdä kustannuslaskelmia, jos laitteistoa ollaan hankkimassa. Elektrolyyttisen veden tuottaminen vaatii laitteiston hankintakustannusten jälkeen ainoastaan vettä, puhdasta natriumkloridia sekä sähkövirtaa. Laskemissa tulee ottaa huomioon, kuinka paljon laitteiston käyttämään energiaan menee rahaa. Vesi ja suola ovat raaka-aineina halpoja, mutta energian osuus täytyy las-

kea mukaan, jotta saadaan kokonaiskustannukset laskettua elektrolyyttiselle vedelle. Lisäksi vertailussa tulee laskea, kuinka paljon säästetään kustannuksissa, kun kemikaaleja tarvitaan vähemmän, kuinka paljon varastointi- ja kuljetuskustannuksissa säästetään sekä elektrolyyttisen veden ajallinen ja sitä kautta tuotannollinen vaikutus verrattuna perinteisiin kemikaaleihin esimerkiksi CIP-pesuissa.

Tässä on esitetty ProMinentin edustajan suuntaa antava laskelma elektrolyysilaitteiston vuosittaisista käyttömenoista. Tässä esimerkissä asiakas käyttää 10 000kg vuodessa 10 % vahvuista kaupallista hypokloriittiliuosta, joka maksaa 1 €/kg eli vuodessa hintaa tulee 10 000 €. 100 % klooriksi muutettuna edellä mainittu hypokloriittiliuos pyöristyy noin 1000 kg:aan. 1000 kg (100 % klooria) valmistamiseksi tarvitaan 2000 kg suolaa elektrolyysilaitteistossa.

Suolan hinta on noin 0.30 €/kg, joten vuosittain suolan kustannukset olisivat $2000 \text{ kg} * 0,30 \text{ €/kg} = 600 \text{ €/vuosi}$. Laitteiston viemään sähköön menisi vuosittain 630 € seuraavan laskelman mukaisesti: $1.5 \text{ kW} * 0.08 \text{ €/kWh} * 0.6 * 24 \text{ h} * 365$, missä 0.6 on sähkön käyttöaste 60 %. Vuosittain vettä tarvitaan noin 200 € edestä tuotteen tekemiseen ja elektrolyysilaitteen jäähdyttämiseen.

Esimerkkinä laskelmassa on käytetty noin 30 000 € maksavaa laitetta, joka sisältää 1 m³ tuotesäiliön ja varoaltaan. Hintaan kuuluu laitteen toimitus ja käyttöönotto (alv 0 %). Käyttökuluksi saadaan 1430 € + huoltokustannukset noin 1500 € vuodessa. Tämän laskelman pohjalta säästö on vuositasolla huomattava ja laskuissa ei ole otettu huomioon hypokloriitin mahdollisia kuljetus- ja varastointikustannuksia.

Edellä mainittu laskelma on vain suuntaa antava, eikä siitä pidä tehdä suoria johtopäätöksiä. Jos laitteistoa ollaan hankkimassa, tulee laskelmat tehdä erittäin tarkasti ja puntaroida eri vaihtoehtoja. Jos hypokloriittia käytetään vähemmän, kestää laitteiston hankintakustannuksen takaisin maksaminen huomattavasti kauemmin, jolloin täytyy arvioida, saavutetaanko säästöjä laitteiston hankinnalla ja jos saavutetaan, millä aikavälillä säästöt tulevat konkreettisiksi. Pienemmillä yrityksillä ei myöskään välttämättä ole aina varaa hankkia suhteellisen kallista laitetta.

Elektrolyyttinen vesi tulee yleistymään desinfektio menetelmänä CIP-pesuissa, mutta se vaatii vielä tutkimuksia ja aikaa. Laboratoriossa on jo osoitettu elektrolyyttisen veden tehokkuus CIP-järjestelmässä, seuraava askel on viedä systeemi kaupallisella mittapuulla teollisuuden mittakaavaan. Tutkimuksia tehdään jatkuvasti ja edistystä tapahtuu,

joten viiden vuoden sisällä elektrolyyttinen vesi tulee nousemaan varteenotettavaksi vaihtoehdoksi perinteiseen CIP-pesuun, joko loppudesinfioinnissa tai jopa kokonaan omana CIP-pesunaan. Varsinkin vaihtoehto siitä, että pelkästään elektrolyyttisellä vedellä pystyttäisiin suorittamaan CIP-pesu, olisi monessa mielessä merkittävä asia. Parhaimmillaan kustannukset laskisivat huomattavasti, lisäksi prosessitehokkuutta pystyttäisiin parantamaan, kun pesuihin kuluva aika pienenesi.

Työn pohjalta esiin nousi elektrolyyttistä vettä ajankohtaisemman *in situ* -puhdistusteknologian, klooridioksidin käyttö. Vaikka klooridioksidi itsessään on jo tunnettu yhdiste, on se vasta viime vuosina nostanut arvoaan desinfiointimenetelmänä ja sille löytyy käyttösovelluksia myös CIP-pesuissa. Klooridioksidia käytetään laajasti erilaisten vesien desinfiointiin teollisuudessa, mutta sillä on runsaasti myös pienempiä käyttösovelluksia elektrolyyttisen veden tapaan. Ero elektrolyyttisen veden teknologiaan on se, että käyttösovelluksia on viety jo pidemmälle teollisuuskäyttöön ja esimerkiksi vesien desinfiointissa ja CIP-pesuissa teknologiaa löytyy jo isomman mittakaavan käytössä. Suomessakin klooridioksidin perustuvia sovelluksia on käytössä jo joillakin panimoilla, meijereillä sekä paperitehtailla.

Myös klooridioksidin käytöllä on omat riskinsä ja negatiiviset puolensa. Klooridioksidi itsessään on myrkyllinen ja räjähtävä kaasu. Klooridioksidiliuos aiheuttaa korroosiota lievän happamuutensa vuoksi. ClO_2 :n desinfioivaan tehoon vaikuttaa heikentävästi orgaaninen- ja epäorgaaninen lika. Eli esimerkiksi CIP-pesuissa putkiston täytyy olla puhdas liasta ennen klooridioksidin käyttöä desinfiointissa. Lisäksi korkea lämpötila kaasuunuttaa tuotteen.

Kaiken kaikkiaan, klooridioksidin ominaisuudet ja käyttömahdollisuudet teollisuuskäytössä desinfiointissa ovat vaikuttavat. Työn pohjalta jäi vahva mielikuva siitä, että klooridioksidi on juuri tällä hetkellä kovassa nosteessa ja mielenkiinto sitä kohtaan on kasvanut suuresti viime vuosina. Tulevien vuosien aikana klooridioksidin käyttö teollisuuden desinfiointeissa tulee todennäköisesti yleistymään.

