

Anna-Maria Hokajärvi • Tarja Pitkänen
Eila Torvinen • Ilkka T. Miettinen

Suolistoperäisten taudinaiheuttajamikrobien esiintyminen luonnonvesissä

Kirjallisuuskatsaus terveysriskeistä ja niiden suuruuteen vaikuttavista tekijöistä

Kansanterveyslaitoksen julkaisuja **B** 1/2008



Kansanterveyslaitos
Folkhälsainstitutet
National Public Health Institute

Kansanterveyslaitoksen julkaisuja

B1 / 2008

Publications of the National Public Health Institute

Anna-Maria Hokajärvi, Tarja Pitkänen, Eila Torvinen ja Ilkka T. Miettinen

SUOLISTOPERÄISTEN TAUDINAIHEUTTAJAMIKROBIEN ESIINTYMINEN LUONNONVESISSÄ

Kirjallisuuskatsaus terveysriskeistä ja niiden suuruuteen vaikuttavista tekijöistä

Kansanterveyslaitos
Ympäristöterveyden osasto
Ympäristömikrobiologian laboratorio

KTL-National Public Health Institute, Finland
Department of Environmental Health
Environmental Microbiology Laboratory

Helsinki 2008

Kansanterveyslaitoksen julkaisuja B1 / 2008

Copyright National Public Health Institute

Julkaisija-Utgivare-Publisher

Kansanterveyslaitos (KTL)

Mannerheimintie 166

00300 Helsinki

Puh. vaihde (09) 474 41, telefax (09) 4744 8408

Folkhälsoinstitutet

Mannerheimvägen 166

00300 Helsingfors

Tel. växel (09) 474 41, telefax (09) 4744 8408

National Public Health Institute

Mannerheimintie 166

FIN-00300 Helsinki, Finland

Telephone +358 9 474 41, telefax +358 9 4744 8408

<http://www.ktl.fi>

ISBN 978-951-740-716-8

ISSN 0359-3576

<http://www.ktl.fi/portal/2920>

Kannen kuva - cover graphic: KTL/YTOS, Anna-Maria Hokajärvi

ESIPUHE

Luonnonvesien virkistyskäytön suosio on kasvanut viime vuosina. Sen myötä myös huoli luonnonvesien virkistyskäyttöön liittyvistä terveysriskeistä on kasvanut. Luonnonvesissä esiintyvät suolistoperäiset taudinaiheuttajamikrobit ovat yksi tärkeimmistä terveysriskeistä liittyen luonnonvesien virkistyskäyttöön. Niiden aiheuttaman terveysriskin suuruuteen vaikuttavat useat tekijät, jotka on tässä kirjallisuuskatsauksessa koottu yhteen. Lisäksi tämä kirjallisuuskatsaus sisältää perustiedot Suomessa yleisesti suolistoinfektioita aiheuttavista taudinaiheuttajamikrobeista. Kirjallisuuskatsauksen tuottaman tiedon perusteella on mahdollista kehittää matemaattinen riskinarviointimalli, minkä avulla luonnonvesissä esiintyvien suolistoperäisten taudinaiheuttajamikrobien aiheuttaman terveysriskin suuruus olisi mahdollista laskea. Myös tämänhetkiset tietopuutteet on tuotu esille katsauksessa.

Tämä kirjallisuuskatsaus on Kansanterveyslaitoksen ympäristöterveyden osaston ympäristömikrobiologian laboratorion projektin ”Suolistoperäiset taudinaiheuttajamikrobit luonnonvesissä (TAULU)” toinen vaihe. TAULU-projektin ensimmäinen vaihe toteutettiin kesällä 2006 pro gradu -tutkielmana (Hokajärvi, 2007) ja tällöin kartoitettiin eräiden suolistoperäisten taudinaiheuttajamikrobien esiintymistä ja esiintymiseen vaikuttavia tekijöitä suomalaisissa uimavesissä. Lisäksi ensimmäisessä vaiheessa selvitettiin jätevedenpuhdistamoiden osuutta suolistoperäisten taudinaiheuttajamikrobien päästölähteenä ja arvioitiin hygieniaindikaattoreiden (*Escherichia coli* -bakteerit ja suolistoperäiset enterokokit) toimivuutta uimavesien laadunvalvonnassa. TAULU-projektin ensimmäisen vaiheen tulokset osoittivat suolistoperäisten taudinaiheuttajamikrobien olevan yleisiä luonnonvesissä.

Yhteistyökumppaneina TAULU-projektissa ovat Kansanterveyslaitoksen ympäristöterveyden osaston ympäristömikrobiologian laboratorion lisäksi olleet Suomen ympäristökeskus ja Kansanterveyslaitoksen bakteeri- ja tulehdustautien osaston suolistobakteerilaboratorio. Projektia ovat rahoittaneet Sosiaali- ja terveysministeriö, Sosiaali- ja terveydenhuollon tuotevalvontakeskus sekä Vesihuoltolaitosten kehittämisrahasto.

Esitän parhaimmat kiitokset rahoittajille ja yhteistyökumppaneille. Lisäksi kiitokset arvokkaista kommentteista Terttu Vartiaiselle, Outi Zacheukselle, Markku Lehtolalle, Anja Siitoselle ja Merja Roivaiselle Kansanterveyslaitokselta, Erkki Santalalle Suomen ympäristökeskuksesta, Saijariina Toivikolle Vesi- ja viemärlaitosyhdistyksestä sekä Helvi Heinonen-Tanskillle Kuopion yliopistosta.

Kuopio, tammikuussa 2008

Anna-Maria Hokajärvi

Tekijät: Anna-Maria Hokajärvi, Tarja Pitkänen, Eila Torvinen, Ilkka T. Miettinen
Suolistoperäisten taudinaiheuttajamikrobien esiintyminen luonnonvesissä – kirjallisuuskatsaus terveysriskeistä ja niiden suuruuteen vaikuttavista tekijöistä
Kansanterveyslaitoksen julkaisuja, B1/2008, 77 sivua
ISBN 978-951-740-716-8 (pdf-versio)
ISSN 0359-3576
<http://www.ktl.fi/portal/2920>

TIIVISTELMÄ

Väestön määrän lisääntyessä luonnonvesiä tulisi pystyä käyttämään useisiin eri tarkoituksiin samanaikaisesti. Nämä tarkoitukset voivat olla keskenään ristiriitaisia. Vesistöjen turvallista virkistyskäyttöä varten uimavesien laadulle on asetettu tietyt vaatimukset, mitkä uimaveden on täytettävä.

Tämän kirjallisuuskatsauksen tavoitteena on koota yhteen perustiedot Suomessa yleisesti suolistoinfektioita aiheuttavista mikrobeista ja kartoittaa luonnonvesissä esiintyvien taudinaiheuttajamikrobien aiheuttaman terveysriskin suuruuteen vaikuttavia tekijöitä. Tämän kirjallisuuskatsauksen avulla kootaan yhteen olemassa olevaa tietoa ja kartoitetaan tietopuutteita mahdollista myöhemmin tuotettavaa terveysriskin suuruuden määrittävää riskinarviointimallia varten.

Suomessa esiintyy vuosittain useita sekä bakteerien, virusten että alkueläinten aiheuttamia suolistoinfektioita. Useita näistä taudinaiheuttajista on todettu eri maissa esiintyvän myös luonnonvesissä, minkä välityksellä ne ovat aiheuttaneet infektioita veden virkistyskäyttäjille. Suolistoperäiset taudinaiheuttajamikrobit päätyvät luonnonvesiin tavallisimmin ihmisen toiminnan seurauksena. Jätevesi on yksi merkittävistä suolistoperäisten taudinaiheuttajien lähteistä, sillä taudinaiheuttajat selviävät jätevedenpuhdistusprosessin läpi. Myös veden virkistyskäyttäjät itse ovat merkittävä suolistomikrobien lähde. Lisäksi eläinten ulosteiden mukana suolistomikrobeja pääsee huuhtoutumaan luonnonvesiin. Lähteiden selvittämiseksi on nykyisin olemassa useita molekyylibiologiaan ja biokemiaan perustuvia menetelmiä. Eri päästölähteiden tarkempaa kartoittamista varten menetelmiä tulisi kehittää edelleen.

Luonnonvesissä esiintyvien taudinaiheuttajien aiheuttaman terveysriskin suuruutta voidaan arvioida esimerkiksi QMRA- (quantitative microbial risk assessment) ja HACCP- (hazard analysis and critical control points) mallien avulla. Terveysriskin suuruutta arvioitaessa on otettava huomioon useita eri tekijöitä, kuten esimerkiksi taudinaiheuttajien säilyvyys vedessä sekä veden virkistyskäyttäjien ominaisuudet ja käyttäytyminen. Muun muassa veden lämpötilalla on merkittävä vaikutus mikrobien säilyvyyteen vedessä; suolistomikrobit säilyvät paremmin viileässä kuin lämpimässä vedessä. Virkistyskäyttäjien

osalta terveystriskin suuruuteen vaikuttavat etenkin kontaktiaika veden kanssa sekä henkilön immuunijärjestelmän tila. Useimpien suolistoinfektioiden aiheuttajien infektiivinen annos on melko alhainen, mikä lisää terveystriskiä.

Suomalaisissa luonnonvesissä esiintyvien taudinaiheuttajien aiheuttaman terveystriskin suuruuden arvioimiseksi tulisi saada enemmän tietoa taudinaiheuttajien esiintymisestä ja säilyvyydestä maamme luonnonvesissä. Systemaattisen luonnonvesien välityksellä tapahtuvien epidemioiden raportointijärjestelmän puuttumisen vuoksi Suomessa veden virkistyskäytön välityksellä tapahtuneita infektioita on raportoitu vain muutamia. Lisäselvityksiä yksittäisten infektioiden tartuntalähteistä tarvitaan luonnonvesissä esiintyvien taudinaiheuttajamikrobien aiheuttamien terveystriskien arvioimiseksi.

Asiasanat: uimavesi, jätevesi, virkistyskäyttö, suolistoperäiset taudinaiheuttaja-mikrobit, terveystriski.

Författarna: Anna-Maria Hokajärvi, Tarja Pitkänen, Eila Torvinen, Ilkka T. Miettinen
Förekomsten av patogena tarmkanalsmikrober i naturliga vatten – litteraturöversikt om hälsorisker och om faktorer påverkande deras storlek
Folkhälsoinstitutets publikationer, B1/2008, 77 sidor
ISBN 978-951-740-716-8 (pdf -version)
ISSN 0359-3576
<http://www.ktl.fi/portal/2920>

SAMMANDRAG

Vid ökande befolkningen skulle man kunna utnyttja naturliga vatten samtidigt för flera olika ändamål. Dessa ändamål kan vara med varandra kontroversiella. För säkert rekrea-tionsbruk har man utställt vissa krav på vattenkvaliteten, vilka badvattnet måste uppfylla.

Syftet av denna litteraturöversikt är att samla upp information om mikrober, som i Fin-land allmänt orsakar tarminfektioner, samt kartlägga storleken av faktorer påverkande hälsorisker orsakade av patogena bakterier som förekommer i naturliga vatten. Med hjälp av denna översikt samlas ihop existerande data och kartläggas brister på informa-tion för en möjligt senare konstruerade riskuppskattningsmodell för att bestämma stor-leken av hälsorisker.

I Finland förekommer det årligen flera tarminfektioner orsakade av både bakterier, virus och protozoer. Flera av dessa patogena mikrober har man i flera länder upptäckt också i naturvatten, genom vilket de har orsakat infektioner hos rekreatationsanvändare av vatten. Sjukdomsorsakande, från tarmen härstammande mikrober hamnar till naturliga vatten vanligtvis genom människans aktiviteter. Avloppsvatten är en av de avsevärda källor av dessa mikrober, ty sjukdomsorsakande mikrober från avföringar klarar sig genom av-loppsvattens rengörningsprocess. Också vattnet rekreatationsanvändare själva är en bety-dande källa av från tarmen härstammande mikrober. Dessutom kan tarmmikrober spolats till naturliga vattendrag medels avföringar av djur. Nuförtiden finns det flera metoder för att reda ut källor, som baserar i molekylärbiologi eller biokemi. Man borde vidare uppveckla metoder för att noggrannare kartlägga olika utsläppskällor.

Storleken av hälsorisker orsakad av sjukdomsalstrande mikrober i naturliga vatten kan man uppskatta t.ex. med QMRA- (quantitative microbial risk assessment) och HACCP- (hazard analysis and critical control points) modeller. När man bedömer storleken av hälsorisk bör man ta hänsyn till flera olika faktorer, liksom till exempel hållbarheten av sjukdomsorsakande mikrober i vatten samt egenskaper och beteende av vattnets rekrea-tionsanvändare. Temperaturen har betydande inverkan för mikrobernas hållbarhet i vat-ten; tarmmikrober överlever bättre i sval än i varm vatten. För rekreatationsanvändare påverkar särskilt kontakttiden med vatten och personliga immunologiska tillståndet stor-

leken av hälsorisen. För de flesta mikrober orsakande tarminfektioner är deras infekti-
va portioner ganska låga, vilket höjer hälsorisen.

För att bedöma storleken av hälsorisen orsakat av patogena mikrober som förekommer i
finska naturvatten borde man få mer information om förekomsten och hållbarheten av
patogena mikrober i naturvatten i vårt land. När det saknas en behörig rapporteringssy-
stem av epidemier orsakad av naturvatten har man i Finland rapporterat endast några
epidemier medlad för rekreationsbruk av vatten. Vidare utredningar är nödvändiga för att
bedöma hälsorisker orsakade av patogena mikrober som förekommer i naturliga vatten.

Ämnesord: badvatten, avloppsvatten, rekreationsanvändning, patogener från tarmen,
hälsörisk.

Authors: Anna-Maria Hokajärvi, Tarja Pitkänen, Eila Torvinen, Ilkka T. Miettinen
Occurrence of intestinal pathogens in surface water – review about health risks and factors influencing on the degree of the health risks
Publications of the National Public Health Institute, B1/2008, 77 Pages
ISBN 978-951-740-716-8 (pdf -version)
ISSN 0359-3576
<http://www.ktl.fi/portal/2920>

ABSTRACT

The number of people increases worldwide and accordingly demands for the different and possibly contradictory purposes of the use of surface waters are increasing. Bathing water quality requirements are supposed to guarantee the safe use of recreational waters.

The aim of this review is to put together the basic information about the usual enteric microbes causing gastrointestinal illnesses in Finland. Also factors influencing on the degree of the health risk caused by enteric pathogens in surface waters are investigated. In this review the existing information is gathered and information gaps are sought. By means of information found out in this review, it is possible to make a model for estimation of the degree of the health risk caused by enteric pathogens in surface waters.

There are many gastrointestinal illness cases caused by bacteria, viruses and protozoa annually in Finland. Many of these pathogens are found also in surface waters worldwide and the users of recreational waters have encountered waterborne infections. Enteric pathogens end up to the surface waters mainly through human activities. Sewage is one of the most important sources of enteric pathogens because these pathogens can survive through sewage treatment processes. Also recreational water users themselves are important sources of intestinal microbes. In addition to humans, for example animals are sources of intestinal microbes. Nowadays there are many methods based on molecular biology and biochemistry for microbial source tracking. Anyway, methods should be developed even further since more detailed information about the sources is needed.

Models like QMRA (quantitative microbial risk assessment) and HACCP (hazard analysis and critical control points) can be used for estimation of the degree of the health risk caused by pathogens occurring in surface waters. When estimating the degree of the health risk, many factors, like the survival of pathogens in the water and characteristics and behaviour of recreational water users, should be taken into account. Among other things, water temperature has a significant influence on the survival of pathogens in the water. Intestinal microbes survive better in cool than warm water. Among recreational water users, the contact time with water and the status of the immune system have influence on the degree of the health risk. Most enteric pathogens have a low infective dose, which increases the degree of the health risk.

More information is needed about the occurrence and survival of pathogens in Finnish surface waters before the degree of the health risk caused by pathogens occurring in surface waters can be estimated. Outbreaks associated with recreational water use are rarely reported in Finland. Reason for this may be that the systematic illness outbreak reporting system does not include bathing waterborne infections. For estimation of the health risks associated with enteric pathogens occurring in surface waters more information about infection sources causing sporadic infections should be collected.

Keywords: bathing water, waste water, recreational use, intestinal pathogens, health risk.

ESIPUHE

TIIVISTELMÄ

SAMMANDRAG

ABSTRACT

SISÄLLYS – CONTENTS

1	JOHDANTO	12
	1.1 UIMAVESIEN LAADUN VALVONTA.....	12
	1.1.1 Indikaattorimikrobit.....	12
	1.1.2 Uimavesien laadunvalvonta Suomessa	13
2	KIRJALLISUUSKATSAUKSEN TAVOITTEET	16
3	TAVALLISIMMAT SUOLISTOINFEKTIOITA AIHEUTTAVAT MIKROBIT SUOMESSA	17
	3.1. BAKTEERIT	18
	3.1.1 Kampylobakteerit	18
	3.1.2 Salmonellat	20
	3.1.3 Shigellat	22
	3.1.4 Yersiniat	23
	3.1.5 Vibriot	24
	3.1.6 Suolistoinfektioita aiheuttavat <i>E. coli</i> –bakteerit.....	25
	3.2 VIRUKSET	26
	3.2.1 Rotavirukset.....	26
	3.2.2 Norovirukset.....	28
	3.2.3 Adenovirukset	29
	3.2.4 Astrovirukset	30
	3.2.5 Coxsackievirukset	31
	3.3 ALKUELÄIMET	32
	3.3.1 <i>Cryptosporidium</i>	32
	3.3.2 <i>Giardia</i>	33
4	SUOLISTOMIKROBIEN PÄÄSTÖLÄHTEET	35
	4.1 LUONNONVESISTÄ LÖYDETTYJEN SUOLISTOMIKROBIEN LÄHTEITÄ	35
	4.1.1 Jätevesi	35
	4.1.2 Hulevedet.....	39
	4.1.3 Luonnoneläimet ja ympäristö.....	40

4.1.4	Maatalous	41
4.1.5	Laivaliikenne	41
4.1.6	Vesien virkistyskäyttäjät	42
4.2	MENETELMIÄ LUONNONVESISTÄ LÖYDETTYJEN MIKROBIEN ALKUPERÄN TUTKIMISEKSI.....	42
5	MIKROBIEN SÄILYVYYS LUONNONVESISSÄ	45
5.1	VEDEN LÄMPÖTILA	45
5.2	HAPEN MÄÄRÄ VEDESSÄ	46
5.3	VEDEN PH.....	46
5.4	UV-SÄTEILY	47
5.5	RAVINTEIDEN MÄÄRÄ JA MUUT MIKROBIT VEDESSÄ.....	48
6	VESIEN VIRKISTYSKÄYTTÄJÄT JA TAUDINAIHEUTTAJIEN AIHEUTTAMAN TERVEYSRISKIN SUURUUS	50
6.1	SUORA KONTAKTI VEDEN KANSSA JA NIELLYN VEDEN MÄÄRÄ.....	50
6.2	VEDEN VIRKISTYSKÄYTTÄJÄN IMMUUNIJÄRJESTELMÄN TILA.....	51
6.3	ESTEETTISET TEKIJÄT LUONNONVESISSÄ	52
7	LUONNONVESIEN VIRKISTYSKÄYTTÖÖN LIITTYVÄT INFEKTIOT	53
7.1	LUONNONVESIVÄLITTEISET INFEKTIOT SUOMESSA	54
8	MIKROBIOLOGISEN RISKIN ARVIOINTI	56
8.1	KVANTITATIIVINEN MIKROBIOLOGISEN RISKIN ARVIOINTI (QUANTITATIVE MICROBIAL RISK ASSESSMENT, QMRA)	56
8.2	VAARAN ARVIOINTI JA KRIITTISET HALLINTAPISTEET (HAZARD ANALYSIS AND CRITICAL CONTROL POINTS, HACCP).....	57
8.3	LUONNONVESISSÄ UIMISEEN LIITTYVIEN RISKIEN ARVIOINTI.....	58
9	YHTEENVETO	59
	Lähteet	61

1 JOHDANTO

Väestön määrä lisääntyy maailmassa jatkuvasti ja samalla kasvavat vaatimukset vapaa-ajan vietolle ja myös luonnonvesien hyötykäytölle. Tästä seuraa jatkuvasti kasvavat paineet muun muassa siitä, että samaa vesistöä tulisi pystyä käyttämään useisiin eri tarkoituksiin, kuten uimiseen ja muuhun virkistyskäyttöön, talousveden raakavetenä sekä jätevedenpuhdistamoiden purkuvesistöinä (Standish-Lee ja Loboschefskey, 2006). Suomessa väestön määrä ei lisäännä, mutta väestön keskittyminen tietyille alueille aiheuttaa samanlaisia paineita. Nykyisin luonnonvesien virkistyskäyttö on ympärivuotista, eikä ole rajoittunut ainoastaan kesän uimakautteen (Pond, 2005). Suomen olosuhteissa ympärivuotinen käyttö kesäajan ulkopuolella tarkoittaa lähinnä avantouintia sekä esimerkiksi kalastusta. Veden virkistyskäyttö voidaan jakaa kahteen eri tyyppiin sen mukaan ollaanko veteen kosketuksissa koko vartalolla (esimerkiksi uiminen ja lainelautailu) vai ei (esimerkiksi melonta). Ensin mainitussa ryhmässä veden nielemisen mahdollisuus on suurempi ja siten myös riski taudinaiheuttajien elimistöön päätymiselle kasvaa (WHO, 2003). Taudinaiheuttajat voivat päätyä elimistöön myös hengityksen tai esimerkiksi avoimen haavan välityksellä (EPA, 1999). Veden virkistyskäytöstä aiheutuvaa terveysriskiä arvioitaessa on otettava huomioon paitsi esimerkiksi uimisesta saatava liikunnallinen hyöty, mutta myös mahdollisuus sairastumiseen (WHO, 2003).

1.1 UIMAVESIEN LAADUN VALVONTA

Jotta vesien virkistyskäytöstä saatava hyöty saataisiin maksimoitua ja samalla veden turvallinen laatu taattua, uimavesien laadulle on annettu tietyt vaatimukset, jotka sen tulee täyttää (WHO, 2003).

1.1.1 Indikaattorimikrobit

Indikaattorimikrobeilla pyritään osoittamaan suolistoperäisten taudinaiheuttajien esiintyminen esimerkiksi uimavesien laadunvalvonnan yhteydessä. Hyvän indikaattorimikrobin ominaisuuksiin kuuluu, että se esiintyy runsaana siellä, missä taudinaiheuttajamikrobitkin, eikä

se lisääntynyt suoliston ulkopuolella. Lisäksi sen olisi hyvä kestää ympäristöolosuhteita ja desinfiointia vähintään yhtä hyvin kuin taudinaiheuttajien (Pitkänen, 2004). Indikaattorimikrobeja tarvitaan, koska mahdollisesti vedessä olevat taudinaiheuttajat esiintyvät yleensä pieninä pitoisuuksina ja lisäksi monet taudinaiheuttajista ovat luultavasti vielä tuntemattomia. Taudinaiheuttajamikrobeja varten kehitetyt menetelmät ovat usein kalliita ja analyysien teko vie myös paljon aikaa. Indikaattorimikrobeille kehitetyt menetelmät taas ovat yksinkertaisia ja melko edullisia (Edberg ym., 2000).

Escherichia coli -bakteeria esiintyy kaikkien nisäkkäiden ulosteissa. Koska sitä esiintyy ulosteessa, sen esiintyminen vedessä kertoo ulosteperäisestä saastumisesta ja mahdollisesta terveystorjunnasta (Edberg ym., 2000). *E. coli* kuuluu koliformisiin bakteereihin. *Escherichia* -suvun lisäksi tähän ryhmään kuuluvia sukuja ovat mm. *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Serratia* ja *Citrobacter*. *E. coli* on kuitenkin ainoa ulostesaastumisen indikaattori, koska muihin mainittuihin sukuihin kuuluvia bakteereja esiintyy yleisesti ympäristössä (Edberg ym., 2000).