Työssä kerrottiin lyhyesti *in situ* -puhdistusteknologioista, jotka perustuvat peretikkahappoon. Jo patentoiduissa erilaisissa menetelmissä on vielä paljon ongelmia, joten kaupallisiin sovelluksiin on vielä matkaa. Toisaalta, jos teknologia on samantyylistä, kuin esimerkiksi klooridioksidin valmistaminen *in situ* -menetelmällä, pystytään jo muutamassa vuodessa ottamaan suuria kehitysaskelleita eteenpäin ja korjaamaan olemassa olevia ongelmia. Peretikkahappo on tällä hetkellä yksi käytetyimmistä desinfiointiai-

neista teollisuudessa, joten on helppo ennustaa, että peretikkahappoon perustuva *in situ* -teknologia tulee olemaan myös yleistä tulevaisuudessa, mikäli tiedossa olevia ongelmia pystytään ratkomaan ja tutkimuksia sekä kokeita päästään suorittamaan teknologioille. Erityisesti uusi teknologia haastaisi otsonointia, jota tällä hetkellä käytetään jonkin verran teollisuudessa. Uusi patenttihakemus peretikkahappoon perustuvasta *in situ* -teknologiasta vaikutti itsessään erittäin mielenkiintoiselta ja kertoo siitä, että uusia innovaatioita *in situ* -teknologian saralla kehitellään jatkuvasti.

Yleisesti ottaen, *in situ* -puhdistusteknologiat tulevat kasvattamaan suosiotaan, sillä ne mahdollistavat turvallisemman ja kustannustehokkaamman vaihtoehdon perinteisen kemian rinnalle. Uuden teknologian käyttöönottoon liittyy aina kysymyksiä, joihin pitää saada vastaus, mikäli uutta tekniikkaa halutaan hyödyntää. Perinteinen pesukemia on todettu tehokkaaksi ratkaisuksi desinfiointissa ja puhdistuksessa.

Kuinka suuri halu yrityksillä on jättää vanha ja hyväksi havaittu pesukemia ja korvata sitä uudella, tuntemattomammalla teknologialla osittain tai kokonaan? Mitkä ovat *in situ* -teknologian riskit? Vuotojen ja muiden vaaratilanteiden varalta systeemissä täytyy olla tarvittavat turvajärjestelmät. Syntykö mahdollisesti haitallisia sivutuotteita, jotka vaikuttavat puhdistettavuuteen ja desinfektioitehoon? Puhdistus- ja desinfektioiteho täytyy pystyä varmistamaan jokaisessa pesussa. Vaikka *in situ* -teknologia on melko vähän tilaa vievää, ei siihen yksinkertaisesti ole aina mahdollisuutta. Mitkä ovat todelliset säästöt perinteiseen kemian käyttöön verrattuna? Mahdollisten muutosten takana ovat lopulta kustannuskysymykset, joten kaikki mahdolliset laskelmat energian kulutuksesta kuljetuskustannuksiin ja huoltoihin täytyy tehdä tarkasti, ennen kuin muutoksia tehdään.

Uudet teknologiat eivät pysty vanhoja pesukemikaaleja korvaamaan kokonaan, sillä joihinkin kohteisiin perinteinen kemia on ainoa toimiva ratkaisu. Perinteistä pesukemiaa tullaan tarvitsemaan tulevaisuudessa, mutta perinteisten menetelmien rinnalle on tullut ja tulee uutta teknologiaa, joka tähtää kemikaalien vähentämiseen ja sitä kautta kustannustehokkuuteen ja turvallisempaan käyttöympäristöön työntekijöille.

Lähteet

- 1 Gun Virtanen. Espoo 2002. VTT Biotekniikka. Laitehygieniä elintarviketeollisuudessa. Verkkodokumentti. <<http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2002/P480.pdf>>. Luettu 10.3.2015
- 2 Jonna Perkiömäki, Hanne Koivunen, Pirkko Tuominen. Virusten detektio ja hallintakeinot prosessiympäristöissä. Kirjallisuuskatsaus virusriskeistä elintarviketeollisuudessa. Verkkodokumentti. <<http://www.evira.fi/files/attachments/fi/riskinarviointi/viruskirjallisuuskatsaus.pdf>>. Luettu 14.9.2015
- 3 Kaisu Rantakokko - Jalava. Sairaalahygieniapäivät 25.3.2014. Hyvä tietää biofilmistä. Verkkodokumentti. <http://sshy.fi/data/documents/luennot/2014/Rantakokko-Jalava_Hyva_tietaa_biofilmista.pdf>. Luettu 10.3.2015
- 4 FinnSonic Oy. 10.9.2014. Ultraäänipesu. Verkkodokumentti. <http://www.rpcase.fi/Portals/0/PDF/Finnsonic/Ultraäänipesun_perusteita_FinnSonic_Oy.pdf>. Luettu 14.9.2015
- 5 Nanobusiness. 2010 Espoo. Selvitys tulevaisuuden materiaaleista ja teknologioista koneenrakentajille. Verkkodokumentti. <http://www.nanobusiness.fi/uploads/tulevaisuuden_teknologiat_koneenrakentajille.pdf>. Luettu 10.3.2015
- 6 Matti Hannuksela. Duodecim 2006. Fotokatalyysi matkalla tieteiskirjallisuudesta käytäntöön. Verkkodokumentti. <<http://www.terveyskirjasto.fi/xmedia/duo/duo95902.pdf>>. Luettu 3.9.2015
- 7 Hydro. TOTO Ltd. Photocatalyst Business Division. Super-hydrophilic photocatalyst and its application. Verkkodokumentti. <http://www.toto.co.jp/hydro_e/hydro_e2.htm>. Luettu 3.9.2015
- 8 Niko Kettunen. Helsingin Sanomat, Tiede 7.8.2012. Luonnostaan Keksitty. Verkkodokumentti. <<http://www.hs.fi/paivanlehti/tiede/Luonnostaan+keksitty/a1344225174115>>. Luettu 18.3.2015
- 9 Akira Fujishima, Xintong Zhang, Donald A. Tryk. 15.12.2008. Surface Science Reports. TiO₂ photocatalysis and related surface phenomena. Verkkodokumentti. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167572908000757#>>. Luettu 18.3.2015
- 10 Qilin Li, Shaily Mahendra, Delina Y. Lyon, Lena Brunet, Michael V. Liga, Dong Li, Pedro J.J. Alvarez. Marraskuu 2008. Water research. Antimicrobial nanomaterials for water disinfection and microbial control: Potential applications and implications. Verkkodokumentti.

- <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135408003333>>. Luettu 11.3.2015
- 11 Oxygenium. 2012. Fotokatalyyttinen hapetus. Verkkodokumentti. <<http://oxygenium.pro/puhdistustekniikat/fotokatalyyttinen-hapetus/>>. Luettu 3.9.2015
 - 12 Mohammed Aider. Heinäkuu 2010. LWT - Food Science and Technology. Chitosan application for active bio-based films production and potential in the food industry: Review. Verkkodokumentti. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002364381000040X>>. Luettu 4.9.2015
 - 13 Dina Raafat, Hans-Georg Sahl. 13.1.2009. Chitosan and its antimicrobial potential – a critical literature survey. Verkkodokumentti. <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1751-7915.2008.00080.x/pdf>>. Luettu 4.9.2015
 - 14 Marguerite Rinaudo. Heinäkuu 2006. Progress in Polymer Science. Chitin and chitosan: Properties and applications. Verkkodokumentti. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079670006000530>>. Luettu 4.9.2015
 - 15 Karla Chaloupka, Yogeshkumar Malam, Alexander M. Seifalian. Marraskuu 2010. Nanosilver as a new generation of nanoproduct in biomedical applications: Review. Verkkodokumentti. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167779910001228>>. Luettu 7.9.2015
 - 16 Anita Paul, Ekaterina Kaverina, Aleksey Vasiliev. 26.1.2015. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. Synthesis of silver/polymer nanocomposites by surface coating using carbodiimide method. Verkkodokumentti. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927775715003301>>. Luettu 7.9.2015
 - 17 Bionova consulting Tuuli Pohjola. Seinäjoki 28.11.2011. Nanoteknologian hyödyntäminen koneenrakennuksessa. Verkkodokumentti. <http://www.bionova.fi/sites/default/files/nanoteknologia_elintarvikealan_koneenrakennuksessa.pdf>. Luettu 18.3.2015
 - 18 F.J. Fuchs. 2015. Applications of High-Intensity Ultrasound. Ultrasonic cleaning and washing of surfaces. Verkkodokumentti. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781782420286000193>>. Luettu 14.9.2015
 - 19 Cleaning Technologies Group. Ultrasonic Cleaning: Fundamental Theory and Application. Verkkodokumentti. <<http://www.ctgclean.com/blog/technology-library/articles/ultrasonic-cleaning-fundamental-theory-and-application/>>. Luettu 18.9.2015

- 20 Mario Stanga. 2010. Sanitation – Cleaning and Disinfection in the food industry. Ultrasound cleaning, s. 473–476.
- 21 Graham Kendall. 23.6.2013. What is pharmaceutical nanoemulsion: Article. Verkko-dokumentti. <<https://blogs.nottingham.ac.uk/malaysiaknowledgetransfer/2013/06/25/what-is-pharmaceutical-nanoemulsion/>>. Luettu 18.9.2015
- 22 FinnSonic Oy. Ultraäänipesu ja sen edut. Verkkodokumentti. <<http://www.finnsonic.com/ratkaisut/ultraaanipesujasenedut>>. Luettu 14.9.2015
- 23 G. Mazue, R. Viennet, J-Y. Hihn, L. Carpentier, P. Devidal, I. Albaïna. Heinäkuu 2011. Ultrasonics Sonochemistry. Large-scale ultrasonic cleaning system: Design of a multi-transducer device for boat cleaning (20 kHz). Verkkodokumentti. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417710002361>>. Luettu 14.9.2015
- 24 Mario Stanga. 2010. Sanitation – Cleaning and Disinfection in the food industry. Disinfection by Electrolyzed Water, s. 527–529.
- 25 Subrota Hati, Surajit Mandal, P. S. Minz, Shilpa Vij, Yogesh Khetra, B. P. Singh, Dipika Yadav. 2012. Electrolyzed Oxidized Water (EOW): Non-Thermal Approach for Decontamination of Food Borne Microorganisms in Food Industry. Verkkodokumentti. <http://file.scirp.org/Html/7-2700351_19918.htm>. Luettu 28.9.2015
- 26 Alexander Kraft. 2008. Electrochemical Water Disinfection: A Short Review. Verkkodokumentti. <<http://www.technology.matthey.com/article/52/3/177-185/>>. Luettu 28.9.2015
- 27 Jianxiong Hao, Shuang Qiu, Huiying Li, Tianpeng Chen, Haijie Liu, Lite Li. 16.4.2012. International Journal of Food Microbiology. Roles of hydroxyl radicals in electrolyzed oxidizing water (EOW) for the inactivation of Escherichia coli. Verkkodokumentti. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168160511007598>>. Luettu 28.9.2015
- 28 ProMinent Finland Oy/Tuotepäällikkö Sami Lipponen. Espoo 12.10.2015. Haastattelu.
- 29 Yu-Ru Huang, Yen-Con Hung, Shun-Yao Hsu, Yao-Wen Huang, Deng-Fwu Hwang. 2008. Application of electrolyzed water in the food industry. Verkkodokumentti. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713507001697>>. Luettu 28.9.2015
- 30 Satyanarayan R.S. Dev, Ali Demirci, Robert E. Graves, Virendra M. Puri. Elokuu 2014. Journal of Food Engineering. Optimization and modeling of an electrolyzed oxidizing water based Clean-In-Place technique for farm milking systems using a pilot-scale milking system. Verkkodokumentti. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877414000867>>. Luettu 28.9.2015

- 31 Työterveyslaitos. Päivitetty 15.8.2014. OVA-ohje: KLOORIDIOKSIDI – tiivistelmä. Verkkodokumentti. <<http://www.ttl.fi/ova/tkloodio.html>>. Luettu 19.10.2015
- 32 ProMinent. Juomaveden desinfiointi. Verkkodokumentti. <http://www.prominent.fi/desktopdefault.aspx/tabid-4167/570_read-2199/>. Luettu 19.10.2015
- 33 ProMinent. Puhtaasti herkullista: ei epäpuhtauksia klooridioksidin ansiosta. Verkkodokumentti. <http://www.prominent.fi/desktopdefault.aspx/tabid-4152/84_read-67287/>. Luettu 19.10.2015
- 34 J. Maunuksela. 2007. Kooste. Peretikkahapon käyttö mikrobintorjunta-aineena. Dokumentit KiiltoCleanilta.
- 35 J. Maunuksela. 2007. Esitys. Peretikkahappo – tuotekoulutus. Dokumentit KiiltoCleanilta.
- 36 Pat. US 2015/0208652 A1. Michael S. Harvey, Jonathan N. Howarth. Heinäkuu 2015. United States Patent Application Publication. Methods and compositions for the generation of peracetic acid on site at the point-of-use, s. 1–18.
- 37 KiiltoClean Oy/Tuotekehityskemisti Kimmo Nurmi. Vantaa 30.9.2015. Haastattelu.
- 38 Työterveyslaitos/Tutkimusprofessori Hannu Norppa. Vantaa 10.11.2015. Sähköpostikeskustelu.