Myös suolistoperäiset enterokokit kuuluvat lähes kaikilla nisäkkäillä suoliston normaaliin mikrobistoon. Ne ovat lisäksi yksi merkittävimmistä sairaalainfektioiden aiheuttajabakteereista (Emori ja Gaynes, 1993; Edberg ym., 2000). Ihmisen ulosteessa niitä esiintyy kuitenkin pienempi määrä kuin *E. coli* -bakteereja (Borrego ym., 2002). Tästä kertoo muun muassa suolistoperäisten koliformien ja enterokokkien määrien välinen suhde, jonka on todettu olevan yli 4, mikäli mikrobit ovat peräisin ihmisen ulosteesta. (Geldreich ja Kenner, 1969). Enterokokit ovat hyvin resistenttejä suolalle ja ne ovatkin hyviä hygieniaindikaattoreita merivedessä (Edberg ym., 2000). Enterokokkien on todettu myös säilyvän paremmin vesiympäristössä kuin *E. coli* -bakteerien (Borrego ym., 2002).

1.1.2 Uimavesien laadunvalvonta Suomessa

Terveysturvallisuuslaki (763/1994) ja -asetus (1280/1994) sisältävät yleisten uimarantojen veden laatua ja valvontaa koskevat määräykset. Sosiaali- ja terveysministeriö (STM) on antanut päätöksissään 292/1996 ja 41/1999 tarkempia määräyksiä yleisten uimarantojen uima-veden laadun valvonnasta ja laatuvaatimuksista. Päätökset sisältävät laatuvaatimukset uima-veden mikrobiologiselle (koliformiset bakteerit, fekaaliset koliformiset bakteerit tai *E. coli*, suolistoperäiset enterokokit, enterovirukset, bakteriofaagit ja salmonella), fysikaalis-kemialliselle (pH ja hapen kyllästysaste) ja aistinvaraisesti havaittaville muuttujille (väri, näkösyvyys, mineraaliöljyt, pinta-aktiiviset aineet, fenolihdisteet, terva-aineet, kelluvat materiaalit ja sinilevät eli syanobakteerit). Periaatteena on, ettei uimavedestä saa aiheutua terveyshaittoja vedessä uiville. Päätöksissä on huomioitu uimaveden laadusta annetun neuvoston direktiivin 76/160/ETY vaatimukset.

EU-uimarannaksi eli suureksi yleiseksi uimarannaksi määritellään ranta, jossa suurin kävijämäärä on vähintään 100 henkilöä yhden päivän aikana. Näihin rantoihin sovelletaan molempia STM:n antamia päätöksiä, sekä 292/1996 että 41/1999. EU-uimarannoilla on asetettu mikrobiologiset (STM 41/1999) raja-arvot siten, että koliformisten bakteerien määrän tulee olla alle 10 000 pmy/100 ml, fekaalisten koliformisten bakteerien (johon ryhmään myös *E. coli* kuuluu) määrän tulee olla alle 500 pmy/100 ml ja fekaalisten streptokokkien (eli nykyiseltä nimeltään suolistoperäisten enterokokkien) määrän tulee olla alle 200 pmy/100 ml. EU-uimarantoja pienempiin yleisiin uimarantoihin sovelletaan STM:n päätöksen 292/1996 laatuvaatimuksia. Tämän päätöksen mukaan uimaveden *E. coli* -bakteeripitoisuuden tulee olla alle 500 pmy/100 ml ja fekaalisten streptokokkien pitoisuuden alle 200 pmy/100 ml.

Uimavesien valvonta uudistuu

Vuodelta 1975 peräisin oleva uimavesidirektiivi (76/160/ETY) on korvattu uudella direktiivillä. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/7/EY uimaveden laadun hallinnasta ja direktiivin 76/160/ETY kumoamisesta astui voimaan maaliskuussa 2006. Uusi uimavesidirektiivi tullaan kansallisesti panemaan täytäntöön viimeistään vuoden 2008 alussa. Uudessa uimavesidirektiivissä uimavedellä tarkoitetaan vesistöä, jossa ui huomattava määrä ihmisiä ja jolle toimivaltainen viranomais ei ole asettanut pysyvää uimakieltoa. Harkinnanvaraista on, kuinka paljon on huomattava määrä ihmisiä. Suomessa tästä harkinnasta vastaa STM (Sosiaali- ja terveysministeriö, 2005).

Uuden direktiivin mukaan jokaisella jäsenvaltiolla tulee olla luettelo alueensa uimavesistä ja luettelossa mainituille uimarannoille laaditaan säännöllisesti päivitettävä uimavesiprofiili. Uimavesiprofiilissa kuvataan kyseisen rannan uimaveden ominaisuudet, päästölähteet, jotka vaikuttavat uimaveteen sekä näiden päästölähteiden merkitys uimaveden laatuun ja uimareiden terveyteen (Sosiaali- ja terveysministeriö, 2005).

Uuden uimavesidirektiivin myötä uimavesien laadun arviointi tehdään neljän uimakauden valvontatutkimustulosten perusteella entisten yksittäisten näytetulosten sijaan. Uutta on myös se, että entisten, uimavesidirektiivissä 76/160/ETY mainitun 19 muuttujan sijaan uimavesien laadun arviointiin käytetään vain kahta mikrobiologista muuttujaa, suolistoperäisiä enterokokkeja sekä *E. coli* -bakteereja (Sosiaali- ja terveysministeriö, 2005). Näiden mikrobiologisten muuttujien valvontatutkimustulosten perusteella uimavesi luokitellaan erinomaiseksi, hyväksi, riittäväksi tai huonoksi.

E. coli -bakteerien ja suolistoperäisten enterokokkien raja-arvot erinomaisen ja riittävän laadun saavuttamiseksi sisämaan ja rannikkojen uimavesissä on esitetty taulukossa 1. Myös hyväksi luokitellulle uimavedelle on direktiivissä asetettu raja-arvot. Näitä raja-arvoja käytettäessä otetaan huomioon vähintään 16 valvontatutkimustulosta, joten näitä raja-arvoja ei voi käyttää yksittäisiä tuloksia arvioitaessa (Euroopan neuvosto, 2006).

Taulukko 1. Uuden uimavesidirektiivin (2006/7/EY) mukaiset raja-arvot *E. coli* -bakteereille ja suolistoperäisille enterokokeille erinomaisen ja riittävän laadun saavuttamiseksi sisämaan ja rannikkojen uimavesissä (Euroopan neuvosto, 2006).

	<i>E. coli</i> erinomainen laatu *	<i>E. coli</i> riittävä laatu **	Suolistoperäiset enterokokit erinomainen laatu *	Suolistoperäiset enterokokit riittävä laatu **
Sisämaan uimavedet	500 pmy/100 ml	900 pmy/100 ml	200 pmy/100 ml	330 pmy/100 ml
Rannik- kovedet	250 pmy/100 ml	500 pmy/100 ml	100 pmy/100 ml	185 pmy/100 ml

* Perustuu 95. prosenttipisteeseen

** Perustuu 90. prosenttipisteeseen

2 KIRJALLISUUSKATSAUKSEN TAVOITTEET

Kirjallisuuskatsaus:

- kokoaa yhteen olemassa olevat perustiedot Suomessa yleisesti suolistoinfektioita aiheuttavista taudinaiheuttajamikrobeista ja niiden mahdollisesta esiintymisestä ja säilyvyydestä luonnonvesissä.
- kartoittaa eri tekijöitä, jotka vaikuttavat luonnonvesissä esiintyvien suolistoperäisten taudinaiheuttajamikrobien aiheuttaman terveysriskin suuruuteen veden virkistyskäytön kannalta.
- tuottaa tietoa matemaattista riskinarviointimallia varten, minkä avulla luonnonvesissä esiintyvien taudinaiheuttajien aiheuttaman terveysriskin suuruus olisi mahdollista laskea tarkemmin kaikki vaikuttavat tekijät huomioon ottaen.
- tuo esiin tietopuutteita, jotka olisi tarpeen selvittää ennen kuin varsinaisia riskinarviointeja voidaan suorittaa.

3 TAVALLISIMMAT SUOLISTOINFEKTIOITA AIHEUTTAVAT MIKROBIT SUOMESSA

Tässä kappaleessa esiteltävät suolistoinfektioita aiheuttavat mikrobit on valittu mukaan Kansanterveyslaitoksen ylläpitämän valtakunnallisen tartuntatautirekisterin tietojen perusteella (<http://www3.ktl.fi/stat/>). Mukana on myös muutamia mikrobeja, joita tartuntatautirekisterissä ei ole mainittu, mutta jotka on katsottu tärkeiksi taudinaiheuttajiksi veden virkistyskäytön kannalta. Tässä kirjallisuuskatsauksessa ei ollut mahdollista esitellä kaikkia mikrobeja, joten kappaleesta voi puuttua veden virkistyskäytön kannalta tärkeitä suolistomikrobeja. Myös WHO (2007a) on laatinut kattavan listan tyypillisistä vesivälitteisiä infektioita aiheuttavista mikrobeista ja niiden merkityksestä vesiympäristössä. Taulukossa 2 on koottu yhteen tässä katsauksessa esiteltävät mikrobit, niiden tavanomaiset infektiiviset annokset terveelle henkilölle ja mikrobien lähteet. Lisäksi on mainittu, mikäli on tiedossa kyseisen mikrobin aiheuttamia infektioita liittyen veden virkistyskäyttöön.

Taulukko 2. Yleisimmät suolistoperäiset taudinaiheuttajamikrobit infektiotilanteeseen ja lähteeseen sekä tieto maailmalla esiintyneistä ja raportoiduista infektiosta liittyen veden virkistyskäyttöön.

Mikrobi	Infektiivinen annos	Mikrobilähde	Infektioita ?
Kampylobakteerit	500 organismia (maidossa)	Tasalämpöiset eläimet	Kyllä
Salmonellat	> 10 000 organismia	Ihmiset ja eläimet	Kyllä
Shigellat	noin 100 organismia	Ihmiset ja kädelliset apinat	Kyllä
Yersiniat	> 10 000 organismia	Eläimet, maaperä, vesistöt	Ei
Vibriot	> 10 000 organismia	Meri- ja murtovesi sekä ihmiset	Kyllä
EHEC	1-100 organismia	Ihmiset ja eläimet	Kyllä
Rotavirukset	1-100 partikkelia	Ihmiset (ja eläimet)	Ei
Norovirukset	10-100 partikkelia	Ihmiset	Kyllä
Adenovirukset	1-100 partikkelia	Ihmiset	Kyllä
Astrovirukset	1-100 partikkelia	Ihmiset ja eläimet	Kyllä
Coxsackievirukset	alle 18 partikkelia	Ihmiset	Kyllä
Cryptosporidium	alle 10 ookystia	Ihmiset ja eläimet	Kyllä
Giardiat	1-100 kystia	Selkärangaiset	Kyllä

3.1. BAKTEERIT

3.1.1 Kampylobakteerit

Kampylobakteerit ovat *Campylobacteraceae*-heimoon kuuluvia gramnegatiivisia bakteereja. Muodoltaan ne ovat spiraalimaisia, ohuita ja vilkasliikkeisiä sauvoja. Kampylobakteerit ovat

0,2–0,9 µm leveitä ja 0,5–5 µm pitkiä. Kampylobakteerien liikkumista suolistossa helpottavat spiraalimainen solumuoto yhdessä polaarisen flagellan kanssa, sillä tämä mahdollistaa kampylobakteerien nopean pyörimisen akselinsa ympäri (Manfred ja Bereswill, 2001). Kampylobakteerilajeista *Campylobacter jejuni* ja *Campylobacter coli* ovat tavallisimpia suolistotulehduksen aiheuttajia maailmanlaajuisesti (Wassenaar ja Newell, 2000). Myös *C. upsaliensis* ja *C. lari* voivat aiheuttaa infektiota ihmisillä, mutta *C. lari* taudinaiheuttamiskyky on alhainen (Vahteristo ym., 2003).

Kampylobakteereita esiintyy tasalämpöisten eläinten suolistossa (Hänninen, 2005). *C. jejuni* on eristetty erityisesti siipikarjasta. Sitä esiintyy myös lampailla, naudoilla, koirilla ja kissoilla. *C. coli* on tyypillinen erityisesti sioilla, ja se voi asettua myös pääskysten suolistoon (Manfred ja Bereswill, 2001; Vahteristo ym., 2003). Bakteerimäärät voivat vaihdella suolistossa muutamasta tuhannesta kymmeniin miljooniin ulostegrammaa kohden. Koska kampylobakteereilla on useita eri isäntäeläimiä, sitä pääsee ulosteen mukana runsaita määriä ympäristöön (Hänninen, 2005). Kampylobakteereilla on ainutlaatuiset vaatimukset kasvuolosuhteille. Bakteerit ovat mikroaerofiilisiä eli kasvu vaatii alhaisen happiosapaineen (Manfred ja Bereswill, 2001; Vahteristo ym., 2003). Epäsuotuisille olosuhteille altistuttuaan kampylobakteerisolut muuntuvat muodoltaan pyöreiksi (ns. kokkoidimuoto) ja menettävät viljeltyvyytensä (VBNC, viable but not culturable) (Tholozan ym., 1999). Tässä muodossa kampylobakteerisolujen oletetaan pystyvän säilymään paremmin elinkykyisinä ja myös infektiokykyisinä epäsuotuisissa olosuhteissa.

Kampylobakteeri-infektion tyypillisiä lähteitä ovat ulosteella saastuneet elintarvikkeet ja vesi (Kansanterveyslaitos, 2006a). Myös linnunlihan (etenkin broilerin) syömisen, pastörimattoman maidon ja kaivoveden juomisen, matkustamisen ja luonnonvesissä uimisen on todettu olevan riskitekijöitä kampylobakteeri-infektioille (Manfred ja Bereswill, 2001; Schönberg-Norio, 2004).

Suolistotulehduksen alkuvaiheessa tyypillisiä oireita ovat lihaskivut, päänsärky ja alhainen kuume. Varsinaisen taudin puhjetessa tyypillisiä oireita ovat vatsakivut, korkea kuume sekä verinen ripuli (Manfred ja Bereswill, 2001). Taudin itämisaika on keskimäärin kolme vuorokautta (vaihtelee vuorokaudesta kymmeneen vuorokauteen) (Andersson ym., 1997; Kansanterveyslaitos, 2006a). Kampylobakteeri-infektio ei tyypillisesti tartu ihmisestä toiseen (Kansanterveyslaitos, 2006a). Infektiot esiintyvät tavallisesti vain pienessä mittakaavassa esimerkiksi perheen sisällä (Rautelin ja Hänninen, 2000; Manfred ja Bereswill, 2001).

Merkitys veden virkistyskäytön kannalta

Muun muassa Martikainen ym. (1990), Hörman ym. (2004) sekä Hokajärvi (2007) ovat eristäneet kampylobakteereita (*C. jejuni*, *C. coli* ja *C. lari*) Suomessa erityyppisistä pintavesistä. Hokajärvi (2007) on eristänyt kampylobakteereita myös puhdistetusta jätevedestä, joka päätyy

purkuvesistöön eli luonnonvesiin. Myös muualla maailmalla on tehty kampylobakteerihavain-
toja luonnonvesistä. Esimerkiksi Obiri-Danso ja Jones (1999) ovat löytäneet kampylobakteere-
ja Englannissa sijaitsevilta kahdelta merkittävältä uimarannalta. Edellä mainitut löydökset ei-
vät ole yllättäviä, koska kampylobakteerien isäntäkirjo on niin laaja (Hänninen, 2005).

Luonnonvesien virkistyskäytön välityksellä tarttuneet kampylobakteeri-infektiot ovat yleen-
sä yksittäisiä tapauksia, eivätkä sen vuoksi tule yleiseen tietoon. Selvää kuitenkin on, että
infektoriski on olemassa bakteerien yleisen esiintyvyyden ja alhaisen infektiivisen annoksen
(pastöroimattomassa maidossa 500 bakteerisolua) (Robinson, 1981) takia. Kansanterveyslai-
toksen saamien tietojen mukaan kesällä 2002 Satakunnassa epäiltiin lammikon uimavedessä
havaittujen kampylobakteerien aiheuttaneen muutaman lapsen sairastumisen (katso myös
osio 7.1). Paikallinen terveydensuojeluviranomainen varoitti uimarantaa käyttävien pikkulas-
ten vanhempia veden nielemisen mahdollisista terveysriskeistä. Schönberg-Norio ym. (2004)
ovat todenneet tekemänsä tapaus-verrokkitutkimuksen perusteella, että uiminen luonnonve-
sissä Suomessa on yksittäisten kampylobakteeri-infektioiden merkittävä riskitekijä huonosti
kypsennetyn lihan ja kaivoveden juomisen lisäksi. Uimiseen liittyvän riskin on todettu ole-
van suurin alle 5-vuotialla lapsilla (Schönberg-Norio ym., 2006). USA:ssa, Floridassa yksi
sairastumistapaus (*C. jejuni*n aiheuttama) on vuonna 1999 yhdistetty uimiseen yksityisessä
uima-altaassa, jossa ei ollut jatkuvaa klooridesinfiointia (Lee ym. 2002), mutta vuosina
1986-2002 USA:ssa ei ollut raportoituja tietoja luonnonvesien virkistyskäyttöön liittyvistä
kampylobakteeri-infektiosta (Pond, 2005).

3.1.2 Salmonellat

Salmonellabakteerit ovat *Enterobacteriaceae*-heimoon kuuluvia gramnegatiivisia, liikkuvia
sauvoja, jotka ovat leveydeltään 0,7-1,5 µm ja pituudeltaan 2,0-5,0 µm. Salmonellat ovat
fakultatiivisesti anaerobeja eli ne selviävät ilman happea, vaikka normaalisti sitä käyttäisi-
vätkin (Popoff ja le Minor, 2005). Salmonelloja on kaksi lajia, *Salmonella enterica* ja *Sal-*
monella bongori. Edellinen jakautuu kuuteen alalajiin, joista *Salmonella enterica* ssp. *enteri-*
ca on tärkein. Sen sisällä tunnetaan noin 1500 erinimistä serotyyppeä (Popoff, 2001; Tindall
ym., 2005). Suomessa yli 99,5 % ihmisistä todetuista salmonelloista kuuluu yleensä kysei-
seen *enterica*-alalajiin (Siitonen, 2007a). *Salmonella* serotyyppi Typhi (*S. Typhi*) ja *S. Para-*
typhi aiheuttavat yleensä kuumeisen yleisinfektion, edellinen lavantaudin ja jälkimmäinen
pikkulavantaudin. Suurin osa suomalaisten salmonellainfektioista on kuitenkin niin sanottu-
jen pikkusalmonellojen aiheuttamia (2500 – 3000 tapausta/v). Niistä kaksi yleisintä on *S.*
Typhimurium (hiirilavantaudin aiheuttaja) ja *S. Enteritidis* (Siitonen, 2006). *S. Typhi* ja *S.*
Paratyphi A (yksi kolmesta pikkulavantautisalmionellasta) eivät aiheuta tautia eläimille ja ne
elävät ainoastaan ihmisen suolistossa (Pond, 2005; Popoff ja le Minor, 2005). Muut sal-

monellalajit elävät sekä ihmisten että eläinten suolistossa. Nämä bakteerit voivat olla sopeuneita elämään vain tietyssä isäntäeläinlajissa tai niitä voidaan eristää useista eri eläinlajeista. Ne voivat myös elää vain tietyllä alueella maailmaa tai kaikkialla maailmassa (Popoff ja le Minor, 2005).

Suurin osa salmonellojen aiheuttamista infektioista esiintyy kehitysmaissa, missä ulosteiden käsittely on yleensä heikkoa. Lisäksi kehitysmaissa ei ole mahdollisuutta tarpeellisiin laboratoriotutkimuksiin ja veden laadunvalvontaan. Myös kehittyneissä maissa on raportoitu selvä nousu salmonellojen aiheuttamien infektioiden määrässä (Pond, 2005). Salmonelloosit tarttuvat ihmisestä toiseen tai ulosteella saastuneen veden tai elintarvikkeiden välityksellä (Popoff ja le Minor, 2005). Salmonellojen aiheuttamat infektiot ovat usein lieviä ripulitauteja, mutta myös hengenvaaralliset infektiot ovat mahdollisia. Infektiot voidaan jakaa neljään eri tyyppiin: suolistotulehdus (ripuli, pahoinvointi, oksentelu), yleisinfektio (kansanomaisesti verenmyrkytys, johon liittyy korkea kuume), enterinen kuume (kuume ja ripuli). Lisäksi esiintyy oireetonta kantajuutta. Esimerkiksi lavantaudin sairastanut voi jäädä *S. Typhi*n oireettomaksi erittäjäksi jopa vuosikymmeniksi (Pond, 2005).

Merkitys veden virkistyskäytön kannalta

Suomalaisista uimavesistä tehtiin kaksi salmonellahavaintoa (75 analysoitua näytettä) vuosina 1997-2002 (Zacheus, 2003). Muun muassa Polo ym. (1999) ovat eristäneet salmonelloja sekä meri-, joki- että järvesivistä koillis-Espanjassa. Ihmisten ja eläinten ulosteiden päätyminen luonnonvesiin aiheuttaa salmonellojen esiintymismahdollisuuden ja siten myös infektoriskin (Pond, 2005). WHO (2007a) on arvioinut salmonellojen infektiivisen annoksen olevan melko suuri; yli 10 000 bakteerisolua.

Suurin osa raportoiduista salmonelloositapauksista ovat peräisin elintarvikkeista (Pond, 2005). Suomessa ei tiettävästi ole raportoituja tietoja salmonellainfektioista liittyen veden virkistyskäyttöön. Myös muualla maailmassa raportoituja tietoja on erittäin vähän. USA:ssa toimivan CDC:n (Centers for Disease Control and Prevention) tietokantaan on ilmoitettu vuodesta 1995 lähtien yksi salmonelloosi, joka liittyi uimiseen uima-altaassa USA:ssa, Idahossa (Levy ym. 1998).

3.1.3 Shigellat

Shigellat kuuluvat *Enterobacteriaceae*-heimoon ja niitä on neljä eri lajia: *Shigella dysenteriae*, *Shigella flexneri*, *Shigella boydii* ja *Shigella sonnei*. Bakteerit ovat gramnegatiivisia, ei-liikkuvia sauvoja, jotka ovat pituudeltaan 1-3 µm ja leveydeltään 0,7-1 µm. Shigellat ovat joko aerobisia tai fakultatiivisesti anaerobeja bakteereja, joiden optimaalinen kasvulämpötila on + 37 °C (Strockbine ja Maurelli, 2005). Shigellabakteereja on todettu esiintyvän kaikkialla maailmassa (Pond, 2005).

Shigellat elävät tiettävästi ainoastaan ihmisten ja kädellisten apinoiden suolistossa (Nizeyi ym., 2001; Strockbine ja Maurelli, 2005). Ne aiheuttavat veristä ripulitautia (shigelloosi, punatauti) (Strockbine ja Maurelli, 2005). Infektion vakavuus riippuu lajista, joka sen aiheuttaa. Tavallisimmin infektio tarttuu ihmisestä toiseen tai ulosteella saastuneen veden tai elintarvikkeiden välityksellä. Infektion itämisaika on vuorokaudesta seitsemään vuorokauteen ja infektio alkaa tavallisimmin hyvin vetisellä ripulilla, joka muuttuu vähitellen veriseksi. Infektion alkuvaiheessa bakteeria erittyy runsaasti ulosteeseen ja shigellat säilyvät suolistossa jopa viikkoja senkin jälkeen, kun infektion oireet ovat jo hävinneet (Strockbine ja Maurelli, 2005). Suomessa todetut tartunnat ovat lähes poikkeuksetta ulkomaista alkuperää (Kansanterveyslaitos, 2007b).

Merkitys veden virkistyskäytön kannalta

Suomalaisista luonnonvesistä ei tiettävästi ole eristetty shigelloja. Muun muassa Faruque ym. (2003) ovat eristäneet *S. dysenteriae* -bakteerin joki- ja järvivesistä Bangladeshissa. Myös De ym. (1993) havaitsivat shigelloja Ganges-joen vedessä. Terveysriskin kannalta merkittävää on shigellojen alhainen infektiivinen annos; arviolta 100 *S. flexneri* -bakteerisolua riittää taudin aiheuttamiseen (DuPont ym., 1989).

Suomessa ei tiettävästi ole raportoituja tietoja shigellojen aiheuttamista infektioista liittyen veden virkistyskäyttöön. USA:ssa vuosina 1971-2000 veden virkistyskäyttöön liittyneet shigellan aiheuttamat infektiot liittyivät pääasiassa uimiseen järvi- ja jokivesissä; 21 % kaikista käsittelemättömien vesien käyttöön liitetyistä epidemioista olivat shigellojen aiheuttamia (Craun ym., 2005). Myös Iwamoto ym. (2005) havaitsivat vuonna 2003 *S. sonnein* olevan syynä sairastumiseen järvisedessä uineilla.

3.1.4 Yersiniat

Yersiniat ovat *Enterobacteriaceae*-heimoon kuuluvia sauvoja tai kokkibasilleja, jotka ovat pituudeltaan 0,5-0,8 µm ja leveydeltään 1-3 µm. Lajeja ovat muun muassa *Yersinia pestis*, *Yersinia pseudotuberculosis*, *Yersinia enterocolitica*, *Yersinia frederiksenii*, *Yersinia intermedia* ja *Yersinia kristensenii*. Nämä bakteerit ovat fakultatiivisesti anaerobeja, gramnegatiivisia, eivätkä ne ole liikkuvia lämpötilan ollessa + 37 °C:sta, mutta muuttuvat liikkuviksi lämpötilan ollessa alle + 30 °C:sta (*Y. pestis* on aina ei-liikkuva) (Bottone ym., 2005).

Useimpia *Yersinia*-lajeja esiintyy ympäri maailmaa. Niiden esiintyminen on yhdistetty tavallisesti eläimiin, mutta nykyään niiden tiedetään olevan yleisiä bakteereja myös maaperässä ja vesistöissä. Osa yersinioista on siis suolistoperäisiä, osa taas ympäristöperäisiä eli ne pystyvät lisääntymään suoliston ulkopuolella. Yersiniat voivat aiheuttaa ihmisille suolisto- ja yleisinfektioita (Bottone ym., 2005; Kansanterveyslaitos, 2006c). Ihmisille tavallisimpia taudinaiheuttajia ovat *Y. enterocolitica* ja *Y. pseudotuberculosis*. *Y. enterocolitica* -bakteeria on eristetty erityisesti sioista, kun taas *Y. pseudotuberculosis* -bakteeri esiintyy tavallisesti muun muassa linnuissa ja jyrsijöissä (Kansanterveyslaitos, 2006c). *Y. enterocolitica* ja *Y. pseudotuberculosis* aiheuttavat Suomessa vuosittain useita satoja infektioita. Näiden aiheuttaman infektion itämisaika on tavallisesti 4-7 vuorokautta ja sen oireet muistuttavat umpilisäkkeen tulehdusta (kuume, vatsakivut ja ripuli). Oireet saattavat kestää jopa kolme viikkoa. Tavallisimmin yersinia leviää saastuneiden elintarvikkeiden välityksellä. Ihmisestä toiseen infektio tarttuu harvoin (Kansanterveyslaitos, 2006c). Tavallisimpia luonnonvesistä eristettyjä lajeja ovat *Y. intermedia* ja *Y. frederiksenii*. Näiden lajien taudinaiheuttamiskykyä ei kuitenkaan ole kovin tarkkaa tietoa. Niiden on arveltu olevan opportunistisia taudinaiheuttajia (Bottone ym., 2005).

Merkitys veden virkistyskäytön kannalta

Yersinioiden esiintymisestä suomalaisissa luonnonvesissä ei ole raportoituja tietoja. Kuitenkin muun muassa Kapperud (1977) on raportoinut yersinialöydöksistä, jotka on tehty Norjan ja Tanskan luonnonvesistä. Escuredo ym. (1994) ovat havainneet yersinioita järvi- ja jokivesistä Argentiinassa. WHO (2007a) on arvioinut *Y. enterocolitica* -bakteerin infektiivisen annoksen olevan melko suuri, yli 10 000 organismia.

Yersinian aiheuttamista infektioista liittyen luonnonvesien virkistyskäyttöön ei tiettävästi ole raportoituja tietoja. Infektion mahdollisuus on kuitenkin olemassa, koska yersinioiden on todettu olevan ympäristössä yleisiä. Melko suuren infektiivisen annoksen vuoksi infektioriski on kuitenkin pieni.

3.1.5 Vibriot

Vibriot ovat gramnegatiivisia, pieniä sauvoja, jotka kuuluvat heimoon *Vibrionaceae*. Bakteerisolut ovat pituudeltaan 0,5 - 0,8 µm ja leveydeltään 1,4 - 2,6 µm. Vibriot ovat fakultatiivisesti anaerobeja pystyen elämään sekä hapellisissa että hapettomissa olosuhteissa. 11 vibriolajia ovat taudinaiheuttajia ihmisille. Näistä tärkein on *Vibrio cholerae*, mutta myös esimerkiksi *Vibrio vulnificus* on merkittävä taudinaiheuttaja. Lisäksi on useita *Vibrio*-lajeja, jotka ovat aiheuttavat tauteja vain eläimille. Suolainen merivesi on vibrioiden luonnollisin elinympäristö ja vibriot ovat levittäytyneet maailmanlaajuisesti (Farmer ym., 2005; Siitonen ym., 2007). *V. vulnificus* viihtyy paremmin normaalia merivettä alhaisemmissa suolapitoisuuksissa (Motes ym., 1998). *V. cholerae* voidaan jakaa kahteen ryhmään; koleraa aiheuttavat kannat (seroryhmät O1 ja O139) ja kannat, jotka eivät aiheuta koleraa (Sack ym., 2004). Koleraa aiheuttavat seroryhmät ovat ihmisen suolistosta peräisin ja kolerapotilaan ulosteella saastunut vesi tai elintarvikkeet levittävät koleraa (Siitonen ja Vaara, 2004; Siitonen ym., 2007).

Vibriot aiheuttavat tavallisesti ripulia ja infektioita maha-suolikanavan alueella sekä haava- ja korvatulehduksia (Farmer ym., 2005; Siitonen ym., 2007). *V. cholerae* aiheuttamalle koleralle tyypillisiä oireita ovat ripuli, oksentelu, vatsakivut ja kuume (Dhar ym., 1996). *V. cholerae*-kannat, jotka eivät aiheuta koleraa, aiheuttavat tyypillisesti muun muassa ihointektioita ja verenmyrkytystä (Sack ym., 2004). *V. vulnificus* aiheuttaa lievän suolistotulehduksen lisäksi infektioita haavojen välityksellä sekä verenmyrkytystä (tyypillisiä oireita oksentelu, ripuli, vatsakivut, ihossa olevat rakkulat ja mustelmat) (Klontz ym., 1988; Pond, 2005). Infektion itämisaika voi olla jopa 10 vuorokautta (Patel ym., 2002), mutta tavallisimmin sen on todettu olevan muutamia vuorokausia (mm. Park ym., 1991). Vibrioinfektiot tarttuvat tavallisimmin saastuneen veden tai elintarvikkeiden välityksellä (esimerkiksi merestä kalastetut simpukat) (Farmer ym., 2005).

Merkitys veden virkistyskäytön kannalta

Rapala ym. (2005) ovat eristäneet useita vibriokantoja Itämeren rannikolta otetuista syanobakteerikukintänäytteistä. Eiler ym. (2006) ovat löytäneet vibrioita (mm. *V. cholerae*) Itämerestä, eri puolilta Ruotsin rannikkoa. Hoi ym. (1998) taas ovat löytäneet *V. vulnificus* Tanskan rannikkovesistä. *V. cholerae* infektioivien annoksen on arveltu olevan yli 10 000 organismia (WHO, 2007a), *V. vulnificus* -bakteerin osalta infektiivisyydestä ei ole tietoa (Pond, 2005).

Vuonna 2003 Suomessa yhdistettiin kolme sairaalahoitoa vaatinutta *V. cholerae* -infektiota meriveteen. Kaikilla henkilöillä oli lisäksi muita infektiolle altistavia tekijöitä (Lukinmaa ym., 2006). Muualla maailmassa vibrioiden esiintymistä vesissä ei tutkita ja todellisia tapauksia on

arveltu olevan raportoituja tapauksia enemmän (Pond, 2005). Raportoidut infektiot ovat tavallisimmin aiheutuneet vibrioilla saastuneen veden päästyä henkilöllä olleeseen haavaan. Muun muassa Dalsgaard ym. (1996) ovat raportoineet 11:sta *V. vulnificuksen* aiheuttamasta infektiosta Tanskassa. Kaikki potilaat olivat olleet kosketuksissa meriveden kanssa, osa muun muassa kalastanut. 10:llä potilaista oli altistumisen aikaan jonkinlainen ihovaurio. Myös Patel ym. (2002) ovat raportoineet potilaasta (*V. vulnificuksen* aiheuttama infektio), joka oli altistunut murtovedelle. Siddiqui ym. (2006) totesivat suolaisen veden, jota käytettiin muun muassa uimiseen, olevan yksi havaittu riskitekijä kahdessa koleraepidemiassa Pakistanissa.

3.1.6 Suolistoinfektioita aiheuttavat *E. coli* -bakteerit

E. coli -bakteeri kuuluu heimoon *Enterobacteriaceae*. Nämä bakteerit ovat tavallisia ihmisten ja eläinten suolistossa. Suurin osa *E. coli* -bakteereista on harmittomia, pieni osa taas taudinaiheuttajia (Rice, 2002). Tärkeimmät tauteja aiheuttavat *E. coli* -bakteeriryhmät ovat enterohemorraagiset *E. coli* -bakteerit (EHEC), enteropatogeeniset *E. coli* -bakteerit (EPEC) ja enterotoksiset *E. coli* -bakteerit (ETEC) (Rice, 2002). EHEC-bakteerit ovat tyypillisä verisen ripulin aiheuttajia teollisuusmaissa, EPEC- ja ETEC -bakteerit ovat yleisiä ripulin aiheuttajia etenkin kehitysmaiden lapsilla. ETEC-bakteerit aiheuttavat tyypillisesti myös ns. turistiripulia (Keskimäki, 2001, Rice, 2002). Tässä kirjallisuuskatsauksessa kerrotaan tarkemmin EHEC-bakteerista.

EHEC on tyypillisesti nautakarjan ja muiden märehtijöiden suolistossa elävä bakteeri. Taudinaiheuttaja se on kuitenkin vain ihmisille (Evira, 2006b). Yleisimmin raportoitu ihmisille tautia aiheuttava EHEC-bakteeri on seroryhmään O157 kuuluva serotyyppi O157:H7 (Rice, 2002). Se kestää tyypillisesti hyvin happamuutta ja kylmyyttä. Bakteeri voi selvitä alle + 5 °C:ssa jopa pH:ssa 2 (Pond, 2005). Myös muiden EHEC-seroryhmien (ns. non-O157-seroryhmät) on todettu olevan yleisiä taudinaiheuttajia ihmisillä. Vuosina 1990-2002 Suomessa raportoitiin yhteensä 200 EHEC-tartuntaa. Näistä 36 % oli EHEC non-O157-tartuntoja (Eklund, 2005).

EHEC-bakteerien infektiivisyys perustuu niiden kykyyn tuottaa shigatoksiinia ja kiinnittyä suoliston pinnalle (Rice, 2002). EHEC -bakteerit tarttuvat suorassa kosketuksessa ulosteisiin, tartuntana ihmisestä toiseen sekä saastuneen, riittämättömästi kypsennetyn lihan välityksellä (Rice, 2002; Evira, 2006b). Myös esimerkiksi saastunut juomavesi tai luonnonvesi saattaa levittää infektiota (Swerdlow ym., 1992; Rice, 2002). Tyypilliset oireet ovat vatsakrampit ja verinen ripuli, joka voi johtaa vakavaan munuaisten toiminnan häiriöön. Taudin itämisaika on tyypillisesti 3-4 vuorokautta (Evira, 2006b). EHEC-infektio voi olla hengenvaarallinen kaikille ikäryhmille, mutta vanhuksia ja pieniä lapsia pidetään erityisinä riskiryhminä (FDA, 2006).

Merkitys veden virkistyskäytön kannalta

EHEC-bakteerin esiintymisestä suomalaisissa pintavesissä ei tiettävästi ole raportoituja tietoja. TAULU-projektin sisäisen, toistaiseksi julkaisemattoman, raportin (Eklund, 2006) mukaan 16:sta uimarantavesinäytteistä eristetyistä *E. coli* –puhdasviljelmistä osasta löydettiin enterotoksiinia (EAST-1) koodittava geeni (*astA*). EAST-1 –toksiiniin merkityksestä taudinaiheuttajana tiedetään vain vähän, mutta sitä koodaavan geenin on todettu esiintyvän muun muassa eräillä epätyypillisillä EHEC-kannoilla ja muilla ripulikolikannoilla. Varsinaisia suolistoinfektioita aiheuttaville *E. coli* –bakteeriryhmille ominaisia geenejä ei puhdasviljelmistä löydetty. Muualla maailmassa ainakin Johnson ym. (2003) ovat havainneet tekemässään tutkimuksessa *E. coli* O157:H7 –bakteeria jokivedessä Kanadassa. EHEC –bakteerin infektiivinen annos on 10-100 bakteerisolua (WHO, 2007a).

E. coli O157:H7 –bakteeri on aiheuttanut useita veden virkistyskäyttöön yhdistettyjä epidemioita. Suomessa on raportoitu yksi epidemia liittyen järvivedessä uimiseen (Paunio ym., 1999). Keene ym. (1994) ovat raportoineet järviveden välityksellä vuonna 1991 USA:ssa ilmenneestä *E. coli* O157:H7 –bakteerin aiheuttamasta epidemiasta. Vuosina 1995-1996 USA:ssa raportoitiin 37 veden virkistyskäyttöön liittyvää epidemiaa (Levy ym., 1998). Näistä 6 epidemiaa yhdistettiin järviveteen ja aiheuttajaksi todettiin *E. coli* O157:H7 –bakteeri. Iso-Britanniassa on raportoitu vuosina 1992-1993 kaksi *E. coli* O157:H7 –bakteerin aiheuttamaa epidemiaa, joiden aiheuttajaksi epäiltiin kahluualtaan vettä (Brewster ym., 1994; Hildebrand ym., 1996). Cransberg ym. (1996) ovat raportoineet neljän 1,5-3,5 –vuotiaan lapsen sairastumisesta *E. coli* O157:H7 –bakteerin aiheuttamaan infektiin Alankomaissa. Ainut yhdistävä tekijä lapsien välillä oli samassa järvessä uiminen.

3.2 VIRUKSET

3.2.1 Rotavirukset

Rotavirukset kuuluvat heimoon *Reoviridae*. Rotavirusta on todettu esiintyvän kaikkialla maailmassa sekä maaperässä että vesiympäristössä (Ciarlet ja Estes, 2002). Rotavirukset jaetaan seitsemään ryhmään (A-G). Ryhmän A virukset ovat tärkeimpiä ensinnäkin yleisen esiintyvyytensä takia, mutta myös siksi, että ne ovat taudinaiheuttajia sekä ihmisille että monille eläinlajeille (sekä koti- että luonnoneläimille). Myös ryhmien B ja C rotaviruksia on eristetty ihmisistä (Ciarlet ja Estes, 2002).

Rotavirukset aiheuttavat vaikeaa ripulia erityisesti alle 2-vuotiailla lapsilla. Etenkin kehitysmaissa rotavirukset ovat yksi merkittävä pikkulasten kuolleisuutta aiheuttava tekijä. Onkin arveltu, että rotaviruksen aiheuttamaan ripuliin kuolee vuosittain noin miljoona alle 5-vuotiaasta lasta. Aikuiset saattavat olla rotavirusten oireettomia kantajia. Infektion itämisaika on 48 - 96 tuntia ja se tarttuu tavallisimmin esimerkiksi ulosteella saastuneen veden välityksellä tai henkilöstä toiseen. On arveltu, että virus voisi tarttua myös hengityselimistön kautta. Eläinten roolista infektion levittäjänä ei ole tarkkaa tietoa. On kuitenkin arveltu, ettei rotavirusinfektio leviä eläimistä ihmisiin (eli ei ole zoonoosi), vaikka tällaisia tapauksia on muutama raportoitu. Rotavirusinfektio tapahtuu ohutsuolessa. Infektio voi olla oireeton, mutta tavallisesti se aiheuttaa ripulin lisäksi kuumetta ja oksentelua. Oireista seuraa yleensä elimistön vakava kuivuminen. Lauhkean ilmaston alueilla rotavirusinfektioita on todettu esiintyvän eniten talvikuukausina ja trooppisilla alueilla sadekausina (Ciarlet ja Estes, 2002).

Merkitys veden virkistyskäytön kannalta

Suomessa rotavirusten esiintymisestä pintavesissä ei ole julkaistua tietoa. Muualta maailmalta havaintoja on useita; muun muassa Lodder ja de Roda Husman (2005) ovat havainneet rotavirusta esiintyvän kahdessa joessa Hollannissa. Myös Kittigul ym. (2005) ja Denis-Mize ym. (2004) ovat löytäneet rotavirusta virtaavista vesistä. Rotavirusten infektiivinen annos on tiettävästi alhainen, arviolta 1-100 organismia (Ciarlet ja Estes, 2002; WHO, 2007a). Rotavirukset voivat selvitä vesiympäristössä olosuhteista riippuen infektiokykyisenä jopa useita viikkoja. Ne voivat myös liittyä vedessä oleviin kiinteisiin partikkeleihin ja säilyä sedimentissä vieläkin pidempään. Erityisesti lämpötila on tärkeä säilymiseen vaikuttava tekijä ja rotavirusten on todettu selviävän heikommin kesäaikaan lämpötilan ollessa talviaikaa korkeampi (Ciarlet ja Estes, 2002).

Rotavirusinfektioiden osalta ei tiettävästi ole raportoituja tietoja veden virkistyskäyttöön liittyen. Infektiot ovat kuitenkin mahdollisia virusten yleisen esiintyvyyden ja alhaisen infektiivisen annoksen takia.

3.2.2 Norovirukset

Norovirukset (tunnettu aiemmin kaliki- Norwalk- tai NL-viruksina) kuuluvat *Caliciviridae*-heimoon (Green ym., 2000). Noroviruksilla on positiivisäikeinen, yksijuosteinen RNA-genomi (Clarke ja Lambden, 1997). Viruspartikkeli on vain noin 30 nm läpimitaltaan (von Bonsdorff ja Maunula, 2003a). Norovirukset jaetaan viiteen genoryhmään, joista lähinnä vain kahteen (GGI ja GGII) sisältyy ihmisiä infektoivia noroviruskantoja (Maunula, 2005). GGI-genoryhmä voidaan edelleen jakaa kahdeksaan genotyyppiin ja GGII-genoryhmä 17:ään genotyyppiin (Zheng ym., 2006).

Norovirukset lisääntyvät ihmisen suolistossa. Näin ollen niitä erittyy runsaasti ulosteeseen (10^{10} – 10^{12} viruspartikkelia) (von Bonsdorff ja Maunula 2003b) ja siten mahdollisesti myös jäteveden kautta purkuvesistöihin eli luonnonvesiin (Maunula, 2005).

Norovirusten aiheuttaman suolistotulehdusinfektion itämisaika on 12–48 tuntia ja oireet (vatsakivut, kouristelu, pahoinvointi, oksentelu, ripuli ja kuumeilu) alkavat äkillisesti. Oireet kestävät tavallisesti 12 tunnista 72 tuntiin (Kansanterveyslaitos, 2006b). Lapsille tyypillisin oire on oksentelu, kun taas sairastuneilla aikuisilla ripuli on tavallisempi oire (Goetz ym., 2001). Virus leviää helposti joko suoraan henkilöstä toiseen tai viruksilla saastuneen veden, elintarvikkeiden tai kosketuspintojen välityksellä (Maunula, 2005; Kansanterveyslaitos, 2006b).

Merkitys veden virkistyskäytön kannalta

Norovirusten esiintymistä suomalaisissa pintavesissä on tutkittu melko vähän. Ainoastaan Hörman ym. (2004) ovat löytäneet norovirusia pintavesistä Etelä-Suomessa. Lodder ja de Roda Husman (2005) ovat löytäneet norovirusia jokivedestä Hollannissa ja Pusch ym. (2005) järivedestä Saksassa. Lisäksi virusten esiintymistä uimavesissä tutkivan Virobathe-projektin yhteydessä uimakauden 2006 aikana tutkituista 1544:sta Euroopan alueelta otetusta uimavesinäytteestä norovirusia havaittiin noin 9,4 %:ssa näytteistä. GGI-genoryhmää todettiin 3,5 % ja GGII-genoryhmää 6,3 % näytteistä (Shneider ja Fleischer, 2007). Muun muassa Laverick ym. (2004) ja Hokajärvi (2007) ovat eristäneet norovirusia myös puhdistetusta jätevedestä, joka päättyy luonnonvesiin. Norovirusten mahdollisuutta tarttua ihmiseen lisää ensinnäkin niiden infektiivisen annoksen alhaisuus (10–100 viruspartikkelia riittää infektion aikaansaamiseksi) (Beuret ym., 2002) sekä se, että virukset säilyvät pitkiä aikoja luonnossa viileissä olosuhteissa, esimerkiksi kuivilla pinnoilla viikkoja ja vedessä kuukausia (von Bonsdorff ja Maunula, 2003b; Maunula, 2005).

Suomessa on tullut esiin kaksi veden virkistyskäyttöön liittyvää noroviruksen aiheuttamaa epidemiaa (katso myös osio 7.1). Kesällä 2006 Varsinais-Suomessa todennäköisesti norovirus aiheutti vatsatautia etenkin lapsilla, jotka olivat uineet pohjavedestä muodostuneessa lammessa (Puttonen, 2006a). Heinäkuussa 2001 Helsingin Pirkkolassa sairastui satoja henkilöitä, suurimmaksi osaksi lapsia, uittuaan tai kahlattuaan verkostovettä sisältävässä, matalassa uimalammikossa (Pönkä ym., 2002; Maunula ym., 2004). CDC:n (Centers for Disease Control and Prevention) tietokannassa on useita raportoituja tietoja USA:sta vuosilta 2001-2002 norovirusten aiheuttamista suolistotulehduksista liittyen luonnonvesien virkistyskäyttöön (Yoder ym., 2004). Lisäksi norovirusinfektioista on raportoituja tietoja liittyen uima-altaassa uimiseen (Kappus ym., 1982; Podewils ym., 2006).

3.2.3 Adenovirukset

Adenovirukset muodostavat heimon *Adenoviridia*. Tähän heimoon kuuluu kaksi sukua; *Mastadenovirus* ja *Aviadenovirus*. Ihmisten 49 serotyyppiä kuuluvat *Mastadenovirus*-sukuun ja ne on ryhmitelty kuuteen lajiin (A-F) (Enriquez, 2002). Adenovirukset ovat kooltaan noin 70–100 nanometriä ja niillä on lineaarinen, kaksijuosteinen DNA. Adenoviruksilta puuttuu viruksille tyypillinen vaippa (Enriquez, 2002). Adenovirusten kykyä kestää erilaisia ympäristöstressejä on selitetty sen kaksijuosteisella DNA:lla eli viruksen DNA:n vaurioituessa, se käyttää hyväkseen isäntäsolunsa DNA:n korjausmekanismeja (Enriquez, 2002).

Adenovirukset voivat lisääntyä suoliston lisäksi myös virtsarakossa, maksassa, hengityselimissä ja silmän limakalvoilla (Enriquez, 2002). Tavallisimmat adenovirusten aiheuttaman infektion leviämistavat ovat joko suora kosketus ihmisten välillä tai kontaminoituneet pinnat sekä ulosteella kontaminoitunut vesi tai ruoka (Enriquez, 2002). Viruspartikkelit voivat päätyä elimistöön suun, nenä-nielualueen tai sidekalvojen kautta (Enriquez, 2002).

Monet adenovirusinfektiot ovat vähäoireisia, mutta ne ovat aiheuttaneet myös kuolemantapauksia. Nämä virukset voivat aiheuttaa akuutteja hengitystietulehduksia, sidekalvohalvausta, akuuttia virtsatietulehdusta, mihin kuuluu verenvuotoa, ARD:tä (acute respiratory disease) sekä suolistotulehdusta (Enriquez, 2002). Enteeriset adenovirukset, serotyypit 40 ja 41, ovat maailmanlaajuisesti erittäin yleisiä ja niitä pidetäänkin tärkeänä vesivälitteisen suolistotulehduksen aiheuttajana erityisesti lapsilla (Enriquez, 2002). Myös serotyyppi 31 on lisääntynyt viime vuosina ja se aiheuttaa suolistotulehdusta etenkin vauvoilla (Enriquez, 2002).