Elintarviketeollisuudessa käytettäviä desinfiointiaineita ominaisuuksineen [1]

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

Elintarviketeollisuudessa yleisesti käytettyjen desinfiointiaineiden ominaisuuksia [2]

Ominaisuus	kloori	kvatit	amfoteerit	jodoforit	per- etikka- happo	happamat anioniset yhdisteet
<i>Teho mikro- organismeihin</i>						
gram+	++	++	++	++	++	++
gram-	++	++	++	++	++	++
itiöt	+	-	-	+	++	-
hiivat	++	++	++	++	++	++
mikrobiresistenssin muodostuminen	-	+	+	-	-	-
<i>Muut ominaispiirteet</i>						
orgaanisen aineksen aiheuttama inaktivaatio	++	+	+	+	+	+
veden kovuus	-	+	-	-	-	-
pesuominaisuudet	-	++	+	+	-	++
pinta-aktiivisuus	-	++	++	+	-	-
vaahdonmuodostus	-	++	++	-	-	+
ongelma tahraavuuden kanssa	±	-	-	+	±	-
stabiilisuus	±	-	-	±	±	-
korroosio	+	-	-	+	-	-
turvallisuus	+	-	-	+	++	-
muut kemikaalit	-	+	-	-	-	+
mahdollisia ympäristövaikutuksia	++	±	±	±	-	-
hinta	-	++	++	+	+	+

- ei vaikutusta/huono teho

+ vaikuttaa/keskinkertainen teho

++ suuri vaikutus/hyvä teho

Superhydrofiilisen teknologian teoreettisia ja käytössä olevia sovelluksia [7]

Division	Function	Application
Materials for a road	Cleaning easiness	Tunnel lighting, Tunnel wall, Clear soundproof wall
	Self Cleaning by a rainfall	Traffic sign, Lightning, Soundproofed wall, Guardrail, Decorative laminated panel and Reflector on a read
	Anti-fogging property	Road mirror
Materials for a house	Cleaning easiness	Parts of a Kitchen, a Bathroom and Interior furnishings
	Self Cleaning by a rainfall	Exterior tiles, Siding boards, Window, Sash, Screen door, Gate door, Roof, Sun parlor, Handrail of a verandah
	Anti-fogging property	Mirror of a Bathroom and a Dresser
	Accelerated drying	Toilet, Window, Bathroom
Materials for a tall building	Self Cleaning by a rainfall	Window, Sash, Curtain wall, Painted steel plate, Aluminum panel, Tile, Building stone, Crystallized glass, Glass film
Materials for a store	Cleaning easiness	Showcase
	Self Cleaning by a rainfall	Signboard , Fingerpost, Show window, The exterior of a store
	Anti-fogging property	Refrigerated showcase
Materials for agriculture	Self Cleaning by a rainfall, Preventing dewdrops forming	Plastic and Glass greenhouse
Materials for an electric and electronic instrument	Cleaning easiness	Computer display
	Self Cleaning by a rainfall	Upper glass of a solar cell, Insulator
	Preventing dewdrops forming	Heat exchanger of an air conditioner, High-voltage cable
Materials for vehicles	Self Cleaning by a rainfall	Painting and Coating of vehicles , The outside of windows, Headlights
	Anti-fogging property	The inside of windows, Glass film, Helmet visor
	Preventing dewdrops forming	Sideview mirror, Rearview mirror and Windshield of a motorcycle, Sidemirror film
Materials for an optical instrument	Anti-fogging property	Optical lens
Materials for medical instruments and supplies	Bio-compatibility	Contact lens, Catheter
Daily necessities and Consumer products	Cleaning easiness	Tableware, Kitchenware
	Self Cleaning by a rainfall	Spray of anti-fouling coat
	Anti-fogging property	Spray of anti-fogging coat, Anti-fogging film
Paint	All properties mentioned above	Paint, Coat

Kitosaanin käyttökohteita ja sovelluksia eri teollisuusaloilla [13]

Application of antimicrobial property of chitosan.

Support (preparation method)	Application	Tested microorganism
Chitosan acetates	Food preservative ^a	<i>Escherichia coli</i> <i>Staphylococcus aureus</i>
Chitosan and its Maillard reaction products	Food preservative ^a	<i>Bacillus subtilis</i> CCRC 10258
Chitosan-hydroxy propyl methyl cellulose film	Packaging materials ^a	<i>Listeria monocytogenes</i>
Chitosan/polyethylene oxide film	Packaging materials ^a	<i>Escherichia coli</i>
Chitosan-nylon-6/Ag blended membranes	Packaging materials ^a	<i>Escherichia coli</i> <i>Staphylococcus aureus</i>
Polypropylene/chitosan/pectin films	Packaging materials ^a	Bacteria: <i>Clavibacter michiganensis</i> <i>Pseudomonas solanacearum</i> Fungi: <i>Fusarium oxysporum</i> <i>Verticillium albo-atrum</i> <i>Alternaria solani</i> <i>Aspergillus niger</i>
Chitosan-hydroxy propyl methyl cellulose film	Edible films and coatings ^a	<i>Streptococcus</i>
Chitosan	Food additive ^a	<i>Staphylococcus aureus</i>
Alginate/chitosan fibers	Wound dressing materials ^b	<i>Escherichia coli</i> 3588
Quaternised chitosan nano-fibers	Wound-healing applications ^b	<i>Staphylococcus aureus</i> 749 <i>Escherichia coli</i>
Quaternized chitosan derivative/poly (vinyl pyrrolidone) fibers	Wound dressing materials ^b	<i>Staphylococcus aureus</i>
Alginate/carboxymethyl chitosan blend fibers	Wound dressing materials ^b	<i>Staphylococcus aureus</i>
Polypropylene-g-acrylic acid-g-N-isopropylacrylamide-chitosan fabric	Wound dressing materials ^b	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
Chitosan/cellulose blends membrane	Wound dressing materials ^b	<i>Staphylococcus aureus</i> <i>Escherichia coli</i>
Chitosan-Ca ₃ V ₁₀ O ₂₈ complex membrane	Wound dressing materials ^b	<i>Staphylococcus aureus</i> <i>Escherichia coli</i>
Porous chitosan/poly(N-isopropylacrylamide) gel/polypropylene sponge	Wound dressing materials ^b	<i>Escherichia coli</i> <i>Staphylococcus aureus</i>
Chitosan-gelatin sponge	Wound dressing materials ^b	<i>Escherichia coli</i> K88 <i>Streptococcus</i>
Photocrosslinkable chitosan hydrogel	Wound dressing and tissue adhesion ^b	<i>Escherichia coli</i>
Poly(vinyl alcohol)/water-soluble-chitosan hydrogels	Wound dressing materials ^b	<i>Escherichia coli</i>
Chitosan/poly(vinyl alcohol) blended hydrogel membranes	Haemodialysis ^b	<i>Aerococcus</i>
Polyacrylonitrile/chitosan/heparin	Haemodialysis ^b	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 10145
6-O-carboxymethylchitosan/waterborne polyurethanes semi-interpenetrating polymer network membranes	Biomaterial for blood-contracting devices ^b	<i>Escherichia coli</i>
Chitosan/heparin multilayer films	Tissue engineering ^b	<i>Escherichia coli</i>
Trimethyl chitosan and N-diethylmethyl chitosan nanoparticles loaded with insulin	Delivery system ^b	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 29737
N-carboxymethylchitosan N,O-sulfate	Drugs for AIDS ^b	HIV-1
Water soluble carboxymethyl chitosan	Cotton fabric ^c	<i>Escherichia coli</i> <i>Staphylococcus aureus</i>
Poly(n-butyl acrylate) cores and chitosan shells core-shell particles	Cotton fabric ^c	<i>Staphylococcus aureus</i>