Merkitys veden virkistyskäytön kannalta

Adenovirusten esiintymistä pintavesissä on tutkittu melko vähän. Suomessa niitä on tietävästi eristänyt luonnonvesistä ainoastaan Hokajärvi (2007). Saksassa tutkituista järvivesinäytteistä adenovirusia on löytänyt Pusch ym. (2005) ja Kaliforniassa tutkituista jokivesinäytteistä Jiang ja Chu (2004). Lisäksi virusten esiintymistä uimavesissä tutkivan Virobathe-projektin yhteydessä uimakauden 2006 aikana tutkituista 1544:sta Euroopan alueelta otetusta uimavesinäytteestä adenovirusia havaittiin noin 35 %:ssa näytteistä (Shneider ja Fleischer, 2007). Hokajärvi (2007) havaitsi tutkimuksessaan adenovirusia kuudessa 17:sta tutkitusta puhdistetusta jätevesinäytteestä. Adenovirusia on todettu esiintyvän yleisesti erilaisissa jätevesissä ja sen takia se voisi toimia ihmisten suolistosta peräisin olevan saastutuksen osoittajana luonnonvesissä (Albinana-Gimenez ym., 2007).

Suurin osa adenovirusinfektioihin liittyvästä tutkimuksesta on tehty kehittyneissä valtioissa (Pond, 2005). Suomessa ei tietävästi ole raportoituja tietoja veden adenovirusten luonnonvesien välityksellä aiheuttamista infektioista. Mahdollisuus infektiin on kuitenkin olemassa, koska adenovirusia esiintyy luonnonvesissä ja niiden infektiivinen annos on alhainen (1-100 viruspartikkelia) (WHO, 2007a). Maailmalla on raportoitu useista veden virkistyskäyttöön liittyvistä adenovirusinfektioista, jotka ovat kuitenkin peräisin lähinnä uimisesta uimaltaassa (sekä klooratussa että klooraamattomassa vedessä) ja oireet eivät tavallisesti liity suolistotulehdukseen (Foy ym., 1968; Martone ym. 1980; Turner ym., 1987; Papapetro-poulou ja Vantarakis, 1998; Harley ym. 2001; Pond, 2005).

3.2.4 Astrovirukset

Astrovirukset kuuluvat heimoon *Astroviridae*. Heimoon kuuluu kaksi sukua; Mammoastrovirus ja Aviastrovirus (Matsui, 2002). Ihmisillä esiintyy kahdeksaa eri astroviruslajia (Beuret, 2001) Astroviruksilla on yksijuosteinen RNA-genomi ja ne ovat läpimitaltaan 28 nm:n kokoisia. Nämä virukset kestävät hyvin erilaisia kemiallisia aineita, kuten esimerkiksi kloroformia. Ne kestävät hyvin myös happamia olosuhteita. Astrovirusia esiintyy ihmisten lisäksi useilla eläinlajeilla kuten lampailla, koirilla, hirvieläimillä ja sioilla (Matsui, 2002).

Astrovirusia ei ole mainittu Kansanterveyslaitoksen tartuntatautirekisterissä, mutta niiden on todettu olevan yleinen ripulin aiheuttaja lapsilla eri puolilla maailmaa. Erityisesti alle kuuden kuukauden ikäisten lapsien on todettu olevan riskiryhmässä. Tyypillisiä oireita astrovirusten aiheuttamalle infektiolle ovat muutaman päivän kestävä ripuli, oksentelu, kuume

ja lihaskivut. Tavallisimmin infektio leviää ihmisestä toiseen. Vaikka astrovirusten isäntäkirjo on laaja, se ei ole zoonoosi eli infektio ei leviä eläimistä ihmisiin (Matsui, 2002).

Merkitys veden virkistyskäytön kannalta

Astrovirusten esiintymistä luonnonvesissä on tutkittu melko vähän. Suomessa ei tiettävästi ole raportoituja tietoja astrovirusten esiintymisestä luonnonvesissä. Niitä todettiin esiintyvän kahluualtaan vedessä Helsingin Pirkkolassa, jolloin vedessä esiintyneiden sekä norovirusten että astrovirusten epäiltiin aiheuttaneen sairastumistapauksia vedessä uineilla lapsilla ja aikuisilla (Maunula ym., 2004). Muualla maailmassa ainakin Pintó ym. (1996), Chapron ym. (2000) ja Pusch ym. (2005) ovat havainneet astrovirusinfektioita luonnonvesissä. Muualta maailmasta ei tiettävästi ole raportoituja tietoja veden virkistyskäytön välityksellä saaduista astrovirusinfektioista. Astrovirusten infektiivinen annos on alhainen; vain 1-100 partikkelia (WHO, 2007a).

3.2.5 Coxsackievirukset

Coxsackievirusia on kaksi ryhmää; A ja B. Virukset kuuluvat heimoon *Picornaviradae*. Coxsackievirukset ovat 25-30 nm:n kokoisia RNA-virusia. Ne säilyvät parhaiten alhaisissa lämpötiloissa (jopa -70 °C:ssa) ja niiden infektiivisyys häviää lämpötilan kasvaessa. Coxsackievirusia esiintyy maailmanlaajuisesti (Pond, 2005).

Ryhmään B kuuluvat virukset aiheuttavat vakavampia sairauksia kuin ryhmään A kuuluvat virukset. Ne aiheuttavat hyvin monenlaisia infektioita, jotka voivat olla lähes oireettomia, mutta toisaalta myös tappavia (Pond, 2005). Itämisaika vaihtelee virustyypistä riippuen 2-12 vuorokauteen (Hoepflich, 1977; Pond, 2005). Lievimmillään oireet ovat tavallista vilustumista, ihottumaa ja kurkkutulehdusta, mikä on tavallisinta 1-7 -vuotiailla lapsilla. Tyypillisiä oireita kurkkutulehdukselle ovat muun muassa kurkkukipu, kuume, ruokahaluttomuus, pahoinvointi ja vatsakivut (Pond, 2005). Coxsackievirukset (etenkin ryhmä A) aiheuttavat myös sidekalvotulehdusta (Aoki ym., 1988). Ryhmän B virukset on yhdistetty sydänsairauksiin kuten esimerkiksi sydänlihastulehdukseen (Gauntt ja Huber, 2003) sekä polion kaltaiseen halvaantumiseen (Health Canada, 2001). Infektiot leviävät ihmisestä toiseen, veden, uloste-suoreitin tai nielueritteiden välityksellä (Hunter, 1998; Pond, 2005). Virukset aiheuttavat infektion nielun tai suoliston limakalvojen kautta ja päätyvät verenkierron välityksellä kohde-eliimiin kuten esimerkiksi sydänlihakseen (Pond, 2005).

Merkitys veden virkistyskäytön kannalta

Coxsackievirusten esiintymisestä suomalaisissa pintavesissä ei tiettävästi ole raportoituja tietoja. Towianska ja Potajallo (1990) ovat löytäneet coxsackievirusia Puolan pohjoisosasta tutkiessaan sekä järvi-, joki- että merivesiä. Myös Pavlov (2006) on havainnut coxsackievirusia (sekä A- että B- ryhmän edustajia) esiintyvän sekä jokivedessä että puhdistetussa jätevedessä Etelä-Afrikassa. Virusten aiheuttamaa terveysriskiä sen vedessä esiintyessä lisää coxsackiviruksen alhainen infektiivinen annos. Alle 18 viruspartikkelia hengityksen kautta saatuna (coxsackievirus A21) on arveltu riittävän infektion aikaansaamiseksi (Health Canada, 2001). Coxsackivirusten on myös todettu säilyvän ulosteessa useita viikkoja huoneenlämmössä (Health Canada, 2001).

Suomessa ei ole tiettävästi raportoituja tietoja coxsackievirusten aiheuttamista infektioista luonnonvesien virkistyskäyttöön liittyen. Ainakin Hawley ym. (1973) (USA) ja Denis ym. (1974) ovat Pondin (2005) mukaan raportoineet coxsackievirusten aiheuttamista epidemioista järvisedessä uimisen seurauksena.

3.3 ALKUELÄIMET

3.3.1 Cryptosporidium

Kryptosporidiat ovat alkueläimiä ja ne kuuluvat heimoon *Cryptosporidiidae* (Pond, 2005). *Cryptosporidium* -sukuun kuuluu ainakin kuusi tunnistettua lajia (O'Donoghue, 1995), joista *Cryptosporidium parvum* on merkittävin ihmisiin tarttuva laji. *C. parvum* infektoi karjan ja ihmisten maha-suolikanavan. Sen ookystia (muotoja, joilla selviävät isäntälajinsa ulkopuolella) on löydettävissä ympäristöstä, muun muassa luonnonvesistä (Pond, 2005).

Kryptosporidian aiheuttamia infektioita esiintyy sekä kehitys- että kehittyneissä maissa (Kosek ym., 2001). Infektion tärkeä leviämistapa on ihmisestä toiseen tarttuminen (WHO, 2004). Myös sekä juomaveden että virkistyskäytössä olevan veden on todettu levittävän infektiota (Fayer ym., 2000). *C. parvum* -lajin aiheuttamalle infektiolle tyypillisiä oireita ovat useita päiviä kestävä vetinen ripuli ja mahdollisesti myös kuume sekä vatsakivut. Myös sappirakkotulehdus, maksatulehdus ja hengitysteiden sairaudet voivat olla kryptosporidian aiheuttamia (Pond, 2005). Infektion itämisaika vaihtelee 4-28 vuorokauden välillä ollen tavallisesti 7-10 vuorokautta (Hunter, 1998; Pond, 2005). Checkley ym. (1997) ja Kosek ym.

(2001) ovat havainneet *C. parvum* -lajin aiheuttamasta infektiosta seuraavan kasvuvajetta ja heikentynyttä painonnousua kehitysmaiden lapsilla.

Merkitys veden virkistyskäytön kannalta

Suomalaisista pintavesistä kryptosporidioita ovat löytäneet Hörman ym. (2004). Coupe ym. (2006) ovat löytäneet *C. parvumia* Ranskasta otetuista järvi- ja jokivesinäytteistä. Myös Carmena ym. (2007) ovat löytäneet kryptosporidian ookystia jokivesistä Espanjan pohjoisosista. *Cryptosporidium*-ookystien infektiivisestä annoksesta ei ole tarkkaa tietoa, mutta Dillingham ym. (2002) ovat arvioineet kahden julkaisun perusteella (Newman, 1994; Eisenberg, 1998) sen olevan erittäin alhainen, vain alle 10 ookystaa.

Kryptosporidiat ovat ongelmallisia etenkin uima-allasvedessä, sillä niiden ookystit kestävät hyvin klooria (Dillingham ym., 2002) ja ne ovat niin pienikokoisia, etteivät altaiden suodatimet poista niitä tehokkaasti (Pond, 2005). Suomessa ei tiettävästi ole raportoituja tietoja veden virkistyskäyttöön liittyvistä *Cryptosporidium* -infektioista. Vuosien 1986-2001 välisenä aikana kirjallisuudessa on raportoitu ainakin 38 veden virkistyskäyttöön liittyvää kryptosporidioiden aiheuttamaa epidemiaa. Sairastumistapaukset ovat peräisin lähinnä USA:sta, Englannista sekä Australiasta ja ne on liitetty sekä uima-allasvesiin että luonnonvesiin (Fayer ym., 2000; Rose ym., 2002; Pond, 2005). Coupe ym. (2006) ovat tutkimuksessaan todenneet kryptosporidian aiheuttaman luonnonvesissä uimiseen liittyvän infektoriskin olevan suurempi jokivesissä kuin järvivesissä.

3.3.2 *Giardia*

Giardia suvun edustajat kuuluvat heimoon *Hexamitidae* (Pond, 2005). Nämä alkueläimet muistuttavat halkaistua päärynää, johon on kiinnittynyt neljä paria flagelloja (Brugerolle ja Lee, 2000). *Giardia* -suvussa tiedetään olevan kolme eri lajia, joista kuitenkin vain *Giardia duodenalis* (entiseltä nimeltään *Giardia lamblia*) on infektiivinen ihmiselle. Se on selkärankaisten suolistossa elävä loinen, jonka on todettu levittäytyneen maailmanlaajuisesti. Giardiaat muodostavat kystia, joiden avulla ne kykenevät selviämään isäntälajinsa ulkopuolella, muun muassa vedessä, pitkiäkin aikoja (Pond, 2005).

Giardioiden on viime vuosikymmeninä havaittu olevan yksi yleisimmistä veden (sekä juoma- että virkistyskäytössä olevat vedet) välityksellä leviävien infektioiden aiheuttajista. Vaikka *G. duodenalixen* isäntänä toimii usea eri eläinlaji, ei kuitenkaan ole varmaa, ovatko näiden ulosteet tärkeitä infektiolähteitä ihmiselle (Pond, 2005). Suurin osa *G. duodenalixen*

aiheuttamista infektioista liittyy ihmisulosteella saastuneen veden käyttöön (Thompson ym., 2000; Eikebrokk ym., 2007). Myös ulosteella saastuneet elintarvikkeet ja tartunta ihmisestä toiseen levittävät giardiaa (Osterholm, 1981; WHO, 2004). Giardian aiheuttama infektio on tavallisempi lapsilla kuin aikuisilla (Pond, 2005). Infektion itämisaika on 5-25 vuorokautta ja sille tyypillisiä oireita ovat muun muassa ripuli, imeytymishäiriöt suolistossa, vatsakrampit sekä painon putoaminen. Infektio voi olla kyseessä olevasta *G. duodenalis* -kannasta ja sairastuneesta yksilöstä riippuen joko hyvin lievä tai erittäin vakava. Normaalisti oireet kestävät muutamia viikkoja, mutta pahimmillaan ne voivat jatkua vuosia (Hunter, 1998; Pond, 2005).

Merkitys veden virkistyskäytön kannalta

Suomalaisista pintavesistä giardioita ovat havainneet Hörman ym. (2004). Giardioita on havaittu esiintyvän luonnonvesissä myös muualla maailmassa. Muun muassa Carmena ym. (2007) ovat löytäneet giardian kystia Pohjois-Espanjan luonnonvesistä ja Coupe ym. (2006) Ranskasta. *G. duodenalixen* infektiivisen annoksen on arveltu olevan 1-100 itiötä (WHO, 2007a).

Suomessa ei tiettävästi ole raportoitu giardioiden aiheuttamia infektioita liittyen veden virkistyskäyttöön. Muualla maailmassa raportoituja tapauksia on useita. Esimerkiksi USA:ssa raportoitiin yhdeksän veden (sekä luonnonvesien että uima-allasvesien) virkistyskäyttöön liittyvää epidemiaa vuosina 1991-1996 (Furness ym., 2000; Pond, 2005). Useimmat raportoituista infektiotapauksista ovat tapahtuneet loppukesällä tai alkusyksyllä (Pond, 2005). Muun muassa Stuart ym. (2003) ja Gray ym. (1994) ovat tekemissään tutkimuksessa todenneet uimisen tai ylipäättään virkistyskäytössä olevan veden nielemisen olevan riskitekijä giardian aiheuttamalle infektiolle.

4 SUOLISTOMIKROBIEN PÄÄSTÖLÄHTEET

Suolistoperäiset taudinaiheuttajamikrobit voivat päätyä luonnonvesiin useista eri lähteistä, kuten Whitlock ym. (2002) ovat indikaattoribakteereiden avulla osoittaneet. Eri päästölähteiden merkitys voi myös vaihdella vuodenajan ja tutkittavan alueen mukaan (WHO, 2003). Esimerkiksi eri vesistötyypeissä (merivesi, pieni järvi tai kovasti virtaava joki) eri päästölähteiden merkitys saattaa vaihdella ja toisaalta niissä voi esiintyä myös eri taudinaiheuttajia (Pond, 2005). Vaikka samalla vesistöalueella päästölähteitä olisikin useita, tavallisimmin jokin niistä on kuitenkin hallitseva muihin lähteisiin nähden (WHO, 2003). Päästölähteiden kartoitus virkistyskäytössä olevilla vesialueilla on tärkeää, jotta veden ulosteperäistä saastumista voitaisiin mahdollisesti kontrolloida ja välttää paremmin (Meyer ym., 2005).

Useat suolistoperäiset taudinaiheuttajamikrobit elävät sekä ihmisten että muiden eläinten suolistossa. Luonnonvesien eläinperäistä ulostekontaminaatiota on vaikea vähentää, kun taas ihmisperäiseen ulostekontaminaatioon on mahdollista vaikuttaa esimerkiksi tehostamalla jätevedenpuhdistusprosesseja.

4.1 LUONNONVESISTÄ LÖYDETTYJEN SUOLISTOMIKROBIEN LÄHTEITÄ

4.1.1 Jätevesi

Jätevedenpuhdistus

Suomen asukkaista yli 80 % on keskitetyn viemäroinnin ja jätevedenkäsittelyn piirissä (Suomen ympäristökeskus, 2007c). Suomessa jätevedet käsitellään tavallisimmin biologis-kemiallisella rinnakkaissaostusmenetelmällä (Suomen Ympäristökeskus, 2007d).

Vuonna 2001 jätevedenpuhdistamoille tuleva jätevesikuorma oli 76,8 grammaa orgaanista ainetta (BOD₇), 14,4 grammaa typpeä ja 2,6 grammaa fosforia vuorokaudessa yhtä puhdistamoihin liittynyttä asukasta kohti laskettuna (Suomen Ympäristökeskus, 2007c). Yli 200 asukkaan jätevesipuhdistamoilla jätevesistä poistettiin vuonna 2005 97 % orgaanisesta aineksesta ja noin 95 % fosforista. Typen poistaminen jätevedestä tulee olemaan lähivuosien suurimpia haasteita (Suomen Ympäristökeskus, 2007d). Puhdistamoilta vesistöön laskettu

kuorma vuorokaudessa oli henkilöä kohden vuonna 2001 3,5 grammaa orgaanista ainetta (BOD₇), 8,1 grammaa typpeä ja 0,15 grammaa fosforia (Suomen Ympäristökeskus, 2007c).

Jätevedenpuhdistusprosessit

Jätevesien puhdistukselle asetetut vaatimukset ja toimenpiteet vaatimusten saavuttamiseksi ovat kehittyneet Suomessa vuosien varrella. 1900-luvun vaihteessa huomattiin talousveden valmistuksessa käytettävien raakavesien olevan saastuneita. Tällöin havahduttiin jätevesien käsittelytarpeelle ja laadittiin viemäröintisuunnitelmia, joista muutamia toteutettiin. Varsinaisesti jätevesien käsittelyyn paneuduttiin vasta 1960- ja 1970-luvuilla lähinnä 1960-luvun alkupuolella voimaantulleen vesilain takia (Juuti ja Katko, 2007).

Nykyisin tyypillinen jätevedenkäsittelyprosessi sisältää kolme vaihetta. Ensimmäinen vaihe on primääripuhdistus, jolloin poistetaan veteen liukenemattomia epäpuhtauksia. Primääripuhdistuksessa tyypillisiä prosesseja ovat välppäys sekä rasvan ja hiekan erotus. Toinen vaihe on sekundääripuhdistus eli biologinen puhdistus, jolloin tyypillinen prosessi on ilmastus aktiivilietettä hyväksi käyttäen ja tällöin pyritään vähentämään happea kuluttavaa kuormitusta. Viimeisenä vaiheena jätevedenpuhdistuksessa on tertiääripuhdistus eli desinfiointi, minkä avulla poistetaan esimerkiksi taudinaiheuttajia tai toksisia ominaisuuksia eli viimeistellään purkuvesistöön johdettavan jäteveden laatu. Nykyisin vain harvalla jätevedenpuhdistamolla on käytössään desinfiointia edes tarvittaessa. Primääripuhdistuksen jälkeen vettä raskaammat hiukkaset poistetaan esiselkeytyksellä ja sekundääripuhdistuksen jälkeen aktiiviliete poistetaan jälkiselkeytyksellä. (Kajosaari, 1981; Karttunen, 2004; Suomen Ympäristökeskus, 2007d). 1.11.2006 voimaantulleen yhdyskuntajätevesiasetuksen (888/2006) mukaan jätevedet tulee käsitellä biologisesti tai sitä vastaavalla tavalla.

Taudinaiheuttajamikrobien poistotehokkuus jätevedenpuhdistusprosesseissa

Jätevedenpuhdistamot on suunniteltu poistamaan ravinteita, kuten typpeä ja fosforia, sekä happea kuluttavia ainesosia eikä niinkään taudinaiheuttajamikrobeja (Koivunen ym., 2003). Puhdistettu jätevesi sisältääkin usein runsaasti taudinaiheuttajia, jotka vaarantavat purkuvesistön hygieenisen laadun (Karttunen, 2004). Filipkowska (2003) on puolalaisella primäärisen ja sekundäärisen jätevedenpuhdistusprosessin käsittävällä puhdistamolla tekemässään tutkimuksessa todennut puhdistetun jäteveden edelleen sisältävän useita eri taudinaiheuttajia, kuten esimerkiksi salmonelloja, shigelloja ja yersinioita. Puhdistetusta jätevedestä on löydetty myös esimerkiksi kryptosporidioita, kampylobakteereita sekä noro- ja adenovirusia (Jones, 2001; Lemarchand ja Lebaron, 2003; Hokajärvi, 2007). Vuonna 2000 hyväksytyt

vesipuidedirektiivi (2000/60/EY) edellyttää, ettei luonnonvesien virkistyskäyttö saa vaarantua. Suomessa direktiivin vaatimukset on huomioitu laissa vesienhoidon järjestämisestä (1299/2004). Lain avulla on tarkoitettu ottaa huomioon mm. vesien virkistyskäyttö ja vesien välityksellä leviävät taudit.

Mikrobeja saadaan poistettua jätevedestä enemmän, mikäli yleisesti Suomessa käytettyyn sekundääriseen jätevedenpuhdistusprosessiin yhdistetään desinfiointi. Yksi tärkeimpiä desinfiointin tarpeeseen vaikuttavia tekijöitä on muun muassa purkuvesistön käyttö. Mikäli purkuvesistöä käytetään esimerkiksi talousveden raakavetenä tai virkistyskäyttötarkoituksiin, jäteveden desinfiointi voi olla tarpeellista. Jätevettä on mahdollista desinfioida sekä kemiallisilla aineilla että fysikaalisin keinoin tai säteilytyksellä (EPA, 2002). Jäteveden tertiääriseen käsittelyyn mikrobien poistamiseksi on todettu hyväksi menetelmäksi esimerkiksi nopea hiekkasuodatus, jossa käytetään polyalumiinikloridia saostuskemikaalina (Koivunen ym., 2003). Jyväskylän seudun puhdistamo Oy toteutti kesällä 2006 jäteveden hygienisointikokeilun peretikkahapolla ja totesivat fekaalisten koliformien ja suolistoperäisten enterokokkien määrrien laskevan puhdistetussa jätevedessä selvästi alle uimavesiltä vaaditun tason (Hämäläinen, 2006)

Kampylobakteereiden mikroaerofiiliisuuden takia biologinen puhdistus on niiden säilymisen kannalta kriittinen vaihe jätevedenpuhdistuksessa (Arimo ym., 1988; Jones, 2001). Biologisella puhdistuksella voidaan poistaa 88–99 % jäteveden sisältämistä kampylobakteereista (Jones, 2001). Mikäli puhdistamolla on mahdollisuus desinfiointiin, on kloorin havaittu olevan tehokas kampylobakteereiden poistossa (Jones, 2001). Kampylobakteerit ovat herkkiä myös UV-säteilylle samoin kuin esimerkiksi *Y. enterocolitica* (Butler ym., 1987). Kampylobakteerien lisäksi myös salmonellojen on todettu selviävän jätevedenpuhdistusprosessin aktiivilietekäsittelyn läpi (Howard ym., 2004). Peretikkahapoa on esitetty hyväksi desinfiointikeinoksi salmonellojen poistamiseksi jätevedestä (Veschetti ym., 2003).