Chen et al., 2005a,b, 2006; Deng et al., 2007; Fan et al., 2006; Fu et al., 2005; Fujita et al., 2004; Gama Sosa et al., 1991; Gupta et al., 2007; Hayashi et al., 2007a; Huang et al., 2007; Ignatova et al., 2006, 2007; Knilla et al., 2004; Li et al., 2007; Lin et al., 2004; Ma et al., 2008; Maher et al., 2008; Moller et al., 2004; Sadeghi et al., 2008; Sebt et al., 2007; Wu et al., 2004; Yang and Lin, 2004; Yang et al., 2004, 2008; Ye et al., 2005; Yu et al., 2006; Zivanovic et al., 2007.

^a Food industry.

^b Medical industry.

^c Textile industry.

Kitosaanin erilaisia käyttökohteita eri teollisuuden aloilla [14]

Applications	Benefits/advantages	References
<i>Pharmaceuticals and cosmetics</i>		
Conventional formulations		
Tablet manufacture	Binder; disintegrant; coating; lubricant; diluent	Nunthanid <i>et al.</i> (2004)
Gels	Sustained drug release; enhanced absorption	Kofuji <i>et al.</i> (2004)
Films and membranes	Controlled drug release	Yan <i>et al.</i> (2001)
Emulsions	Stabilizer	Hino <i>et al.</i> (2000)
Microspheres, microcapsules	Mucoadhesive; increased bioavailability; sustained drug delivery; penetration enhancement	Dias <i>et al.</i> (2008)
Ophthalmic formulations	Ocular tolerance; mucoadhesive; wetting and penetration-enhancing properties; antibacterial; prolonged precorneal drug residence	Felt <i>et al.</i> (2000)
Transdermal delivery systems	Enhancement of penetration across epithelia; controlled drug release	He <i>et al.</i> (2008)
Colon-specific drug delivery	Biodegradable by colonic bacteria	Yamamoto <i>et al.</i> (2000)
Targeted cancer therapy	Antitumour; long systemic retention and tumour accumulation, due to enhanced permeability and retention (EPR) effect	Dass and Choong (2008)
Vaccine delivery		
Mucosal vaccination	Induction of mucosal and systemic immune responses; penetration into intestinal and respiratory mucosae	Illum <i>et al.</i> (2001)
Oral vaccination	Protection of antigens from gastric juice, bile acids and salts and from proteolytic enzymes of the gastrointestinal tract	van der Lubben <i>et al.</i> (2001)
Peptide drug delivery	Improving oral bioavailability of peptides and proteins	Bemkop-Schnürch (2000)
Gene/nucleic acid delivery	Safe, non-viral system	Fernandes <i>et al.</i> (2006)
Deodorant formulations	Dermatological compatibility; non-irritating; enhancing fragrance adhesion; deodorizing	Hohle and Griesbach (1999)
Hair and skin care products	Preservative; emulgator; thickener; moisturizer; soothing effect on skin	Pittermann <i>et al.</i> (1997)
<i>Medical and biomedical</i>		
Antacid and anti-ulcerogenic	Demulcent and protective effect on stomach mucosa	Anandan <i>et al.</i> (2004)
Hypoglycaemic, antihypertensive	Lowering of blood glucose level; increasing glucose tolerance and insulin secretion	Lee <i>et al.</i> (2003)
Antioxidant	Scavenging of radicals and chelation of divalent metals	Xie <i>et al.</i> (2001)
Antitumour	Induction of apoptosis in tumour cells	Hasegawa <i>et al.</i> (2001)
Anticoagulant	–	Park <i>et al.</i> (2004b)
Haemostatic	Biological adhesive for soft tissues	Malette <i>et al.</i> (1983)
Spermicidal	Strong binding to mammalian cells	Shigemasa and Minami (1995)
Hypocholesterolaemic; nutritional aid for weight loss	Prevention of fat absorption; reduction of blood lipid levels	Hossain <i>et al.</i> (2007)
Wound dressings; products for wound treatment	Inhibition of fibroplasia; promotion of tissue regeneration and wound-healing with minimal scar formation	Mi <i>et al.</i> (2002)
Contact and bandage lenses	Optical clarity; wound-healing; antimicrobial; mechanical stability; immunological compatibility; optical correction; gas permeability; wettability	Kumar (2000)
Dentistry and oral medicine	Bioadhesive; viscosity-enhancer; prolonged drug release in buccal cavity; permeabilizer; antimicrobial; anti-adhesive; anti-dental caries; treatment of periodontal diseases/oral candidiasis/tooth mobility; reduction of plaque formation	Decker <i>et al.</i> (2005)
Anti-inflammatory	–	Shigemasa and Minami (1995)
Immunopotentiator	Augmenting immunogenicity of co-administered antigens; stimulation of immune system	Okawa <i>et al.</i> (2003)
Surgical sutures and implants	Biodegradable	Suzuki (2000)
Haemodialysis membranes; coating for biomedical devices	Thromboresistance; compatibility with blood; anti-biofilm properties	Shigemasa and Minami (1995); Carlson <i>et al.</i> (2008)
<i>Tissue engineering</i>		
Scaffold for tissue engineering applications	Promoting tissue growth and differentiation	Kawase <i>et al.</i> (1997)
Artificial skin grafts	Non-antigenic; biodegradable template for synthesis of neodermal tissue	Kumar (2000)
<i>Agriculture</i>		
Soil and plant revitalizer	Preventing microbial infection; promoting growth of plants	Mulawarman <i>et al.</i> (2001)
Preservative coating and biofungicide	Sprayed on seeds to extend their storage life	Hirano (1996)
<i>Food industries</i>		
Food processing	Enhances safety, quality and shelf life of food; clarification of liquids; preservative; thickener	Rhoades and Roller (2000); Roller (2003)