Primäärinen ja sekundäärinen jäteveden puhdistus eivät ole riittävän tehokkaita virusten poistamiseksi, vaan viruksia voi päätyä pintavesiin (Pönkä, 1993). Laverick ym. (2004) havaitsivat tekemässään tutkimuksessa norovirusten cDNA:n pitoisuuden olevan käsittelemättömässä jätevedessä 1 800 000/100 ml ja jätevedenpuhdistuksen jälkeen 17 000/100 ml. Bonadonna ym. (2002) ovat todenneet enterovirusten kestävän hyvin sekä kloorausta että UV-säteilytystä. Otsonointi todennäköisesti vaurioittaa virusten nukleiinihappoja, joten se voisi olla tehokas tapa virusten poistamiseksi jätevedestä (Roy ym., 1981). Koivunen ja Heinonen-Tanski (2005) ovat tekemässään pilot-mittakaavan tutkimuksessa havainneet peretikkahapon olevan hyvä desinfiointikeino virusten ja suolistoperäisten bakteerien poistamiseksi erityyppisistä jätevesistä.

Giardia-kystien ja *Cryptosporidium*-ookystien tiedetään selviävän hyvin jätevedenkäsittelyprosesseissa. Caccio ym. (2003) havaitsivat Italiassa tekemässään tutkimuksessa *Giardia* kystia sekä primäärisen että sekundäärisen jätevedenpuhdistusprosessin jälkeen. Suurimmat pitoisuudet todettiin syksyllä ja talvella. Suurin poistotehokkuus *Giardia* kystille oli laitok-

silla, joilla sekundäärinen puhdistus sisälsi ilmastuksen ja sedimentaation aktiivilietteen ja sedimentaation sijaan. *Cryptosporidiumien* ookystia tutkimuksessa havaittiin harvoin. Bonadonna ym. (2002) mukaan sekä *Cryptosporidiumin* ookystit että *Giardia* kystit kestävät hyvin kloorausta ja UV-säteilyä.

Jätevesi suolistomikrobien päästölähteenä

Voimakkaiden sateiden seurauksena, etenkin sekaviemäroinnin kyseessä ollen, jätevedenpuhdistamot saattavat ylikuormittua, jolloin jätevettä joudutaan johtamaan puhdistamattomana luonnonvesiin. Tämä aiheuttaa selkeän terveysriskin veden käyttäjille. Erityisen ongelmallista jätevesi on silloin, kun se on lämmintä ja suolapitoisuus jätevedessä on purkuvesistöä alhaisempi (WHO, 2003). Tällöin jätevesi sekoittuu veteen huonosti ja muodostaa helposti kelluvan lautan veden pintaan. Tuulet voivat kuljettaa lautta pitkiäkin matkoja aiheuttaen veden merkittävää saastumista. Kaiken kaikkiaan luonnonvesien virkistyskäyttäjien kannalta ihmisistä peräisin oleva uloste vedessä aiheuttaa merkittävimmän terveysriskin (WHO, 2003). Pintavesiin päätyvän jäteveden koostumus vaihtelee kuitenkin paljon sekä päivittäin että kausittain. Esimerkiksi maatalousalueet ja turistikohteet ovat hyvä esimerkki kausiluonteisuudesta (Taylor, 2003).

Yksi suolistoperäisten taudinaiheuttajien määrää lisäävää tekijä jätevesissä on turismi (Pond, 2005; WHO, 2005). Taudinaiheuttajat voivat kulkeutua sekä Suomesta ulkomaille että ulkomailta Suomeen.

Jätevedenpuhdistamoiden lisäksi myös haja-asutuksen jätevedet ovat merkittävä suolistoperäisten taudinaiheuttajien päästölähde luonnonvesissä. Useat haja-asutusalueella olevat kiinteistöt eivät kuulu keskitetyn jäteveden käsittelyn piiriin, vaan niissä on käytössä kiinteistökohtainen jätevedenkäsittely. Merkittävä osa kiinteistökohtaisista jätevesien käsittelylaitteista on ympäristönsuojelun kannalta tehottomia ja ravinteiden lisäksi myös taudinaiheuttajia päätyy luonnonvesistöihin (Suomen Ympäristökeskus 2007e). Esimerkiksi sakokaivo yksistään ei ole riittävä ratkaisu jätevesien käsittelylle, sillä niiden kautta suolistoperäiset taudinaiheuttajat saattavat päästä jäteveden mukana pohjavesiin ja mahdollisesti myös luonnonvesiin (WHO, 2003; Suomen Ympäristökeskus 2006a).

Haja-asutuksen jätevesien käsittelyn tehostamiseksi valtioneuvosto on antanut asetuksen (542/2003) jätevesien käsittelystä vesihuoltolaitosten viemäriverkostojen ulkopuolisilla alueilla. Asetus tuli voimaan 1.1.2004 ja sen mukaiset määräykset koskevat sekä uudisrakentamista että kiinteistöjä, joilla tehdään rakennus- tai muutostöitä, jotka edellyttävät rakennus- tai toimenpidelupaa. Rakennus- tai toimenpidelupahakemukseen tulee liittää suunnitelma talousjätevesien kokoamisesta, käsittelystä ja johtamisesta. Lisäksi määräykset koskevat olemassa olevia kiinteistöjä siten, että näiden jätevesijärjestelmät tulee saattaa asetuksen mukai-

siksi 1.1.2014 mennessä. Edellä mainittujen kiinteistöjen omistajien tulee tehdä selvitys käytössä olevasta jätevesijärjestelmästä sekä järjestelmää koskeva käyttö- ja huolto-ohje. Kiinteistöjen, joilla on vesikäymälä, selvitys ja ohje on tullut laatia ennen 1.1.2006. Muussa tapauksessa se on laadittava 1.1.2008 mennessä. Asetuksesta aiheutuvat kustannukset kiinteistölle riippuvat varustetasosta; vakinaiselle asunnolle varustelultaan korkeampitasoiselle kiinteistölle kustannukset ovat suuremmat kuin vaatimattomille taloille (Valtioneuvoston asetus 542/2003; Suomen Ympäristökeskus, 2007e).

Sekä Suomessa että ulkomailla yhä useammassa kodissa kuivakäymälät korvaavat vesikäymälät. Kuivakäymälöiden käyttäjille ei useimmissa kunnissa ole vielä keskitettyjä palveluja käymäläjätteen käsittelyä varten (Hinkkanen ja Paju, 2007). Käymäläjäte saattaa sisältää ulosteesta peräisin olevia taudinaiheuttajamikrobeja. Mikäli käymäläjätteen kompostointiprosessi toimii oikein, eri mikrobien välinen kilpailu ja lämpö tuhoavat taudinaiheuttajia tehokkaasti. Suolistoinfektioita aiheuttavia mikrobeja päätyy helposti esimerkiksi vesistöihin, mikäli käymäläjätettä kompostoidaan liian vähän aikaa ja jos kompostointiprosessi toimii huonosti (Käymäläseura Huussi ry).

4.1.2 Hulevedet

Hulevesillä tarkoitetaan sade- ja sulamisvesiä (Suomen ympäristökeskus, 2006b). Hulevedet voidaan johtaa erillisen viemärintijärjestelmän kautta suoraan vesistöihin ilman esikäsittelyä. Tällöin bakteerimäärät ovat yleensä todella suuria (Taylor, 2003; Ruth, 2007). Sekaviemäroinnissä hulevedet johdetaan jätevedenpuhdistamolle ja suurina määrinä ne voivat aiheuttaa haittaa jätevesien käsittelylle (Suomen ympäristökeskus, 2006b). Tällaisia ongelmia ovat esimerkiksi suurten hulevesimäärien aiheuttamat jätevesien ylivuototilanteet, jolloin jätevettä saattaa päätyä vesistöihin puhdistamattomana. Hulevesien aiheuttamien ongelmien merkitys todennäköisesti kasvaa tulevaisuudessa ennustetun ilmastonmuutoksen myötä kasvavien sade- sekä pintavaluntamäärien samoin kuin nykyistä korkeampien talvilämpötilojen seurauksena. Jatkuva kaupungistuminen lisää päällysteiden määrää, millä on merkittävä vaikutus jätevedenpuhdistamoille päätyvien hulevesimäärien osalta (Sillanpää, 2007). Jätevedenpuhdistamoille aiheutuvien ongelmien lisäksi hulevedet aiheuttavat runsaina määrinä tulvia ja eroosiota. Näiden myötä haitallisia aineita, ja myös bakteereita, pääsee kulkeutumaan vesistöihin. Hulevesien sisältämien bakteereiden haitallisuuden kannalta merkittävää on etenkin hulevesien mahdollinen laimeneminen vesistöissä (Mäkinen, 2007; Salmi ja Rapola, 2007).

Mäkisen (2007) esittelemän tutkimuksen mukaan hulevesien laatu bakteerien suhteen oli kesällä 2006 todella huono Vaasan seudulla. Tutkimuksessa pystyttiin osoittamaan, että huleve-

det lisäävät bakteerimääriä uimavesissä. Bakteerimäärien lisäys riippuu paljon kuitenkin sateiden määrästä ja voimakkuudesta, sadetta edeltäneen kuivan kauden pituudesta, vesistön virtauksista sekä tuuliolosuhteista. Dwight ym. (2004) ovat Kalifornian rannikolla lainelautailua harrastaville tekemänsä haastattelututkimuksensa perusteella todenneet, että kaupunkiympäristössä tapahtuva hulevesivalunta vesistöihin aiheuttaa suuremman riskin sairastua veden virkistyskäytön yhteydessä kuin maaseutu ympäristössä tapahtuva hulevesivalunta.

Useiden ongelmien takia hulevesille onkin tulevaisuudessa välttämätöntä kehittää uudet johtamismenetelmät ja suosittava enemmän luonnonmukaista suunnittelua ja rakentamista kaupunkiympäristössä (Salminen ja Rapola, 2007; Sillanpää, 2007). Tällä hetkellä Suomen lainsäädäntö ei edellytä hulevesien puhdistamista. Näin ollen niiden sisältämille epäpuhtauksille ei ole asetettu raja-arvoja, mutta tulevaisuudessa tämä voi olla tarpeen (Rissanen, 2007).

4.1.3 Luonnoneläimet ja ympäristö

Luonnoneläinten, kuten esimerkiksi lintujen, ulosteet ovat yksi tärkeä taudinaiheuttajien lähde luonnossa. Esimerkiksi Broman ym. (2002) ovat löytäneet kampylobakteereita lокkien ulosteista. Luonnoneläinten ulosteiden merkityksen taudinaiheuttajien päästölähteenä on havaittu olevan suurempi maalais- kuin kaupunkiympäristössä (Taylor, 2003). Eläinten ulosteiden mukana taudinaiheuttajat voivat päätyä esimerkiksi uimarantojen kosteaan rantahiekkaan, missä ne aiheuttavat terveystarpeen veden käyttäjille (Wheeler Alm ym., 2003; Whitman ja Nevers, 2003; WHO, 2003; Byappanahalli ym. 2006). Epidemiologiassa tutkimuksiin perustuvaa terveystarpeita rantahiekkaan liittyen ei tietyvästi ole havaittu, joten tähän liittyvä tutkimus olisi tarpeen (WHO, 2003) Voimakkaat rankkasateet ovat luonnonvoima, joka saa tulvimisen myötä taudinaiheuttajat liikkeelle maaperästä, muun muassa maatalousmailta (Tyrrel ja Quinton, 2003). Etenkin kaupunkien valumavedet ovat usein eläinten ulosteista peräisin olevien mikrobien kuormittamia (Ruth, 2007). Voimakkaiden sateiden seurauksena taudinaiheuttajia mahdollisesti vapautuu takaisin vesi ympäristöön myös esimerkiksi jokien sedimenteistä (Dorner ym., 2006).

Tietyissä tapauksissa taudinaiheuttajamikrobit voivat olla myös ympäristöperäisiä. Vesivälitteisistä taudinaiheuttajista esimerkiksi *V. vulnificus* elää luonnostaan merivedessä ilman, että ihmisillä sen enempää kuin muillakaan eläimillä olisi kovin suurta merkitystä sen lähteenä (Pond, 2005).

4.1.4 Maatalous

Nykyisin maataloutta pidetään etenkin ravinnekuormituksen osalta vesistöjen tärkeimpänä kuormittajana, kun yhdyskuntien jätevesien puhdistusprosessit ovat tehostuneet (Suomen ympäristökeskus, 2007a). Sekä peltoviljely että kotieläintuotanto kuormittavat vesistöjä. Pelloilta peräisin olevat ravinteet ja kiintoainekatsotaan hajakuormitukseksi, kun taas kotieläintuotannon lantapäästöt pistekuormitukseksi (Suomen ympäristökeskus, 2007b). Kuormituksen määrään peltoviljelyssä vaikuttavat muun muassa peltojen sijainti vesistöihin nähden, lannoitteiden käyttömäärä ja levitystapa sekä pellon vesitalous (Suomen ympäristökeskus, 2007a). Ravinteiden lisääntynyt määrä voi vaikuttaa taudinaiheuttajien elinkykyisenä selviytymiseen vesiympäristössä.

Karjan laiduntamisesta vesistön läheisyydessä seuraa mahdollisesti karjan ulosteiden päätyminen vesistöön ja siten myös esimerkiksi alkueläinten kuten kryptosporidioiden ja bakteerien, kuten kampylobakteereiden päätyminen vesistöön (Dorner ym., 2004). Johnson ym. (2003) ovat tutkimuksessaan arvelleet, että estettäessä karjan suora kontakti luonnonvesien kanssa (esimerkiksi veden juominen), lanta ei merkittävästi saastuta vesistöä. Huomioon on otettava kuitenkin lannan huuhtoutuminen esimerkiksi sadeveden vaikutuksesta pidempienkin etäisyyksien päästä.

Myös maataloudessa käytettävät ulosteperäiset lannoitteet voivat olla taudinaiheuttajien lähde. Vesistöihin ne päätyvät pintavalunnan myötä. Taudinaiheuttajien liikkumiseen pintavalunnan avulla vaikuttavat monet seikat, kuten lannoitteen laatu ja määrä sekä lannoitteen lisäyksen ja sitä seuraavan ensimmäisen sateen välinen aika (Gilley ym., 2002). Heinonen-Tanski ja Uusi-Kämpä (2001) ovat tutkimuksessaan havainneet, että kesäkauden lopun rankkasade irrotti vuosi aikaisemmin levitetystä lannasta suolistomikrobeja vesistöön. Valtioneuvosto on antanut asetuksen (931/2000) maataloudesta peräisin olevien nitraattien vesiin pääsyn rajoittamisesta, mikä kieltää lietelannan levittämisen lumen päälle. Tällöin estyy lannan päätyminen vesistöihin ja pohjavesiin sulamisvesien mukana.

4.1.5 Laivaliikenne

Vesiliikenteen aiheuttamat päästöt luonnonvesiin koostuvat lähinnä käymäläjätevesistä sekä pesuvesistä. Suurimpien alusten osalta päästöt ovat vähentyneet etenkin Itämerellä, kun kaikki Suomen ja Ruotsin varustamot tuovat jätevetensä maihin käsiteltäviksi. Itämerellä kulkeva alus saa Itämeren suojelusopimuksen mukaan laskea käsittelemätöntä käymäläjäte-

vettä ainoastaan yli 12 meripeninkulman etäisyydellä rannasta. Desinfiointua käymäläjätevetä sen sijaan saa laskea hyväksytyin laitteiston läpi 4 meripeninkulman etäisyydeltä rannasta (Pohjoismaiden neuvoston Suomen valtuuskunta, 2002). Itämereltä esimerkiksi Atlantin kautta tapahtuvan laivaliikenteen mukana mikrobit, mahdollisesti myös erityyppiset taudinaiheuttajat, kulkeutuvat vesistöjä pitkin (Leppäkoski ja Olenin, 2000).

Norovirukset ovat aiheuttaneet useita laajoja epidemioita risteilyaluksilla viime vuosina. Esimerkiksi vuoden 2006 tammi- ja heinäkuun välisenä aikana raportoitiin 42 noroviruksen aiheuttamaa epidemiaa 13:ssa Euroopan alueella kulkevalla risteilyaluksella (Depoortere ja Takkinen, 2006). Epidemioiden seurauksena aiheutuvia käymäläjätepäästöjä ei ole tiettävästi tarkemmin tutkittu.

4.1.6 Vesien virkistyskäyttäjät

Ihmiset, jotka käyttävät luonnonvesiä virkistyskäyttöön, kuten uimiseen, saattavat itse saastuttaa veden esimerkiksi ulosteella. Parhaiten erityisesti uimareiden vaikutuksen veteen voi havaita uimakaudella selvänä mikrobipitoisuuksien kasvuna päivän aikana. Suurimmat mikrobiipikit uimarantavesissä on havaittu iltopäivisin (WHO, 2003). Epidemiologisissa tutkimuksissa on osoitettu uimareiden itsensä aiheuttaman veden ulosteperäisen saastumisen olevan selkeä terveysriski kaikille luonnonvesiä virkistystarkoituksessa käyttäville (WHO, 2003). Muun muassa vedessä olevat käytetyt lasten vaipat voivat olla yksi ulosteperäisen saastumisen lähde (Dziuban ym., 2006). Saastumisen merkittävyyteen vaikuttaa lähinnä uimareiden (tai muiden virkistyskäyttäjien) määrä sekä veden sekoittuminen ja siten mahdollinen taudinaiheuttajapitoisuuksien laimentuminen. Voimakkaiden sateiden lisäksi myös veden virkistyskäyttäjät saattavat pohjassa liikkeessaan saada sedimentteihin varastoituneet taudinaiheuttajamikrobit vapautumaan takaisin vesiympäristöön (WHO, 2003).

4.2 MENETELMIÄ LUONNONVESISTÄ LÖYDETTYJEN MIKROBIEN ALKUPERÄN TUTKIMISEKSI

Scott ym. (2002), Simpson ym. (2002) ja Meays ym. (2004) ovat katsausartikkeleissaan koonneet yhteen nykyisin käytettäviä menetelmiä luonnonvesistä löydettyjen mikrobien lähteiden selvittämiseksi. Menetelmät voidaan jakaa mikrobiologisiin, fenotyyppisiin, genotyyppisiin sekä kemiallisiin menetelmiin. Käytettävän menetelmän valinta riippuu useista tekijöistä kuten

esimerkiksi siitä, kuinka tarkkaa tietoa halutaan saada (lajikohtaista tietoa vai laajempaa tietoa). Menetelmien kehitykseen tulisi tulevaisuudessa panostaa entistäkin enemmän, jotta löydettäisiin vesiympäristöön soveltuvia, luotettavia ja helposti toteutettavia menetelmiä.

Tyypillinen mikrobiologinen menetelmä mikrobien alkuperän tutkimiseksi on laskea vedessä esiintyvien fekaalisten koliformien ja fekaalisten streptokokkien (nykyisin suolistoperäisten enterokokkien) pitoisuuksien välinen suhde (Geldreich ja Kenner, 1969). Mikäli mikrobipitoisuuksien välinen suhde on yli neljä, uloste on todennäköisesti ihmisestä peräisin, suhteen ollessa 0,1-0,6 uloste on mahdollisesti peräisin kotieläimistä ja alle 0,1 suhteen perusteella luonnon villieläimistä. Esimerkiksi maatalousympäristössä on kuitenkin havaittu, että suhdeluku on epävarma ja sitä on vaikea käyttää (Meays ym., 2004).

Mikrobien ”sormenjälkien” vertaaminen (ribotyping) on tyypillinen genotyyppinen menetelmä, jolla voidaan saada tietoa mahdollisista päästölähteistä (Parveen ym., 1999; Scott ym., 2002; Scott ym., 2003; Meays ym. 2006). Tällöin verrataan mikrobien tietyistä geeneistä (ribosomaalista RNA:ta koodaavat geenit) entsyymaattisesti pilkottuja DNA-fragmentteja. Menetelmä perustuu ajatukseen, että tietyissä olosuhteissa tai esimerkiksi tietyssä isäntäeläimessä elävillä mikrobeilla on tietynlainen sormenjälki (Scott ym., 2002; Meays ym., 2004).

Toinen yleisesti käytetty genotyyppinen menetelmä on pulssikenttäelektroforeesi (PFGE), jota käytetään suurien DNA-fragmenttien erotteluun. Myös tässä pyritään vertailemaan ”sormenjälkiä” (Scott ym., 2002; Meays, 2004; Casarez ym., 2007). Esimerkiksi Hänninen ym. (2003) ovat tutkimuksessaan selvittäneet PFGE:n avulla onko potilaista ja eri vesilähteistä löydetyillä kampylobakteerikannoilla samanlaiset DNA-profiilit, mikä osoittaisi mahdollisen lähteen. Muita genotyyppisiä menetelmiä ovat REP-PCR (Dombek ym., 2000; Scott ym., 2002; Vogel ym., 2007), isäntäspesifisten 16S rDNA geneettisten markkerien käyttö (Scott ym., 2002; Vogel, 2007) ja denaturointi-gradientti geelielektroforeesi (DGGE) (Buchan ym., 2001)

Tyypillinen fenotyyppinen menetelmä mikrobien lähteiden selvittämiseksi on bakteerien antibiootiresistenssiin perustuva menetelmä (Parveen ym., 1997; Harwood ym., 2000; Scott ym., 2002). Menetelmän avulla eri lähteistä peräisin olevat bakteerit erotellaan ihmisten ja eläinten hoitoon ja eläinten ruokintaan yleisesti yhdistettyjen antibioottien avulla. Menetelmä perustuu ajatukseen, että ihmisten ja eri eläinten suolistossa elävä bakteerilajisto altistuu eri määrille erityyppisiä antibiootteja. Ajan myötä tietyn eläinryhmän suolistossa olevat bakteerilajit valikoituvat siten, että ne omaavat tietynlaisen antibiootiresistenssin.

Myös immunologiset menetelmät kuuluvat fenotyyppisiin menetelmiin. Esimerkiksi *E. coli* –bakteerin osalta on todettu, että bakteerin eri serotyypit ovat peräisin eri eläimistä. Osa *E. coli* –bakteerin serotyypeistä voivat kuitenkin olla peräisin sekä ihmisestä että eläimistä (Bettelheim ym., 1976; Scott ym., 2002).

Kemiallisissa menetelmissä mikrobilähteiden selvittämiseksi käytetään hyväksi muun muassa kofeiinia, jota erittyä esimerkiksi kahvia nauttineen henkilön virtsaan. Ympäristössä esiin-

tyvän kofeiinin onkin arveltu olevan osoitus ihmisperäisestä saastumisesta (Burkhardt ym., 1999; Scott ym., 2002). Ihmisestä peräisin olevasta ulostesaastumisesta kertoo myös tietyt ulosteessa yleisesti esiintyvät sterolit (Leeming ym., 1996; Scott ym., 2002).

5 MIKROBIEN SÄILYVYYS LUONNONVESISSÄ

Veden virkistyskäytön aiheuttama terveysriski riippuu paljon vedessä esiintyvien taudinaiheuttajien elinkyvystä ja säilyvyydestä vesiympäristössä. Suolistoperäiset taudinaiheuttajamikrobit eivät pysty lisääntymään ilman isäntäeläintä. Veteen päädyttyään ne pystyvät kuitenkin säilymään elinkykyisinä oikeissa olosuhteissa pitkiäkin aikoja ja voivat kulkeutua virtausten mukana esimerkiksi jätevedenpuhdistamon purkupuikelta uimarannalle. Epäsuotuisissa olosuhteissa monille mikrobeille on tyypillistä muuntua sellaiseen muotoon, joka säilyy paremmin. Tällaisia ovat esimerkiksi kampylobakteerin VBNC-muoto (viable but not culturable) (Tholozan ym., 1999), giardian kystit sekä kryptosporidian ookystit (Pond, 2005). Mikrobin elinkyky ja säilyminen vesiympäristössä riippuvat useista ulkoisista tekijöistä. Kaiken kaikkiaan virusten on todettu selviävän vesiympäristössä paremmin kuin bakteerien.

5.1 VEDEN LÄMPÖTILA

Kaikilla mikrobeilla on ominainen kasvulämpötila-alueensa. Bakteereilla kokonaisuutena kyseinen kasvualue on todella laaja, mutta yksittäisillä lajeilla se on yleensä kapeampi. Esimerkiksi ravinteiden saatavuus voi vaikuttaa mikrobin kasvulämpötila-alueeseen. Optimilämpötilalla tarkoitetaan lämpötilaa, jossa mikrobin kasvu on kaikkein nopeinta. Joillakin mikrobeilla se voi olla hyvin alhainen (vain muutamia lämpöasteita), kun taas joillakin nopein kasvu tapahtuu melkein + 90 °C:ssa (Niemelä, 2002). Suomen kaltaisissa olosuhteissa, joissa vesien lämpötila on suurimman osan vuodesta alhainen, parhaiten kasvuun pystyvät vain ne mikrobit, joiden kasvun optimilämpötila on noin + 4 °C - + 20 °C. Suolistoperäiset taudinaiheuttajamikrobit eivät yleensä lisäänty vedessä, mutta heterotrofisten mikrobin kasvu ja siitä aiheutuva kilpailutilanne voi vaikuttaa taudinaiheuttajien säilyvyyteen vedessä heikentävästi (Pitkänen, 2002).

Useissa tutkimuksissa suolistomikrobin on todettu selviävän vedessä elinkykyisinä paremmin alhaisissa kuin korkeissa lämpötiloissa. Esimerkiksi kampylobakteerien vesiympäristössä säilymisen kannalta Thomas ym. (1999) ovat havainneet veden optimilämpötilaksi + 5 °C, mikä selittää vähäisempiä kampylobakteerilöydöksiä kesäaikaan kuin talviaikaan (Rollins ja Colwell, 1986) ja elokuussa kuin kesäkuussa (Hokajärvi, 2007). Myös Wait ja Sobsey (2001) ovat havainneet tiettyjen bakteerien (*S. Typhi* ja *S. sonnei*) sekä enteristen virusten selviävän merivedessä paremmin alhaisissa kuin korkeissa lämpötiloissa. Esimerkiksi noro-

virusten sekä coxsackievirusten on todettu säilyvän infektiivisenä viileässä vedessä jopa kuukausia (Hurst ym., 1989; Von Bonsdorff ja Maunula 2003b). Myös kissan kalikivirusten on todettu säilyvän jopa 30 vuorokautta infektiivisenä merivedessä, jonka lämpötila on alle 10 °C (Kadoi ja Kadoi, 2001). Raphael ym. (1985) ovat todenneet myös rotaviruksen selviävän infektiivisenä useita päiviä jokivedessä, jonka lämpötila on 20 °C. Kryptosporidian ookystit ovat hyvin säilyviä myös Suomen olosuhteissa, sillä niiden on todettu säilyvän infektiivisenä hyvin sekä sisämaan vesissä että merivedessä lämpötilan ollessa 4-22 °C (Pokorny ym., 2002; Carey ym., 2004).

5.2 HAPEN MÄÄRÄ VEDESSÄ

Happi liukenee veteen huonosti, mutta esimerkiksi veden voimakas sekoittuminen lisää hapen liukenemista (Salkinoja-Salonen, 2002a). Luonnonvesiin sovellettuna tämä tarkoittaa sitä, että jokivesissä happea on enemmän kuin esimerkiksi järvivedessä. Mikrobit voidaan jakaa neljään ryhmään niiden hapentarpeen perusteella. Ehdottomasti aerobiset mikrobit tarvitsevat välttämättä happea elinkykynsä säilyttämiseen, ehdottomasti anaerobisille mikrobeille happi taas on vahingollista, fakultatiivisesti aerobiset mikrobit pystyvät elämään sekä hapellisissa että hapettomissa olosuhteissa ja happea sietävät anaerobiset mikrobit eivät käytä happea energiantuotantonsa mutta happi ei ole niille myrkyä (Salkinoja-Salonen, 2002a).

Ihmisten ja eläinten suolistossa elävät taudinaiheuttajat ovat tottuneet elämään hapettomissa olosuhteissa. Useimmat tämän katsauksen osiossa 3 läpikäytyt mikrobit ovat fakultatiivisesti aerobeja. Kuitenkin esimerkiksi kampakobakteerien kasvu vaatii alhaisen hapen määrän eli liian suuret happipitoisuudet ovat niille myrkyä. Hapen määrällä on siten vaikutuksensa anaerobien/mikroaerofiilisten mikrobien esiintymiseen. Kesällä, veden lämpötilan ollessa talviaikaa korkeampi, hapen liukoisuus vähenee (Salkinoja-Salonen, 2002a) mikä helpottaa edellä mainittujen mikrobien elinoloja. Toisaalta taas lämpimän veden aikaan fotosynteesi on voimakkaampaa, jolloin happea muodostuu enemmän kuin vähäisemmän fotosynteesin aikaan.

5.3 VEDEN PH

Useimpien mikrobien kasvu ei ole enää mahdollista kun pH laskee arvon 3,5 alapuolelle. Ei tunneta yhtään taudinaiheuttajaa, joka lisääntyisi näin happamissa olosuhteissa (Salkinoja-Salonen, 2002b). Jokaisella mikrobilla on kasvulleen optimaalinen pH-alueensa. Useiden suolistoperäisten taudinaiheuttajien osalta kasvulle optimaalinen pH-alue on 6 – 8 (ESR,

2001). Esimerkiksi useimmat vibriolajit suosivat pH-alueita 7 - 8. Kuitenkin esimerkiksi *V. cholerae* voi kasvaa pH:n ollessa jopa 10 (ESR, 2001; Farmer ym., 2005). *S. Typhi* -bakteerin kasvulle optimaalinen pH-alue on 7 - 7,5. Sen on todettu kykenevän kasvuun pH:n ollessa alhaisimmillaan 3,8 tai korkeimmillaan 9,5 (ESR, 2001). Kampylobakteerien osalta kasvu on mahdollista pH:n ollessa 4,9 - 9. Optimaalinen pH-alue kampylobakteereille on 6,5 - 7,5 (ESR, 2001). Vuosina 2003-2006 Suomen uimavesien pH oli keskimäärin 7,4 - 7,5. Yksittäiset tulokset vaihtelivat 4,6 - 10 välillä (Zacheus, 2007).

5.4 UV-SÄTEILY

UV-säteily on peräisin auringosta. Se jaetaan kolmeen eri aallonpituuteen: UVA- (315-400 nm), UVB- (280-315 nm) ja UVC- (100-280 nm) säteilyyn. Näistä kuitenkin UVC- ja osa UVB-säteilystä suodattuvat pois ilmakehän otsonikerroksessa (WHO, 2007b). Erityisesti UVB- ja UVC-säteilylle altistuminen voivat aiheuttaa muun muassa mutaatioita ja kromosomimuutoksia DNA:ssa. (WHO, 1994).

UV-säteilytys erityisillä laitteilla on yksi veden desinfiointitapa esimerkiksi talousveden valmistuksessa. Mikrobin tuhoamisen kannalta tehokkain aallonpituus on 260 nm (Karttunen, 2004). Nasser ym. (2006) ovat tutkimuksessaan todenneet, että 20 mWs/cm² annos matalapaineista UV-säteilyä on tehokas *E. coli* -bakteerien poistamiseksi tislatusista vedestä. Rotaviruksen osalta vastaavan tehon saavuttamiseksi käytettiin annosta 80 mWs/cm². Tulokset olivat samansuuntaiset myös tutkimuksessa käytetyn puhdistetun jäteveden osalta.

Luonnonvesissä esiintyvät taudinaiheuttajat voivat vahingoittua joko suoraan UV-säteilyn vaikutuksesta tai kuten esimerkiksi Kohn ja Nelson (2007) ovat enteeristen virusten osalta tutkineet, vielä merkittävämmän epäsuorasti UV-säteilyn vaikuttaessa ensin esimerkiksi humushappoihin tuottaen siten hapettavia molekyylejä. Johnson ym. (1997) ovat todistaneet UV-säteilyn lyhentävän kryptosporidian, giardian, salmonellan ja polioviruksen selviytymisaikaa merivedessä. Kaiken kaikkiaan vesivälitteisistä taudinaiheuttajista herkimpiä UV-säteilylle ovat kryptosporidioiden ookystit ja giardian kystit sekä bakteerit (Hijnen ym., 2006). Nwachuku ym. (2005) ovat todenneet adenovirusten olevan enteerisistä viruksista kaikkein kestävimpiä UV-säteilylle. *C. jejuni* ja *Y. enterocolitica* on todettu olevan herkimpiä auringosta tulevalle UV-säteilylle kuin monet muut vesivälitteiset taudinaiheuttajabakteerit (Butler ym., 1987). Herkkyydellä tai kestävyydellä UV-säteilylle on oma vaikutuksensa edellä mainittujen bakteerien ja virusten elinkykyyn ja siten myös esiintymiseen vedessä etenkin kesäaikana, jolloin UV-säteily on voimakkaampaa kuin talviaikana. Kesällä, voimakkaimman auringonpaisteen aikaan, maapallon keskileveysasteilla UV-säteilyannoksen on arveltu kohoavan ajoittain jopa suuremmaksi kuin mitä esimerkiksi juo-

maveden valmistuksessa käytettävät annokset ovat. Tällöin mahdollisesti ainakin kryptosporidioiden ookystit tuhoutuvat luonnonvesissä (Craik ym. 2001; Brookes ym., 2004).

UV-säteilytyksen desinfioivaan tehoon vaikuttavat sellaiset veden ominaisuudet, jotka absorboivat UV-valoa. Tällaisia ovat esimerkiksi rautayhdisteet, orgaaniset aineet ja kiinteät hiukkaset. Mitä enemmän valoa absorboituu, sitä pienemmille UV-annoksille mikrobit altistuvat. Veden sameus ja valonläpäisevyys alentavat UV-annosta (Vesi- ja viemärlaitosyhdistys, 2003). Hurst (1988) on arvellut samean veden olevan mahdollisesti yksi suojaava tekijä UV-säteilyä vastaan etenkin viruksille. Humuspitoisissa vesissä, jotka ovat Suomessa yleisiä, UV-säteilyn vaikutukset ovat todennäköisesti vähäisempiä kuin kirkkaissa vesissä. Deller ym. (2006) ovat todenneet säteilyn vaikutuksen olevan tehokkaampaa veden pinnalla kuin syvällä vedessä, sillä vesi itsessäänkin estää UV-säteilyn läpäisevyyttä.

5.5 RAVINTEIDEN MÄÄRÄ JA MUUT MIKROBIT VEDESSÄ

Mikrobit tarvitsevat kasvuansa varten orgaanisessa tai epäorgaanisessa muodossa olevaa hiiltä, typpeä, fosforia ja rikkiä. Kuten yleisesti on tiedossa, rehevöityneissä vesistöissä on runsaasti ravinteita muun muassa mikrobien käyttöön. Tästä seuraa luonnollisesti runsas mikrobikasvu, mikä taas lisää kilpailua mikrobien kesken. Koska suolistoperäiset taudinaiheuttajamikrobit eivät juuri kykene lisääntymään vedessä, niille ravinteiden määrällä ei ole merkitystä kuin välillisesti eli ravinteiden runsauden myötä ne todennäköisesti jäävät kilpailutilanteessa muita mikrobeja heikompaan asemaan. Näin ollen taudinaiheuttajien selviytymismahdollisuudet heikkenevät.

Useat vedessä elävät selkärangattomat eliöt, kuten esimerkiksi ameebat, käyttävät siellä esiintyviä mikrobeja (myös taudinaiheuttajamikrobeja) ravinnokseen. Esimerkiksi salmonellojen ja vibrioiden osalta saalistuksen on todettu olevan merkittävä näiden bakteerien määrää vähentävä tekijä jokivedessä (Chao ym., 1988). Rehevässä vesistöissä, missä esimerkiksi ameebojen kasvu on runsasta, todennäköisesti mikrobien saaliiksi joutumisen mahdollisuus kasvaa. Toisaalta mikrobit voivat suojautua sedimenttiin, missä mikrobien on todettu selviävän tavallista pidempiä aikoja etenkin paljon ravinteita sisältävässä vesiympäristössä (Davies ym., 1995). Schallenberg ym. (2005) ovat osoittaneet, että *C. jejuni* määrä voi vähentyä luonnonvesissä planktonin saalistuksen myötä. Edellytyksenä tälle ovat planktonille sopivan ravinnon riittävyys. Todennäköisesti planktonin saalistuksella on merkitystä myös muiden taudinaiheuttajamikrobien vähentämisessä luonnonvesissä. Taudinaiheuttajat saattavat säilyttää infektiivisyytensä selkärangattomissa eliöissä ja päätyä myös ihmisen elimistöön (Brookes ym., 2004).

Luonnonvesien virusten (virusplankton) on todettu olevan jopa 10 kertaa bakteeriplanktonia yleisempää luonnonvesissä. Nämä virukset infektoivat isäntämikrobejaan vähentäen niiden määrää vaikuttaen siten esimerkiksi mikrobien väliseen kilpailuun. Luonnonvesien virusten on todettu myös pitävän yllä kasvi- ja bakteeriplanktoniyhdyskuntien rakennetta (Wommack ja Colwell, 2000).

6 VESIEN VIRKISTYSKÄYTTÄJÄT JA TAUDINAIHEUTTAJIEN AIHEUTTAMAN TERVEYSRISKIN SUURUUS

Luonnonvesien virkistyskäyttäjien terveyteen, ominaisuuksiin ja käyttäytymiseen liittyvillä tekijöillä on oma merkityksensä veden käytöstä aiheutuvan terveystarpeen suuruuteen. Tässä osiossa käsitellään veden kanssa tapahtuvan suoran altistumistavan, kunkin henkilön immunijärjestelmän tilan ja luonnonvesien esteettisten ominaisuuksien vaikutuksia.

6.1 SUORA KONTAKTI VEDEN KANSSA JA NIELLYN VEDEN MÄÄRÄ

Yksi tärkeimmistä taudinaiheuttajille altistumiseen vaikuttavista tekijöistä on aika, jonka veden virkistyskäyttäjä on kosketuksissa veden kanssa. Mitä kauemmin vedessä aikaa vieteen, sitä enemmän taudinaiheuttajille altistutaan nielemisen, hengittämisen sekä esimerkiksi haavojen välityksellä (Pond, 2005). EPA (1999) on arvioinut sekä suun että nenä(nielun) kautta elimistöön päätyvän veden määrän yhden uimiskerran yhteydessä olevan noin 100 ml. Tämän määrän on arveltu riittävän suolistotulehduksen aikaansaamiseksi. Muiden infektioiden (esimerkiksi haavainfektiot) osalta ei ole tietoa infektioannoksen suuruudesta (EPA, 1999). Dufour ym. (2006) ovat todenneet uima-altaassa uimessa nieltävän veden määrän olevan aikuisilla keskimäärin 16 ml ja lapsilla 37 ml. Myös uimarannoilla pienet lapset todennäköisesti nielevät enemmän vettä kuin aikuiset.

Muiden luonnonvesien veden virkistyskäyttömuotojen kuin uimisen osalta ei tiettävästi ole julkaistuja arvioita nieltävän veden määrästä. Sukeltajien tiedetään nielevän vettä tavallisesti pinnalla uimessaan ja käyttäessään suukappaleita, jotka ovat kelluneet irrallaan vedessä ennen varsinaista käyttöä (Pond, 2005). Erityisesti lauhkean vyöhykkeen alueella on tapahtunut muutos veden virkistyskäytön ajankohdan suhteen eli nykyisin esimerkiksi märkäpuvut ovat mahdollistaneet luonnonvesien hyödyntämisen myös varsinaisen uimakauden ulkopuolella (Pond, 2005). Tällaisessa tilanteessa tieto siitä, että suolistoperäiset taudinaiheuttajat selviävät tavallisesti paremmin viileämmässä vesissä (katso osio 5), nousee entistään suurempaan merkitykseen.

6.2 VEDEN VIRKISTYSKÄYTTÄJÄN IMMUUNIJÄRJESTELMÄN TILA

Tärkeässä asemassa luonnonvesien virkistyskäytöstä aiheutuvaa terveysriskiä arvioitaessa on veden käyttäjän immuunijärjestelmän tila. Se vaikuttaa merkittävästi yksilön herkkyyteen saada infektio ja toisaalta myös infektion vakavuuteen. Tzipori (1988) on tekemänsä katsausartikkelin perusteella todennut, että aikuisilla ja vanhemmilla lapsilla kryptosporidian aiheuttamaa infektiota esiintyy vähemmän, koska he ovat jo aiemminkin sille altistuneet. Joillekin taudinaiheuttajille muodostuva immuniteetti kestää vain lyhyen ajan. Esimerkiksi tietylle noroviruskannalle muodostuvan immuniteetin on todettu kestävän ainoastaan noin puoli vuotta (Noel ym., 1997; Hale ym., 1998; von Bonsdorff ja Maunula, 2003b). Tzipori (1988) on myös todennut immuunijärjestelmän tilan olevan tärkein tekijä, joka vaikuttaa siihen, onko infektio itsestään paraneva vai jääkö se erittäin pitkäaikaiseksi ja vaikeahoitaiseksi.

Immuunijärjestelmän tila voi olla kroonisesti heikentynyt esimerkiksi sairauden takia, mistä luonnollisesti seuraa suurempi infektioriski luonnonvesiä käytettäessä. Tällaisia sairauksia ovat muun muassa syöpä ja AIDS (Pond, 2005). Etenkin AIDS-potilailla on mahdollista, että sairastuttuaan suolistoinfektioon, ripuli jää krooniseksi (Janoff ja Smith, 1988; Gerba, 1996). Immuunijärjestelmän on todettu toimivan heikentyneesti myös raskaana olevilla naisilla (Gerba ym., 1996; Ventura ym., 1999; Pond, 2005).

Ihmisten immuunijärjestelmän toiminta heikkenee iän myötä. Näin ollen vanhemmilla ihmisillä on suurempi riski sairastua luonnonvesiä käyttäessään. Heikentyneen kunnan vuoksi vanhuksille eivät myöskään antibiootit enää tehoa kovin hyvin ja vanhuksilla myös aliravitsemus on yleisempää kuin nuoremmilla henkilöillä (Meyers, 1989; Gerba ym. 1996; Pond, 2005). Vanhuksilla mahdollinen infektio esiintyy voimakkaampana kuin muilla ikäryhmillä ja tässä ikäryhmässä kuolleisuus esimerkiksi suolistotulehdukseen onkin suurempaa kuin muissa ikäryhmissä. Kuolleisuus ripuliin on suurin yli 74-vuotiailla (Lew ym. 1991; Gerba ym. 1996).

Vastasyntyneet ja pienet lapset ovat myös riskiryhmässä vielä kehittymättömän puolustuskyvyn takia. Vastasyntyneille infektio voi tarttua esimerkiksi raskauden aikana sairastuneen äidin välityksellä (Gerba ym., 1996; Pond, 2005). Etenkin coxsackievirusten aiheuttaman infektion on todettu tarttuvan vastasyntyneisiin melko yleisesti sairastuneen äidin välityksellä (Kaplan ym. 1983; Gerba ym. 1996).

Ruokavaliolla tiedetään olevan oma merkityksensä immuunijärjestelmän toiminnan kannalta. Esimerkiksi maitohappobakteereiden tiedetään estävän suolistoperäisiä infektioita (Heyman, 2000). Etenkin jugurtin on todettu parantavan elimistön puolustusjärjestelmää taudinaiheuttajia vastaan (Solis ym., 2002). Turisteilla on usein huono puolustuskyky paikallisesti tyypillisille taudinaiheuttajille, kun matkustetaan eri puolelle maailmaa (Pond, 2005).

Kilpauimareilla, jotka harjoittelevat paljon, on todettu olevan suurempi riski saada virusperäinen hengitystietulehdus tai muu virusinfektio. Bakteeriperäisten infektioiden osalta ei vas-

taavanlaista vaikutusta ole havaittu. Syynä suurempaan infektioriskiin on voimakkaasta harjoittelusta aiheutuva immuunijärjestelmän tilan heikkeneminen, joka voi kestää jopa useita päiviä (Pond, 2005). Sen sijaan Radak ym. (1999) ovat todenneet kohtuullisen määrän liikuntaa parantavan immuunijärjestelmän toimivuutta. Näiden tulosten perusteella voisi päätellä, että kilpaurheilijoilla, esimerkiksi kilpauimareilla, on suurempi riski luonnonvesien käytön yhteydessä mahdollisesti saataviin virusperäisiin infektioihin kuin muilla henkilöillä (Pond, 2005). Bradley ja Hancock (2003) ovat indikaattoribakteeripitoisuuksien määrittämisen avulla tutkimuksessaan todenneet, että henkilöt, jotka harjoittelevat voimakkaasti vedessä ja ovat myös sukelluksissa, ovat todennäköisesti enemmän kosketuksissa mikrobeihin kuin ne henkilöt, jotka ainoastaan uivat tavanomaiseen tapaan.

6.3 ESTEETTISET TEKIJÄT LUONNONVESISSÄ

Esteettiset tekijät luonnonvesissä vaikuttavat siihen, käyttävätkö ihmiset kyseistä vettä virkistyskäyttöön. Erilaisia esteettisiä tekijöitä ovat esimerkiksi uimarannan ja veden siisteys (roskattomuus), vaahto vedessä sekä veden väri ja haju (WHO, 2003). Esteettisesti miellyttävässä ympäristössä sekä mikrobiologisten että kemiallisten terveystekijöiden oletetaan yleisesti olevan pienemmät kuin epäilyttävän näköisessä ympäristössä (WHO, 2003). Tietävästi ei ole kuitenkaan tutkittu, onko esteettisesti epäilyttävä ympäristö suhteessa mikrobiologisesti heikkolaatuiseen ympäristöön. Se, milloin vesistö tai ranta on mahdollisen käyttäjän mielestä esimerkiksi liian roskaantunut, riippuu paljon muun muassa mahdollisen käyttäjän iästä ja sukupuolesta (WHO, 2003).

Jo veden virkistyskäyttäjien turvallisuuden takia on hyvä läpinäkyvyys vedessä suotavaa. Turvallisuuden lisäksi kirkas vesi on houkuttelevampi kuin samea tai väriltään huomiota herättävä vesi. Sameutta ja väriä veteen voivat aiheuttaa ympäristöstä peräisin olevat tekijät. Esimerkiksi rauta antaa vedelle punertavan värin. Toisaalta vesistössä voi myös luonnostaan olla runsaasti sameutta tai väriä. Öljyä ja erilaisia puhdistusaineita voi myös satunnaisesti esiintyä luonnonvesissä (WHO, 2003).

Roskat sekä vedessä että rannalla ovat yksi tärkeimpiä tekijöitä kun valitaan virkistyskäyttöön sopivaa vesistöä. Useimmiten roskat ovat ihmisten kuljettamia, mutta myös esimerkiksi virtaava vesi voi kuljettaa roskia pitkiäkin matkoja. Roskana voidaan pitää muun muassa kuolleita eläimiä, jotka voivat olla terveydelle haitallisia (WHO, 2003).

Erilaiset pahat hajut vesistön käyttöympäristössä voivat olla varoittava merkki esimerkiksi jätevesikontaminaatiosta, kuolleista eläimistä rannalla tai polttoaineesta vedessä. Myös tällaisessa tilanteessa veteen jätetään tavallisesti menemättä (WHO, 2003).

7 LUONNONVESIEN VIRKISTYSKÄYTTÖÖN LIITTYVÄT INFEKTIOT

Epidemiologisten tutkimusten perusteella on saatu selvä yhteys huonolaatuisen virkistyskäyttöön tarkoitetun veden ja terveyshaittojen välillä. Vaikeuksia on kuitenkin ollut yhdistää infektiot veden virkistyskäyttöön, sillä useat taudinaiheuttajat voivat aiheuttaa infektion myös esimerkiksi elintarvikkeiden välityksellä (Pond, 2005). Suuret epidemiat ja niiden lähteet selvitetään yleensä tarkimmin, mutta yksittäisiin infektiioihin ja niiden lähteisiin ei välttämättä kiinnitetä erityistä huomiota.