Kitosaanin pääasiallisia käyttökohteita ja ominaisuuksia sairaala/lääketeollisuudessa [15]

Principal properties of chitosan in relation to its use in biomedical applications

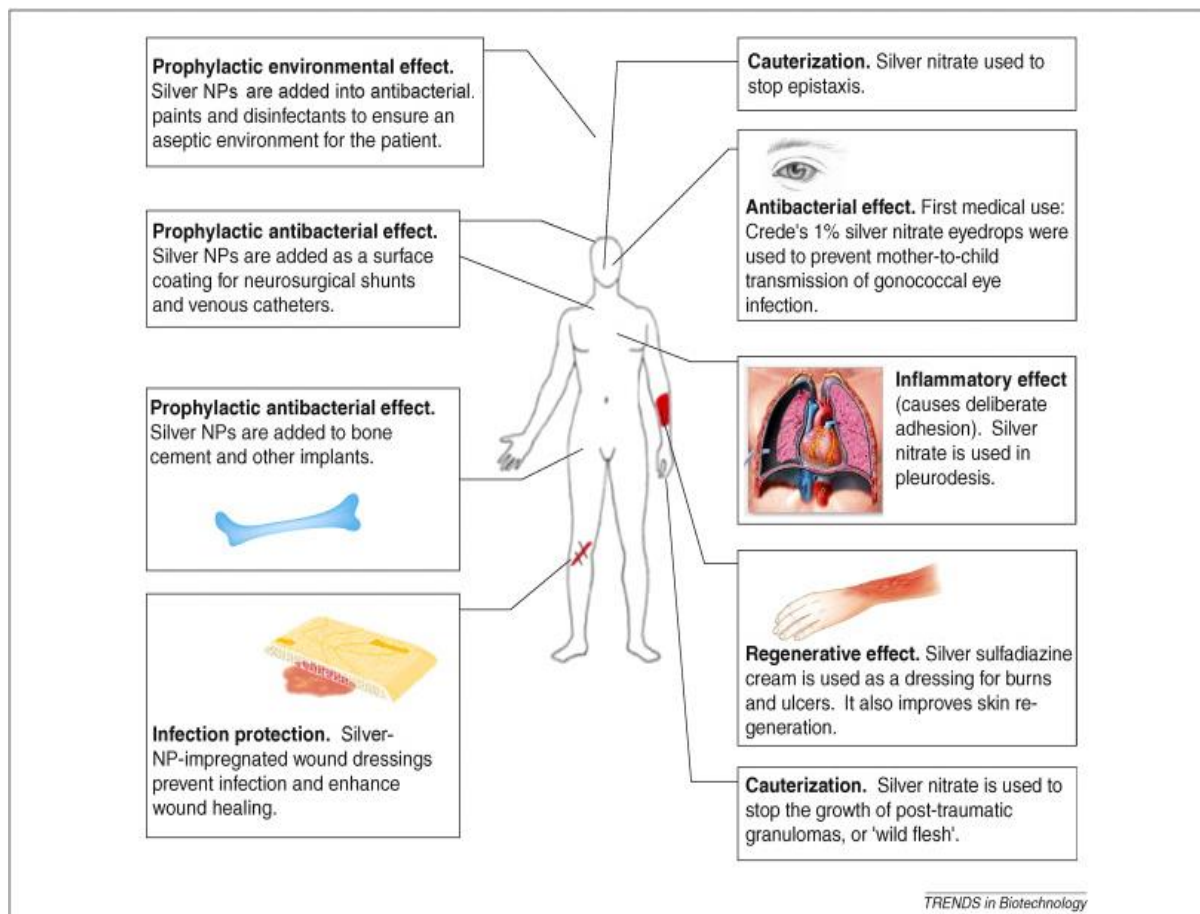
Potential Biomedical applications	Principal characteristics
Surgical sutures	Biocompatible
Dental implants	Biodegradable
Artificial skin	Renewable
Rebuilding of bone	Film forming
Corneal contact lenses	Hydrating agent
Time release drugs for animals and humans	Nontoxic, biological tolerance
Encapsulating material	Hydrolyzed by lyzosome
	Wound healing properties
	Efficient against bacteria, viruses, fungi

Kitosaanin käyttökohteita eri teollisuuden aloilla [15]