USA:ssa on olemassa tietokanta (Waterborne Disease and Outbreak Surveillance System), johon on kerätty tiedot raportoiduista vesivälitteisistä epidemioista (Pond, 2005; Dziuban, 2006). Vuosina 2003 ja 2004 tietokantaan raportoitiin 62 vesien virkistyskäyttöön liittyvää epidemiaa. Näistä kuitenkin vain 19 liittyi käsittelemättömiin vesiin eli luonnonvesiin ja sairastumistapauksia oli yhteensä 252. Tyypillisin epidemioissa esiin tullut infektio oli suolistotulehdus ja suurin osa epidemioista ilmeni kesäkuukausina. Epidemioita raportoitiin kuitenkin kaikkina vuodenaikoina. Käsittelemättömissä vesissä infektioiden aiheuttajina olivat enimmäkseen bakteerit (*Shigella* ja *Vibriot*), mutta myös virukset (norovirus) ja alkueläimet (*Cryptosporidium* ja *Giardia*). Dwight ym. (2005) ovat arvioineet kahden kalifornialaisen rannan osalta uimiseen liittyvien suolistotulehdusten maksavan yhteensä noin 1,3 miljoonaa dollaria vuosittain.

Kramer ym. (1998) ovat julkaisseet USA:ssa ensimmäisen *Cryptosporidiumin* aiheuttaman epidemian, jonka välittäjänä oli järvivesi. Elokuun 9. vuonna 1994 USA:ssa, New Jerseyssä, ilmeni suolistotulehdusta useilla henkilöillä, jotka olivat uineet eräässä puistossa olleessa pienessä, matalassa järvessä. Järvi suljettiin 12. elokuuta kolmelta potilaalta tehdyn *Cryptosporidium*-positiivisen ulostenäytteen perusteella. Asiasta julkaistun lehdistötiedotteen jälkeen useat sadat järvessä uineet ja suolistotulehdukseen sairastuneet ilmoittautuivat paikallisille viranomaisille. Laboratoriotutkimukset ja haastattelut paljastivat, että ensimmäiset tautitapaukset olivat ilmenneet henkilöillä, jotka vierailivat järvellä jo 15. heinäkuuta. Tapaukselta tehtyjen epidemiologisten ja laboratoriotutkimusten perusteella infektion aiheuttajaksi varmistui, kuten alussa epäiltiin, *Cryptosporidium*. Järvivedestä otettiin näytteet sekä 17. elokuuta että 21. syyskuuta. *Cryptosporidium* todettiin ainoastaan syyskuussa otetuista näytteistä. Epidemiologisten tutkimusten perusteella voitiin kuitenkin sanoa, että infektion lähteenä oli järvivesi. Tutkimukset osoittivat myös selkeän positiivisen annos-vastesuhteen järvivedelle altistumisen ja sairastumisen välille. Tutkimuksessa ei ollut tarkemmin selvitetty, mistä *Cryptosporidium* oli järveen päätenyt. Todennäköiseksi syyksi arveltiin kuitenkin sadetta, joka oli huuhdellut mukanaan jätevettä mahdollisesti sakokaivosta.

Keene ym. (1994) ovat julkaisseet järvivedessä uimisen seurauksena ilmenneestä *Shigella sonnein* aiheuttamasta epidemiasta USA:ssa, Oregonissa, kesällä 1991. Samassa artikkelissa

Keene ym. (1994) raportoivat myös *E. coli* O157:H7:n aiheuttamasta epidemiasta, jonka todettiin olevan peräisin samasta järvivedestä. Ulostenäytteen perusteella varmasti shigelloosia sairastavia potilaita oli 28 ja suurin osa potilaista oli lapsia (iän mediaani 6 vuotta). Järvestä otettiin ainoastaan yksi näyte taudinaiheuttajien tutkimista varten ja tulos oli negatiivinen. Infektioiden todennäköisimmäksi syyksi todettiin kuitenkin uimisen yhteydessä tapahtunut järiveden nieleminen. Veden arveltiin saastuneen muiden uimareiden ulosteella.

7.1 LUONNONVESIVÄLITTEISET INFEKTIOT SUOMESSA

Suomessa Kansanterveyslaitos on koonnut terveydensuojelulain (763/1994) nojalla vuodesta 1996 lähtien epidemiaepäilyilmoituksia elintarvike- ja vesivälitteisistä epidemioista. Epäillyt vesivälitteiset epidemiat ovat olleet talousveden aiheuttamia, eivätkä luonnonveden välittämiksi epäillyt epidemiat ole kuuluneet raportoinnin piiriin. Kansanterveyslaitoksen Ympäristöterveyden osasto on kuitenkin saanut joitakin tietoja luonnonvesien välittämiksi epäillyistä infektioryypistä paikallisten terveydensuojeluviranomaisten yhteydenottojen perusteella. Seuraavassa esitellään viime vuosien aikana Suomessa esille tulleet tapaukset, joissa luonnonvesien virkistyskäyttö, lähinnä uiminen, on todettu suolistoinfektioiden aiheuttajaksi.

Heinäkuussa 2006 ilmeni Varsinais-Suomessa laaja vatsatautiepidemia (Puttonen, 2006a). Sairastuneita oli noin 100 (Puttonen, 2006b). Suurin osa sairastuneista oli lapsia ja potilaita yhdistävä tekijä oli uiminen epävirallisella uimarannalla, joka oli pohjavedestä muodostunut lampi. Lampi laitettiin uimakieltoon 12.7.2006 (Puttonen, 2006a). Sairastuneiden ulostenäytteistä löydettiin genoryhmän I norovirusta (Puttonen, 2006b), ja lisäksi saatiin viitteitä, että sama genoryhmä esiintyi myös vedessä (henkilökohtainen tiedonanto, Leena Maunula, 21.5.2007).

Helsingin Pirkkolassa sairastui satoja henkilöitä vatsatautiin heinäkuussa 2001 uituaan tai kahlattuaan uimalammikossa (Pönkä ym., 2002; Maunula ym., 2004). Suurin osa sairastuneista oli lapsia. Uimalammikko oli vuonna 1946 rakennettu hiekka- ja sorapohjainen noin metrin syvyinen uimapaikka. Siihen johdettiin verkostovettä ja veteen lisättiin klooria kolmesti viikossa. Lammikon veden mikrobiologista laatua on seurattu terveysviranomaisten toimesta. Uimalammikosta otettiin näytteitä hei sairastumistapausten ilmettyä ja tämän jälkeen allas tyhjennettiin ja asetettiin käyttökieltoon. Laboratoriotutkimuksissa vedestä löydettiin genoryhmää II edustavia norovirusia sekä astrovirusia. Myös viideltä potilaalta saaduista ulostenäytteistä havaittiin emäsjärjestyksen perusteella vesinäytteestä havaitun kannan kanssa samanlainen genoryhmän II norovirus. Kahdella potilaista havaittiin myös astrovirus, mikä havaittiin myös vedestä. Uimalammikon saastumisen syy jäi epäselväksi mutta yhtenä mahdollisuutena pidettiin ulostetta, jota mahdollisesti oli päässyt alueella olevasta käymälästä veteen. Uimalammikko puhdistettiin uusimalla pohjahiekka 20 cm:n syvyydeltä ja shok-

kiklooraamalla vesi uudelleentäytön jälkeen. Kesän 2002 uimakautta varten uimalammikko kunnostettiin tiivistämällä lammikon pohja sekä varustamalla lammikko veden suodatus- ja desinfiointilaitteistolla.

Kansanterveyslaitoksen saamien tietojen perusteella Satakunnassa epäiltiin uimavedestä havaittujen kampylobakteerien aiheuttaneen 3-4 pikkulapsen sairastumisen kesällä 2002. Myös kesällä 2003 uimavedestä havaittiin kampylobakteereja, jolloin rannalle laitettiin varoituskyltti. Lisäksi asiasta annettiin lehdistötiedote useissa alueella ilmestyvissä lehdissä.

Vuonna 1997 ilmeni Suomen ensimmäinen ja toistaiseksi ainoa esille tullut uimavedeen liitetty *E. coli* O157:H7 –bakteerin aiheuttama epidemia Alavudella (Paunio ym., 1999). Veriseen ripuliin sairastuneita oli yhteensä 14, joista kuitenkin vain viittä 3-8 -vuotiasta poikaa pidettiin suoraan paikallisen järven vedestä sairastuneina ja loput olivat saaneet tartunnan sairastuneelta henkilöltä. *E coli* O157:H7 –bakteeria ei löydetty vedestä, mutta epidemiologisten tutkimusten perusteella sairastuminen yhdistettiin uimiseen paikallisella järvellä, jonka läheisyydessä järjestettiin festivaalit heinäkuussa 1997. Uimaveden saastumisen syyksi epäiltiin ihmisen ulostetta.

Myös muita kuin suolistoinfektioita on Suomessa tullut esille. Lukinmaa ym. (2006) ovat raportoineet kolmesta Porvoon, Raahan ja Oulun rannikkoseuduilla heinäkuussa 2003 esiin tulleesta sairaalahoitoa vaatineesta *V. cholerae* –infektiosta, jotka yhdistettiin meriveteen. Kaikilla kolmella potilaalla oli myös muita infektiolle altistavia tekijöitä. Yksi potilaista oli 77-vuotias mies, jolla oli tyypin 2 diabetes ja ruusu-ihoinfektio. Potilas oli uinut meressä useita kertoja ennen saamansa vibrioinfektiota. Toinen potilas oli 2-vuotias pahoja palovammoja rantanuotiosta saanut pikkupoika, joka kannettiin ensiapuna meriveteen. Kolmas potilas oli 54-vuotias mies, jolla oli maksakirroosi ja sepelvaltimotauti. Hän oli kalastanut merellä ja saanut tartunnan suolaamastaan merikalasta. Potilaan mahdollisesta uimisesta merivedessä ei ollut tietoa.

8 MIKROBIOLOGISEN RISKIN ARVIOINTI

Riski on todennäköisyys, että jotain negatiivista tapahtuu. Tekijää, joka negatiivisen vaikutuksen aiheuttaa, sanotaan vaaraksi (hazard) (Westrell, 2004). Riskinarviointia on alun perin käytetty eri kemikaalien aiheuttamien terveystarkkojen arvioimiseksi. Mikrobit eroavat selvästi kemikaaleista, joten niitä varten riskinarviointia on kehitetty edelleen. Mikrobeille on tyypillistä, että ympäristön olosuhteet vaikuttavat niihin voimakkaasti; epäsuotuisissa olosuhteissa ne voivat esimerkiksi inaktivoitua ja suotuisissa olosuhteissa lisääntyä (Westrell, 2004). Mikrobit myös esiintyvät epätasaisesti jakautuneina ympäristössä, kuten vedessä.

8.1 KVANTITATIIVINEN MIKROBIOLOGISEN RISKIN ARVIOINTI (QUANTITATIVE MICROBIAL RISK ASSESSMENT, QMRA)

QMRA soveltuu hyvin riskin arviointiin vesiympäristössä ja WHO on ottanut sen käyttöön vesivälitteisten infektioiden hallinnassa (Westrell, 2004). Tavallisesti QMRA:n vaiheet ovat (Haas ym., 1999; Westrell, 2004; Pond, 2005):

- **Vaaran/riskin tunnistaminen.** Kvalitatiivinen arvio tietyssä tilanteessa ihmisen terveyttä uhkaavasta taudinaiheuttajasta sekä sen aiheuttamien sairauksien kuvaaminen.
- **Altistumisen arviointi.** Eri altistumisreittien kautta tapahtuva altistumisen tiheys, kesto ja suuruus eri reittien kautta. Altistumisen arviointi vaatii tietoa myös taudinaiheuttajan määrästä sekä kulkeutumisesta ja säilyvyydestä ympäristössä.
- **Annos-vasteen analysointi.** Infektion todennäköisyys eri taudinaiheuttajamäärillä. Ympäristö, taudinaiheuttaja sekä altistunut henkilö vaikuttavat kaikki osaltaan siihen, sairastuuko henkilö vai ei.
- **Riskin karakterisointi.** Yhdistelmä edellä mainituista.

Jotta QMRA saataisiin tehtyä luotettavasti tietyn luonnonvedessä esiintyvän taudinaiheuttajan osalta jollekin tietylle ihmisjoukolle, on tiedettävä ensinnäkin kyseisen taudinaiheuttajan määrä vedessä, taudinaiheuttajan säilyvyys vesiympäristössä ja pitoisuuden laimeneminen vedessä tietynlaisissa olosuhteissa, niellyn veden määrä sekä kyseessä olevan ihmisjoukon erityisominaisuudet (soveltaen Hörman, 2005; Hunter ym., 2003). Yksi merkittävimmistä ongelmista riskin arvioinnissa on, että pienetkin muutokset esimerkiksi taudinaiheuttajien pitoisuuksissa vedessä voivat johtaa erittäin vaihteleviin tuloksiin (Pond, 2005).

Epidemiologisilla tutkimuksilla saadaan tietoa infektioiden yleisyydestä, mutta niissä ei oteta huomioon tekijöitä, jotka ovat vaikuttamassa infektion mahdolliseen puhkeamiseen. Veden

virikistyskäyttöön liittyvässä QMRA:ssa ongelmia aiheuttavat tiedonpuute veden virikistyskäyttäjien käyttäytymisestä sekä todellisesta altistumisesta, kun otetaan huomioon sekä nieleminen, ihokosketus että hengitys. Eri ihmiset myös kokevat saamansa infektion vakavuuden eri tavalla (Pond, 2005).

8.2 VAARAN ARVIOINTI JA KRIITTISET HALLINTAPISTEET (HAZARD ANALYSIS AND CRITICAL CONTROL POINTS, HACCP)

HACCP-menettelyn ideana on terveysriskin sisältävien kohtien etsiminen toiminnasta. Näistä kohdista valitaan kriittiset hallintapisteet, jotka ovat sellaisia työ- tai käsittelyvaiheita, jotka ovat tärkeitä turvallisuutta uhkaavan vaaran estämiseksi, poistamiseksi tai vähentämiseksi. Näissä pisteissä riski on mahdollista todeta ja sen eteneminen pysäyttää/hallita (Evira, 2006a). HACCP-järjestelmän toteuttamisen periaatteita ovat (Hörman, 2005; Evira, 2006a):

- **Vaaran tunnistaminen ja ennakoivat toimenpiteet.** Tunnistetaan vaarat, jotka liittyvät tuotannon kaikkiin vaiheisiin.
- **Kriittisten hallintapisteiden määrittäminen.** Käsittely- ja tuotantoprosessin kohdat, joita voidaan ohjata vaaran poistamiseksi.
- **Kriittisten rajojen asettaminen.** Jokaiselle kriittiselle hallintapisteelle määritetään tietyt tavoitetasot, joita niiden on noudatettava.
- **Seurantakäytäntöjen laatiminen.** Seurantajärjestelmän avulla varmistetaan, että tilanne kriittisessä hallintapisteessä on hallinnassa.
- **Korjaavien toimenpiteiden määrittäminen.** Toimenpiteet, joihin ryhdytään kun havaitaan ettei tilanne kriittisessä hallintapisteessä ole hallinnassa.
- **Todentamiskäytäntöjen laatiminen ja HACCP-ohjelman validointi.** Varmistetaan HACCP-ohjelman toimivuus ja arvioidaan, takaako se tuotteiden turvallisuuden.
- **HACCP-asiakirjojen ja tallenteiden hallinta.** Kaikki suunnitelmat ja ohjeet sekä talletettu tieto, joka syntyy HACCP-järjestelmää laadittaessa ja toteuttaessa.

HACCP on alun perin tarkoitettu elintarviketuotantoa varten: HACCP-järjestelmä on yleisesti käytössä elintarvikehuoneistojen omavalvonnassa (Evira, 2006a). HACCP-järjestelmää on alettu käyttää myös vesihuoltolaitoksilla juomaveden valmistuksessa riskinarvioinnin työkaluna (Westrell, 2004; Hörman, 2005). WHO (2004) on antanut ohjeet talousveden kuluttajaturvallisuuden varmistamiseksi tehtäviä suunnitelmia (Water Safety Plan, WSP) varten. WSP:t perustuvat HACCP-analyysiin.

8.3 LUONNONVESISSÄ UIMISEEN LIITTYVIEN RISKIEN ARVIOINTI

Edellä esitettyjä menettelytapoja voidaan soveltaa myös uimavesistä aiheutuvien terveysriskien arviointiin. Tilanne kuitenkin hankalampi, koska kyseessä ei ole hallittava ja rajallinen tuotantoprosessi, vaan luonnonympäristö.

Uimavesiprofiilit

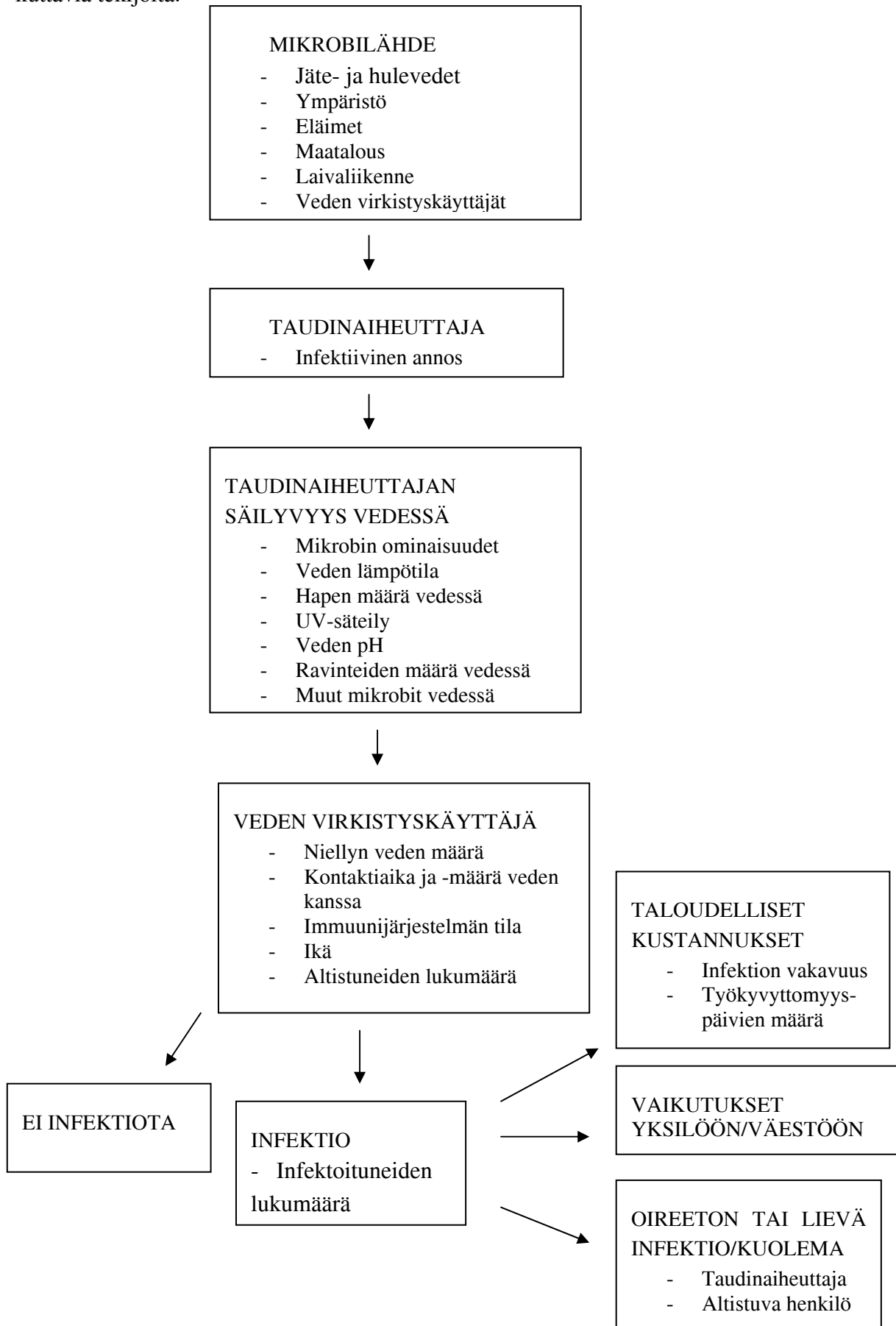
Uudessa uimavesidirektiivissä (2006/7/EY) on otettu käyttöön säännöllisesti päivitettävä uimavesiprofiili, jonka avulla voidaan parantaa uimavesiin kohdistuvien riskien ymmärtämistä. Uimavesiprofiili voidaan tehdä joko yhdelle uimavedelle tai useille vierekkäisille uimavesille. Uimavesiprofiiliin sisältyy kuvaus uimaveden ja uimaveden valuma-alueella olevien muiden pintavesien fysikaalisista, maantieteellisistä ja hydrologisista ominaisuuksista, jotka voisivat olla pilaantumisen aiheuttajia. Lisäksi profiilissa määritetään ja arvioidaan ne pilaantumisen syyt, jotka saattavat vaikuttaa uimaveteen ja uimareiden terveyteen. Profiilissa arvioidaan myös syanobakteereiden, makrolevien ja/tai kasviplanktonin nopean lisääntymisen todennäköisyyttä. Uimavesiprofiileja laadittaessa paikallisten toimijoiden tietämys riskitekijöistä tulee lisääntymään. Menetelmien kehittymisen myötä taudinaiheuttajien toteaminen vesistä tulee mahdolliseksi ja tämä osaltaan vaikuttaa siihen, että mikrobien aiheuttamat vesivälitteiset riskit tunnistetaan aiempaa paremmin.

9 YHTEENVETO

Tämä kirjallisuuskatsaus kokoaa yhteen perustiedot Suomessa yleisesti suolistoinfektioita aiheuttavista taudinaiheuttajamikrobeista ja niiden mahdollisesta esiintymisestä ja säilyvyydestä luonnonvesissä sekä eri tekijät, jotka vaikuttavat luonnonvesissä esiintyvien suolistoperäisten taudinaiheuttajamikrobien aiheuttaman terveysriskin suuruuteen veden virkistyskäytön osalta. Katsaus tuottaa tietoa riskinarviointimallia varten, minkä avulla edellä mainitun terveysriskin suuruus olisi mahdollista laskea tarkemmin siten, että kaikki vaikuttavat tekijät tulee otettua huomioon. Kaaviossa 1 on kuvattu taudinaiheuttajan kulkeutuminen, mahdollisen infektion aiheutuminen ja mitä infektiosta seuraa. Se, kuinka monta henkilöä kerralla sairastuu, vaikuttaa siihen, havaitaanko ongelmaa ylipäättään ja myös siihen, kannattaako mahdolliselle ongelmalle tehdä mitään yhteiskunnan varoin. Kaaviossa 1 on otettu huomioon eri tekijät, jotka ovat osaltaan vaikuttamassa infektion syntyyn. Riippuen eri tekijöistä, on mahdollista, että altistuminen taudinaiheuttajille ei aina johda havaittavaan infektiioon (Pond, 2005).

Jotta riskinarviointimallin toteuttaminen olisi mahdollista, lisätutkimus olisi tarpeen ensinnäkin eri taudinaiheuttajamikrobien esiintymisestä ja pitoisuuksista Suomen luonnonvesissä. Tällä hetkellä Suomessa on tehty tutkimusta vain muutaman mikrobin osalta ja kansallisesti kattavaa tietoa aiheesta tuotettiin ensi kertaa TAULU- projektin, jonka osa myös tämä kirjallisuuskatsaus on, 1. vaiheessa (Hokajärvi, 2007). Lisätieto olisi tarpeen myös eri tekijöiden vaikutuksesta taudinaiheuttajien säilyvyyteen luonnonvesissä nimenomaan Suomen olosuhteissa. Muissa maissa lähes ainut paljon tutkittu tekijä on veden lämpötila. Sen osalta ollaan yksimielisiä siitä, että korkea lämpötila on suolistoperäisten taudinaiheuttajien säilyvyyttä heikentävä tekijä luonnonvesissä. Myös lisätieto luonnonvesissä esiintyvien taudinaiheuttajien eri lähteistä olisi tarpeen. Päästölähteiden kartoittamiseksi tulisi kehittää myös lisää vesiympäristöön soveltuvia menetelmiä. Jotta luonnonvesien virkistyskäytön välityksellä tapahtuvista infektiosta/epidemioista saataisiin enemmän tietoja, olisi systemaattisen raportointijärjestelmän kehittäminen tarpeen.

Kaavio 1. Suolistoperäisten taudinaiheuttajamikrobien aiheuttamaan terveysriskiin vaikuttavia tekijöitä.