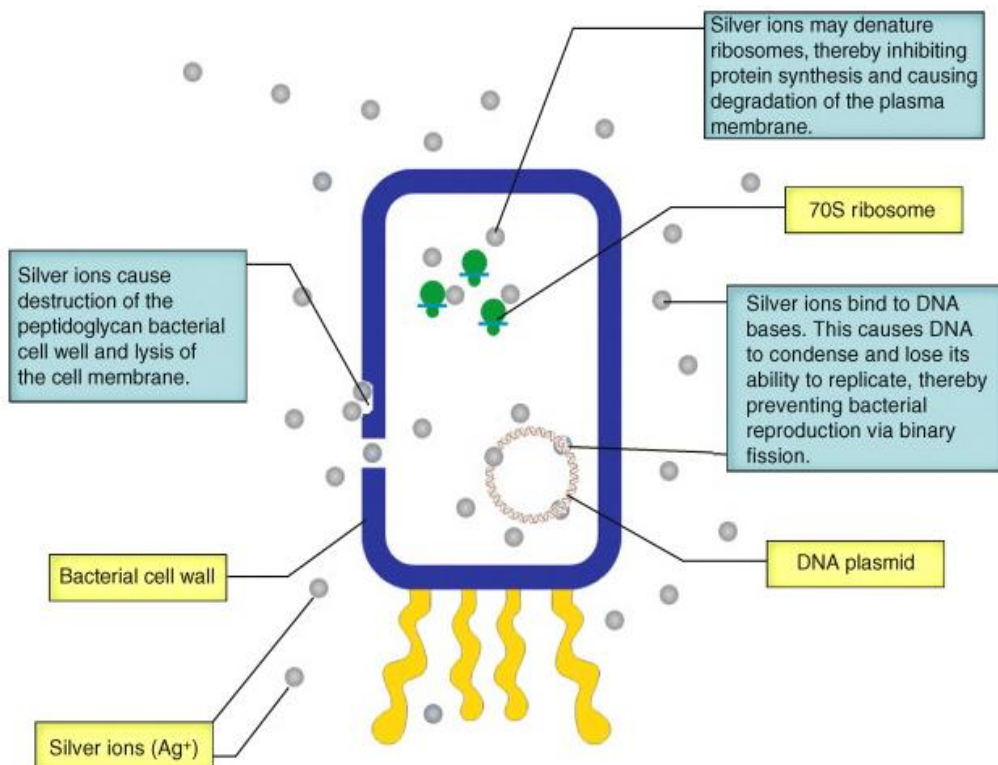
Principal applications for chitosan

Agriculture	Defensive mechanism in plants
	Stimulation of plant growth
	Seed coating, Frost protection
Water & waste treatment	Time release of fertilizers and nutrients into the soil
	Flocculant to clarify water (drinking water, pools)
	Removal of metal ions
Food & beverages	Ecological polymer (eliminate synthetic polymers)
	Reduce odors
	Not digestible by human (dietary fiber)
	Bind lipids (reduce cholesterol)
	Preservative
	Thickener and stabilizer for sauces
Cosmetics & toiletries	Protective, fungistatic, antibacterial coating for fruit
	Maintain skin moisture
	Treat acne
	Improve suppleness of hair
	Reduce static electricity in hair
	Tone skin
Biopharmaceutics	Oral care (toothpaste, chewing gum)
	Immunologic, antitumoral
	Hemostatic and anticoagulant
	Healing, bacteriostatic

Hopean käyttö (oikea puoli kädestä) ja nanohopean käyttö (vasen puoli kädestä) lääketieteessä [16]



Hopeaionien antibakteerinen vaikutus bakteerisolussa [16]



Erilaisia, antimikrobisten nanomateriaalien nykyisiä ja tulevaisuuden mahdollisia käyttösovelluksia [10]

Table 1.
Current and potential applications of antimicrobial nanomaterials

Nanomaterial	Antimicrobial mechanism	Current applications	Potential future applications
Chitosan	Membrane damage, chelation of trace metals	Personal care products, microbicide in agriculture and biomedical products, food wraps, biomedical, flocculants in water and wastewater treatment	Immobilizer of bacteria, enzymes and other biological molecules, biosorbents
<i>n</i> Ag	Release of Ag ⁺ ions, disruption of cell membrane and electron transport, DNA damage	Portable water filters, clothing, medical devices, coatings for washing machines, refrigerators, and food containers	Surface coatings, membranes
TiO ₂	Production of ROS, cell membrane and cell wall damage.	Air purifiers, water treatment systems for organic contaminant degradation	Solar and UV disinfection of water and wastewater, reactive membranes, biofouling-resistant surfaces
CNT	Physically compromise cell envelope	None	Biofouling-resistant membranes, carbon hollow fibers, packed bed filters
ZnO	Intracellular accumulation of nanoparticles, cell membrane damage, H ₂ O ₂ production, release of Zn ²⁺ ions	Antibacterial creams, lotions and ointment, deodorant, self-cleaning glass and ceramics	Surface coating, mouthwash

Elektrolyyttisen veden vaikutus patogeeneihin elintarviketeollisuuden materiaaleissa [29]

Table 2.
Inactivation of food-borne pathogens on food processing materials by electrolyzed oxidizing water

Processing materials	Immersion condition	Indicator	Effectiveness	EO water property			
				pH	ORP (mV)	Free chlorine (mg/L)	Temperature (°C)
Kitchen cutting board	10 min	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	++	2.50	1163	87	23
Kitchen cutting board	20 min	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	++	2.56	1165	80	23
Kitchen cutting board	10 min	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	+++	2.58	1161	87	35
Kitchen cutting board	20 min	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	+++	2.56	1162	90	35
Kitchen cutting board	5 min	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	++	2.46	1154	87	45
Kitchen cutting board	10 min	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	+++	2.51	1157	93	45
Kitchen cutting board	5 min	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	+++	2.29	1147	45	55
Kitchen cutting board	20 min	<i>Listeria monocytogenes</i>	+++	2.50	1156	72	23
Kitchen cutting board	10 min	<i>Listeria monocytogenes</i>	++	2.38	1156	66	35
Kitchen cutting board	10 min	<i>Listeria monocytogenes</i>	++	2.33	1150	52	45
Glass	5 min	<i>Enterobacter aerogenes</i>	++	2.53	1178	53	23
Glass	5 min and 50 rpm	<i>Enterobacter aerogenes</i>	+++	2.53	1178	53	23
Stainless steel	5 min	<i>Enterobacter aerogenes</i>	++	2.53	1178	53	23
Stainless steel	5 min and 50 rpm	<i>Enterobacter aerogenes</i>	+++	2.53	1178	53	23
Glazed ceramic tile	5 min	<i>Enterobacter aerogenes</i>	++	2.53	1178	53	23
Glazed ceramic tile	5 min and 50 rpm	<i>Enterobacter aerogenes</i>	+++	2.53	1178	53	23
Unglazed ceramic	5 min	<i>Enterobacter aerogenes</i>	++	2.53	1178	53	23

Elektrolyyttisen veden vaikutus patogeneihin elintarviketeollisuuden materiaaleissa [29]

Vitreous china	5 min and 50 rpm	<i>Enterobacter aerogenes</i>	+++	2.53	1178	53	23	P _E (2)
Glass	5 min	<i>Staphylococcus aureus</i>	+	2.53	1178	53	23	P _E (2)
Glass	5 min and 50 rpm	<i>Staphylococcus aureus</i>	+++	2.53	1178	53	23	P _E (2)
Stainless steel	5 min	<i>Staphylococcus aureus</i>	+	2.53	1178	53	23	P _E (2)
Stainless steel	5 min and 50 rpm	<i>Staphylococcus aureus</i>	+++	2.53	1178	53	23	P _E (2)
Glazed ceramic tile	5 min	<i>Staphylococcus aureus</i>	+	2.53	1178	53	23	P _E (2)
Glazed ceramic tile	5 min and 50 rpm	<i>Staphylococcus aureus</i>	+++	2.53	1178	53	23	P _E (2)
Unglazed ceramic tile	5 min	<i>Staphylococcus aureus</i>	+	2.53	1178	53	23	P _E (2)
Unglazed ceramic tile	5 min and 50 rpm	<i>Staphylococcus aureus</i>	+++	2.53	1178	53	23	P _E (2)
Vitreous china	5 min	<i>Staphylococcus aureus</i>	+	2.53	1178	53	23	P _E (2)
Vitreous china	5 min and 50 rpm	<i>Staphylococcus aureus</i>	+++	2.53	1178	53	23	P _E (2)
Stainless steel	0.5 min	<i>Listeria monocytogenes</i> biofilms	++	2.40	1163	47	23	A _J (2)
Stainless steel	1 min	<i>Listeria monocytogenes</i> biofilms	++	2.40	1163	47	23	A _J (2)
Stainless steel	2 min	<i>Listeria monocytogenes</i> biofilms	++	2.40	1163	47	23	A _J (2)
Stainless steel	0.5 min	<i>Listeria monocytogenes</i> biofilms	++	2.38	1169	84	23	A _J (2)
Stainless steel	1 min	<i>Listeria monocytogenes</i> biofilms	++	2.38	1169	84	23	A _J (2)
Stainless steel	2 min	<i>Listeria monocytogenes</i> biofilms	++	2.38	1169	84	23	A _J (2)
Stainless steel	1 min	<i>Listeria monocytogenes</i> biofilms	+++	2.6	1160	56	23	Ki
Stainless steel	5 min	<i>Listeria monocytogenes</i> biofilms	+++	2.6	1160	56	23	Ki

+++ , bacterial reduction being more than 6 log CFU/ per unit; ++, bacterial reduction being between 2 and 6 log CFU/ per unit; +, bacterial reduction being less than 2 log CFU/ per unit.

Peretikkahapon teho vaikutus mikrobeihin eri olosuhteissa [34]

Mikro-organismi	PAA [mg/l]	Aika [min]	Lämpötila	pH	eloonjäämis- suhde
<i>Bacillus subtilis</i>	50	5	20°C	5	1:10 ⁴
	30	60	30°C	5	1:10 ⁴
	10	"	50°C	"	"
	5	"	70°C	"	"
	375	60	25°C	5	1:10 ⁵
	"	120	"	"	1:10 ⁵
	"	180	" "	-	
	"	60	"	7	1:10 ³
	"	120	"	"	1:10 ³
	"	300	"	"	1:10 ³
<i>Escherichia coli</i>	20	5	25°C	5	1:10 ⁴
	10	"	" 7	"	
	100	"	"	9	"
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (kasvava)	10	>60	20°C	5	1:10 ⁵
	30	30	" "	"	
	50	10	" "	"	
	"	250	5	"	-
	"	150	"	"	9
(kapseloitunut)	2500	"	" 7	1:10	
	5000	"	"	7	1:10 ⁴

**Peretikkahapon vaikutus eläintauteja aiheuttaviin mikro-organismeihin
[34]**

Tauti / mikro-organismi	Infektoituva eläin / kohde	Laimennus PAA 5%
<i>Newcastlen virus (Newcastlen tauti / lintutauti)</i>	Kana	1:150
<i>Suu- ja sorkkatauti / Aphtho virus</i>	Nauta / Lammas / Sika	1:800
<i>Sikarokko (swine vesicular virus)</i>	Sika (muistuttaa suu- ja sorkkatautia)	1:150
<i>Coxsackie B5 virus (rokkotauti)</i>	(enterovirus)	1:50
<i>Rotavirus (ripuli)</i>	Vasikka / Karitsa / Porsas	1:50
<i>Vaccinia virus (Lehmärokko)</i>	Nauta	1:200
<i>Reovirus</i>	Nauta (hengitystievirus)	1:200
<i>Gumboro-tauti (Bursal virus Dv86)</i>	Kana (imusolmuketauti)	1:200
<i>Ecbo (Enteric Cytopathogenic Bovine Orphan)</i>	(virustauti)	1:100
<i>Aujeszky- taudin virus (pseudorabies)</i>	Sika (herpesvirus)	1:125
<i>Sikarutto (Swine Fever Virus)</i>	Sika	1:125
<i>Mycobacterium fortuitum (tuberkuloosi)</i>	Nauta (keuhkosairaus)	1:50
<i>Staphylococcus aureus (utaretlehdus)</i>	Nauta / Lammas / Hevonen	1:2000
<i>Pseudomonas aeruginosa (keuhkotauti)</i>	Hevonen	1:2000
<i>Proteus mirabilis (Otitis)</i>	Koira (korvatulehdus)	1:666
<i>Proteus vulgaris (Pyderma)</i>	Koira	1:3333
<i>Enterococcus faecium (ripuli)</i>	Kaikki	1:2000
<i>Escherichia coli (ripuli)</i>	Hevonen / Lammas / Sika / Nauta	1:2000
<i>Salmonella typhimurium (salmonella)</i>	Nauta / Lammas / Sika / Hevonen	1:200
<i>Salmonella choleraesuis (salmonella)</i>	Sika	1:200
<i>Bacillus subtilis (antrax-osoitusbakteeri)</i>	Nauta / Lammas / Hevonen	1:200
<i>Bacillus cereus (ripuli)</i>	Kaikki (ruokamyrkytys)	1:40
<i>Clostridium sporonges (bakteeri myrkky)</i>	Kaikki (kaasukuolio)	1:2000
<i>Lactococcus plantarum</i>		1:2000
<i>Pseudomonas putida</i>	(Keuhkotulehdus)	1:175
<i>Candida albicans (sieni-infektio)</i>	Siipikarja / Possut/ Kana	1:400
<i>Saccharomyces cerevisiae (leiviniiva)</i>	(indikaattoriorganismi)	1:225
<i>Absidia corymbifera (sienisairaus)</i>		1:125
<i>Aspergillus versicular (homesieni)</i>		1:100
<i>Cladosporium cladosporoides (homesieni)</i>		1:200
<i>Geotrichum candidum (huulipunahome)</i>		1:1000
<i>Penicillium verrucosum (homesieni)</i>		1:400
<i>Scopulariopsis brevicaulis</i>		1:400

Vaikutusajat eri mikro-organismeihin 5 %:n peretikkahapon käytössä [34]

Mikro-organismi	Laimennus PAA 5%	Aika [min]
Virukset (yleensä)	1:100	30
Bakteerit		
<i>Escherichia coli</i>	1:200	10
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	1:200	10
<i>Salmonella typhimurium</i>	1:200	10
<i>Staphylococcus aureus</i>	1:200	10
<i>Streptococcus faecium</i>	1:200	10
Itiövät bakteerit		
<i>Bacillus cereus</i>	1:20	60
<i>Bacillus subtilis</i>	1:50	60
<i>Clostridium sporogenes</i>	1:200	60
Sienet		
<i>Aspergillus spp.</i>	1:50	15
<i>Penicillium spp.</i>	1:50	15
<i>Penicillium spp.</i>	1:100	2
<i>Candida albicans</i>	1:200	10