Lähteet

Albinana-Gimenez, N., Clemente-Casares, P., Bofill-Mas, S., Hundesa, A., Galofore, B., Huguet, J.M., Ribas, F., Girones, R. 2007. Detection and quantification of human and animal viruses as a tool for the control of viral contamination in a drinking water treatment plant. SWAP-konferenssi: The European Symposium on Waterborne Pathogens in Surface and Drinking Waters. Pidetty Luxembourgissa 19-20.4.2007.

Andersson, Y., de Jong, B. ja Studahl, A. 1997. Waterborne *Campylobacter* in Sweden: the cost of an outbreak. *Water Science and Technology* 35(11-12): 11-14.

Aoki, K., Sawada, H., Ishikawa, H., Shimoji, T. ja Kamada, R. 1988. An outbreak of acute hemorrhagic conjunctivitis due to Coxsackie virus type A24 variant in Japan. *Japanese Journal of Ophthalmology* 32(1): 1-5.

Arimi, S.M, Fricker, C.R. ja Park, R.W.A. 1988. Occurrence of "thermophilic" campylobacters in sewage and their removal by treatment processes. *Epidemiology and Infection* 101: 279-286.

Bettelheim, K.A., Ismail, N., Shinebaum, R., Shooter, R.A., Moorhouse, E., ja O'Farrel, S. 1976. The distribution of serotypes of *Escherichia coli* in cow pats and other animal materials compared with serotypes of *E. coli* isolated from human sources. *Journal of Hygiene* 76(3): 403-406.

Beuret, C. 2001. Astroviruses, fact-sheet. Saatavilla [www-muodossa osoitteessa: http://www.nlv.ch/Astrovirus/Astrofactsheet.htm](http://www.nlv.ch/Astrovirus/Astrofactsheet.htm) (luettu 28.5.2007).

Beuret, C., Kohler, D., Baumgartner, A. ja Lüthi, T.M. 2002. Norwalk-Like Virus Sequences in Mineral Waters: One-Year Monitoring of Three Brands. *Applied and Environmental microbiology* 68: 1925-1931.

Bonadonna, L., Briancesco, R., Cataldo, C., Divizia, M., Donia, D. ja Pana, A. 2002. Fate of bacterial indicators, viruses and protozoan parasites in a wastewater multi-component treatment system. *New Microbiologica: The official journal of the Italian society for medical, odontoiatric and clinical microbiology* 25(4): 413-420.

Von Bonsdorff, C-H. ja Maunula, L. 2003a. Microbiology and the Investigation of Waterborne Outbreaks: Typing of Norwalk-Like Virus. Kirjassa *Drinking water and infectious disease*. Hunter P., Waite M., Ronchi E. (toim.). CRC Press, Boca Raton, Florida.

Von Bonsdorff, C.-H. ja Maunula, L. 2003b. Norovirukset – hygienian haaste? *Suomen lääkärilehti* 58 (25-26): 2855-2859.

Borrego, J.J., Castro, D. ja Figueras, M.J. 2002. Fecal streptococci/enterococci in aquatic environments. Kirjassa *Encyclopedia of Environmental Microbiology* vol. 3. Bitton G. (toim.). John Wiley & Sons, Inc., USA.

Bottone, E.J., Bercovier, H. ja Mollaret, H.H. 2005. *Yersinia*. Kirjassa *Bergey's manual of systematic bacteriology*. Vol. 2, part B. Brenner, D.J., Krieg, N.R., Staley, J.T. (toim.). Springer, USA.

Bradley, G. ja Hancock, C. 2003. Increased risk of non-seasonal and body immersion recreational marine bathers contacting indicator micro-organisms of sewage pollution. *Marine Pollution Bulletin* 46: 791-794.

Brewster, D.H., Browne, M.I., Robertson, D., Houghton, G.L., Bimson, J. ja Sharp, J.C.M. 1994. An outbreak of *Escherichia coli* O157 associated with a children's paddling pool. *Epidemiological Infection* 112: 441-447.

Broman, T., Palmgren, H., Bergstrom, S., Sellin, M., Waldenstrom, J., Danielsson-Tham, M.L. ja Olsen, B. 2002. *Campylobacter jejuni* in black-headed gulls (*Larus ridibundus*): prevalence, genotypes, and influence on *C. jejuni* epidemiology. *Journal of Clinical Microbiology* 40(12):4594-602.

Brookes, J.D., Antenucci, J., Hipsey, M., Burch, M.D., Ashbolt, N.J. ja Ferguson, C. 2004. Fate and transport of pathogens in lakes and reservoirs. *Environment International* 30: 741-759.

Buchan, A., Alber, M., Hodson, R.E. 2001. Strain-specific differentiation of environmental *Escherichia coli* isolates via denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE) analysis of 16S-23S intergenic spacer region. *FEMS Microbiology Ecology* 35(3): 313-321.

Brugerolle, G. ja Lee, J.J. 2000. Order diplomonadida. Kirjassa the illustrated guide to the protozoa, 2. edition, volume 2. Lee, J.J., Leedale, G.F. ja Bradbury, P. (toim.). Society of protozoologists, Altem Press Inc. USA.

Burkhardt, M.R., Soliven, P.P., Werner, S.L. ja Vaught, D.G. 1999. Determination of submicrogram-per-liter concentrations of caffeine in surface water and groundwater samples by solid-phase extraction and liquid chromatography. *Journal of AOAC International* 82(1):161-166.

Butler, R.C., Lund, V. ja Carlson, D.E. 1987. Susceptibility of *Campylobacter jejuni* and *Yersinia enterocolitica* to UV radiation. *Applied and Environmental Microbiology* 53: 375-378.

Byappanahalli, M.N., Whitman, R.L., Shively, D.A., Ting, W.T., Tseng, C.C. ja Nevers, M.B. 2006. Seasonal persistence and population characteristics of *Escherichia coli* and enterococci in deep backshore sand of two freshwater beaches. *Journal of Water and Health* 4(3):313-320.

Caccio, S.M., De Giacomo, M., Aulicino, F.A. ja Pozio, E. 2003. *Giardia* cysts in wastewater treatment plants in Italy. *Applied and Environmental Microbiology* 69(6):3393-3398.

Carey, C.M., Lee, H. ja Trevors, J.T. 2004. Biology, persistence and detection of *Cryptosporidium parvum* and *Cryptosporidium hominis* oocyst. *Water Research* 38(4):818-862.

Carmena, D., Aguinagalde, X., Zigorraga, C., Fernandez-Crespo, J.C. ja Ocio, J.A. 2007. Presence of *Giardia* cysts and *Cryptosporidium* oocysts in drinking water supplies in northern Spain. *Journal of Applied Microbiology* 102(3): 619-629.

Casarez, E.A., Pillai, S.D. ja Di Giovanni, G.D. 2007. Genotype diversity of *Escherichia coli* isolates in natural waters determined by PFGE and ERIC-PCR. *Water Research* 30: Article in press.

Chao, W.L., Chen, R.S. ja Tai, C.L. 1988. Factors affecting the survival of pathogenic bacteria in subtropical river water. *Chinese Journal of Microbiology and Immunology* 21(2): 85-92.

Chapron, C.D., Ballester, N.A., Fontaine, J.H., Frades, C.N. ja Margolin, A.B. 2000. Detection of astroviruses, enteroviruses and adenoviruses types 40 and 41 in surface waters collected and evaluated by the information collection rule and an integrated cell culture-nested PCR procedure. *Applied and Environmental Microbiology* 66(6): 2520-2525.

Checkley, W., Gilman, R.H., Epstein, L.D., Suarez, M., Diaz, J.F., Cabrera, L., Black, R.E ja Sterling, C.R. 1997. Asymptomatic and symptomatic cryptosporidiosis: their acute effect on weight gain in Peruvian children. *American Journal of Epidemiology* 15, 145(2): 156-163.

Ciarlet, M. ja Estes, M.K. 2002. Rotaviruses. Kirjassa Encyclopedia of Environmental Microbiology vol. 5. Bitton G. (toim.). John Wiley & Sons, Inc., USA.

Clarke, I.N. ja Lambden, P.R. 1997. The molecular biology of caliciviruses. *Journal of General Virology* 78: 291-301.

- Coupe, S., Delabre, K., Pouillot, R., Houdart, S., Santillana-Hayat, M., Derouin, F. 2006. Detection of *Cryptosporidium*, *Giardia* and *Enterocytozoon bieneusi* in surface water, including recreational areas: a one-year prospective study. *FEMS Immunological and Medical Microbiology* 47(3): 351-359.
- Craik, S.A., Weldon, D., Finch, G.R., Bolton, J.R. ja Belosevic, M. 2001. Inactivation of *Cryptosporidium parvum* oocysts using medium- and low-pressure ultraviolet radiation. *Water Research* 35(6): 1387-1398.
- Cransberg, K., van den Kerkhof, J.H., Banffer, J.R., Stijnen, C., Wernars, K., van de Kar, N.C., Nauta, J. ja Wolff, E.D. 1996. Four cases of hemolytic uremic syndrome – source contaminated swimming water? *Clinical Nephrology* 46(1): 45-49.
- Craun, G.F., Calderon, R.L. ja Craun, M.F. 2005. Outbreaks associated with recreational water in the United States. *International Journal of Environmental Health Research* 15(4): 243-262.
- Dalsgaard, A., Frimodt-Moller, N., Bruun, B., Hoi, L. ja Larsen, J.L. 1996. Clinical manifestations and molecular epidemiology of *Vibrio vulnificus* infections in Denmark. *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases: Official publication of European Society of Clinical Microbiology* 15(3): 227-232.
- Davies, C.M., Long, J.A.H., Donald, M. ja Ashbolt, N.J. 1995. Survival of faecal micro-organisms in marine and freshwater sediments. *Applied and Environmental Microbiology* 61(5): 1888-1896.
- De, A., Sen, P.C. ja Tewari, I.C. 1993. Enteropathogenic bacteria in river Ganges in Varanasi. *Indian Journal of Pathology & Microbiology* 36(4): 425-432.
- Deller, S., Mascher, F., Platzer, S., Reinthaler, F.F. ja Marth, E. 2006. Effect of solar radiation on survival of indicator bacteria in bathing waters. *Central European Journal of Public Health* 14(3): 133-137.
- Denis, F.A., Blanchouin, E., de Lignieres, A. ja Flamen, P. 1974. Letter: Coxsackie A16 infection from lake water. *Journal of American Waterworks Association* 228(11): 1370-1371.
- Denis-Mize, K., Fout, G.S., Dahling, D.R. ja Francy, D.S. 2004. Detection of human enteric viruses in stream water with RT-PCR and cell culture. *Journal of Water and Health* 2(1): 37-47.
- Depoortere, E. ja Takkinen, J.; ECDC norovirus expert group. 2006. Coordinated European actions to prevent and control norovirus outbreaks on cruise ships. *Eurosurveillance weekly release* 11(10).
- Dhar, U., Bennish, M.L., Khan, W.A., Seas, C., Huq, K.E., Albert, M.J. ja Abdus, S.M. 1996. Clinical features, antimicrobial susceptibility and toxin production in *Vibrio cholerae* O139 infection: comparison with *V. cholerae* O1 infection. *Transactions of society of tropical medicine and hygiene* 90(4):402-405.
- Dillingham, R.A., Lima, A.A. ja Guerrant, R.L. 2002. Cryptosporidiosis: Epidemiology and impact. *Microbes and infection* 4(10): 1059-1066.
- Dombek, P.E., Johnson, L.K., Zimmerley, S.T. ja Sadowsky, M.J. 2000. Use of repetitive DNA sequences and the PCR to differentiate *Escherichia coli* isolates from human and animal sources. *Applied and Environmental Microbiology* 66:2572-2577.
- Dorner, S.M., Anderson, W.B., Slawson, R.M., Kouwen, N. ja Huck, P.M. 2006. Hydrologic modeling of pathogen fate and transport. *Environmental Science & Technology* 40(15):4746-4753.

- Dorner, S.M., Huck, P.M. ja Slawson, R.M. 2004. Estimating potential environmental loadings of *Cryptosporidium spp.* and *Campylobacter spp.* from livestock in the Grand River Watershed, Ontario, Canada. *Environmental Science & Technology* 38(12):3370-3380.
- Dufour, A.P., Evans, O., Behymer, T.D. ja Cantú, R. 2006. Water ingestion during swimming activities in a pool. *Journal of Water and Health* 4: 425-430.
- DuPont, H.L., Levine, M.M., Hornick, R.B. ja Formal, S.B. 1989. Inoculum size in shigellosis and implications for expected mode of transmission. *The Journal of Infectious Diseases* 159(6): 1126-1128.
- Dwight, R.H., Baker, D.B., Semenza, J.C. ja Olson, B.H. 2004. Health effects associated with recreational coastal water use: Urban versus rural California. *American Journal of Public Health* 94(4): 565-567.
- Dwight, R.H., Fernandez, L.M., Baker, D.B., Semenza, J.C. ja Olson, B.H. 2005. Estimating the economic burden from illnesses associated with recreational coastal water pollution – a case study in Orange County, California. *Journal of Environmental Management* 76(2): 95-103.
- Dziuban, E.J., Liang, J.L., Craun, G.F., Hill, V., Yu, P.A., Painter, J., Moore, M.R., Calderon, R.L., Roy, S.L. ja Beach, M.J. 2006. Surveillance for waterborne disease and outbreaks associated with recreational water – United States, 2003-2004. *MMWR. Surveillance summaries: Morbidity and mortality weekly report. Surveillance summaries/CDC* 55(SS12):1-24.
- Edberg, S.C., Rice, E.W., Karlin, R.J. ja Allen M.J. 2000. *Escherichia coli*: the best biological drinking water indicator for public health protection. *Journal of Applied Microbiology* 88: 106-116.
- Eikebrokk, B., Rostum, J. ja Aasen, A. 2007. Investigation of the giardiasis case in Bergen, Norway in 2004. SWAP-konferenssi: The European Symposium on Waterborne Pathogens in Surface and Drinking Waters. Pidetty Luxembourgissa 19-20.4.2007.
- Eiler, A., Johansson, M. ja Bertilsson, S. 2006. Environmental influences on *Vibrio* populations in northern temperate and boreal coastal waters (Baltic and Skagerrak Seas). *Applied and Environmental Microbiology* 72(9): 6004-6011.
- Eisenberg, J.N., Seto, E.Y., Colford Jr, J.M., Olivieri, A. ja Spear, R.C. 1998. An analysis of the Milwaukee cryptosporidiosis outbreak based on a dynamic model of the infection process, *Epidemiology* 9: 255–263.
- Eklund, M. 2005. Enterohemorrhagic *Escherichia coli* (EHEC) findings from humans in Finland. Kansanterveyslaitoksen julkaisuja A23/2005. Saatavilla [www-muodossa osoitteessa http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/maa/skemi/vk/eklund/enterohe.pdf](http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/maa/skemi/vk/eklund/enterohe.pdf) (luettu 4.7.2007)
- Eklund, M. 2006. TAULU-projektin (suolistoperäiset taudinaiheuttajamikrobit luonnonvesissä) sisäinen raportti, julkaisematon. 8.12.2006.
- Emori, T.G. ja Gaynes, R.P. 1993. An overview of nosocomial infections, including the role of the microbiology laboratory. *Clinical Microbiology reviews* 6: 428-442.
- Enriquez, C. 2002. Adenovirus. Kirjassa *Encyclopedia of Environmental Microbiology* vol. 1. Bitton G. (toim.). John Wiley & Sons, Inc., USA.
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency) 1999. Action plan for beaches and recreational waters; reducing exposures to waterborne pathogens. EPA, Washington DC.

EPA (U.S. Environmental Protection Agency) 2002. Onsite Wastewater Treatment Systems Technology, fact sheet 4. EPA/625/R-00/008. Saatavilla WWW-muodossa:

<http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/Pubs/625R00008/html/tfs4.htm> (luettu 28.3.2007).

Escuredo, M.E., Velazquez, L., de Cortinez, Y.M., di Genaro, M.S. ja de Guzman, A.M. 1994. *Yersinia ssp.* in surface water in San Luis, Argentina. *Folia microbiologica (Praha)* 39(6): 459-462.

ESR, Institute of Environmental Science and Research Limited. 2001. Microbial pathogen data sheets. Saatavilla www-muodossa osoitteessa: <http://www.nzfsa.govt.nz/science/data-sheets/> (luettu 29.5.2007).

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/60/EY yhteisön vesipolitiikan puitteista. Annettu 23.10.2000. Euroopan yhteisöjen virallinen lehti, L 327, 22.12.2000.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/7/EY. Direktiivi uimaveden laadun hallinnasta ja direktiivin 76/160/ETY kumoamisesta. Annettu 15.2.2006. Euroopan unionin virallinen lehti, L 64/37, 4.3.2006.

Euroopan yhteisöjen neuvoston direktiivi 76/160/ETY. Direktiivi uimaveden laadusta. Annettu 8.12.1975. Euroopan yhteisöjen virallinen lehti, L 31, 5.2.1976.

Evira, 2006a. Elintarvikkeet; hygieniaosaaminen; HACCP. Saatavilla www-muodossa osoitteessa: <http://www.evira.fi/portal/fi/elintarvikkeet/hygieniaosaaminen/tietopaketti/haccp/> (luettu 11.4.2007).

Evira, 2006b. Elintarvikkeet; hygieniaosaaminen; EHEC. Saatavilla www-muodossa osoitteessa: http://www.evira.fi/portal/fi/elintarvikkeet/hygieniaosaaminen/tietopaketti/ruokamyrkytykset/ruokamyrkytyksi_a_aiheuttavia_bakteereja/ehc-bakteeri/ (luettu 16.5.2007).

Farmer, J.J., Janda, J.M., Brenner, F.W., Cameron, D.N. ja Birkhead, K.M. 2005. *Vibrio*. Kirjassa Bergey's manual of systematic bacteriology. Vol. 2, part B. Brenner, D.J., Krieg, N.R., Staley, J.T. (toim.). Springer, USA.

Faruque, S.M., Chowdhury, N., Khan, R., Rubayet Hasan, M., Nahar, J., Johiril Islam, M., Yamasaki, S., Ghosh, A.N., Balakrish Nair, G. ja Sack, D.A. 2003. *Shigella dysenteriae* Type 1-Specific Bacteriophage from Environmental Waters in Bangladesh. *Applied and Environmental Microbiology* 69(12): 7028-7031.

Fayer, R., Morgan, U. ja Upton, S.J. 2000. Epidemiology of *Cryptosporidium*: transmission, detection and identification. *International Journal of Parasitology* 30: 1305-1322.

FDA (U.S. food and drug administration). 2006. Foodborne Pathogenic Microorganisms and Natural Toxins Handbook, *Escherichia coli* O157:H7. Saatavilla www-muodossa <http://www.cfsan.fda.gov/~mow/chap15.html> (päivitetty 5.10.2006).

Filipkowska Z. 2003. Sanitary and bacteriological aspects of sewage treatment. *Acta Microbiologica Polonica* 52 Suppl:57-66.

Foy, H.M., Cooney, M.K. ja Hatlen, J.B. 1968. Adenovirus type 3 epidemic associated with intermittent chlorination of a swimming pool. *Archives of Environmental Health* 17(5): 795-802.

Furness, B.W., Beach, M.J. ja Roberts, J.M. 2000. Giardiasis Surveillance - United States, 1992-1997. *MMWR. Surveillance summaries: Morbidity and mortality weekly report. Surveillance summaries/CDC* 11;49(7): 1-13.

Gauntt, C. ja Huber, S. 2003. Coxsackievirus experimental heart diseases. *Frontiers in bioscience: a journal and virtual library* 1;8:e23-35.

Geldreich, E.E. ja Kenner, B.A. 1969. Concepts of fecal streptococci in stream pollution. *Journal – Water Pollution Control Federation* 41(8):336-352

Gerba, C.P., Rose, J.B. ja Haas, C.N. 1996. Sensitive populations: who is at the greatest risk? *International Journal of Food Microbiology* 30(1-2):113-23.

Gilley, J.E., Risse, L.M., Eghball, B. 2002. Managing runoff following manure application. *Journal of Soil and Water Conservation* 57(6): 530-533.

Goetz, H., Ekdahl, K., Lindbaeck, J. de Jong, B., Hedlund, K.O. ja Giesecke, J. 2001. Clinical spectrum and transmission characteristics of infection with Norwalk-like virus: findings from a large community outbreak in Sweden. *Clinical Infectious Diseases* 33: 622-628.

Gray, S.F., Gunnell, D.J., Peters, T.J. 1994. Risk factors for giardiasis: a case-control study in Avon and Somerset. *Epidemiology and Infection* 113(1): 95-102.

Green, K. Y., Ando, T., Balayan, M. S., Berke, T., Clarke, I. N., Estes, M. K., Matson, D. O., Nakata, S., Neill, J. D., Studdert, M. J. ja Thiel, H.-J. 2000. Taxonomy of the Caliciviruses. *The Journal of Infectious Diseases* 181: 322-330.

Haas, C.N., Rose, J.B. and Gerba, C.P. 1999. *Quantitative Microbial Risk Assessment*. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA.

Hale, A.D., Lewis, D.C., Jiang, X. ja Brown, D.W. 1998. Homotypic and heterotypic IgG and IgM antibody responses in adults infected with small round structured viruses. *Journal of Medical Virology* 54(4): 305-312.

Harley, D., Harrower, B., Lyon, M., ja Dick, A. 2001. A primary school outbreak of pharyngoconjunctival fever caused by adenovirus type 3. *Communicable Diseases Intelligence* 25(1): 9-12.

Harwood, V.J., Whitlock, J. ja Withington, V. 2000. Classification of antibiotic resistance patterns of indicator bacteria by discriminant analysis: use in predicting the source of fecal contamination in subtropical waters. *Applied and Environmental Microbiology* 66(9): 3698-3704.

Hawley, H.B., Morin, D.P., Geraghty, M.E., Tomkow, J. ja Phillips, C.A. 1973. Coxsackievirus B epidemic at a Boy's Summer Camp. Isolation of virus from swimming water. *The Journal of American Medical Association* 226(1): 33-36.

Health Canada. 2001. Material data safety sheet – infectious substances; coxsackievirus. Saatavilla [www-muodossa osoitteessa: http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds44e.html](http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds44e.html) (luettu 10.6.2007).

Heinonen-Tanski, H. ja Uusi-Kämpä, J. 2001. Runoff of faecal microorganisms and nutrients from perennial grass ley after application of slurry and mineral fertiliser. *Water Science and Technology* 43 (12): 143-146.

Heyman, M. 2000. Effect of lactic acid bacteria on diarrheal diseases. *Journal of the American College of Nutrition* 19(2 Suppl): 137S-146S.

Hijnen, W.A., Beerendonk, E.F. ja Medema, G.J. 2006. Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water: a review. *Water Research* 40(1): 3-22.

Hildebrand, J.M., Maguire, H.C., Holliman, R.E. ja Kangesu, E. 1996. An outbreak of *E. coli* O157:H7 infection linked to paddling pools. *Communicable Disease Reports Reviews* 6: R33-R36.

Hinkkanen, K. ja Paju, T. 2007. Kuivakäymälät osana vesihuoltoa. *Ympäristö ja Terveys* (3), 38 vsk.: 64-67.

Hoepfich, P.D. (ed.). 1977. *Infectious diseases*. 2. painos. Harper & Row Publishers, New York, San Fransisco, London.

Hoi, L., Larsen, J.L., Dalsgaard, I. ja Dalsgaard, A. 1998. Occurrence of *Vibrio vulnificus* biotypes in Danish marine environments. *Applied and Environmental Microbiology* 64(1): 7-13.

Hokajärvi, A-M. 2007. Taudinaiheuttajamikrobien esiintyminen eri puolilta Suomea kerätyissä uimavesinäytteissä kesällä 2006. Pro gradu -tutkielma. Ympäristötieteen laitos, Kuopion yliopisto. Kuopio.

Howard, I., Espigares, E., Lardelli, P., Martin, J.L. ja Espigares, M. 2004. Evaluation of microbiological and physicochemical indicators for wastewater treatment. *Environmental Toxicology* 19(3):241-249.

Hunter, P.R. 1998. *Waterborne disease epidemiology and ecology*. Wiley & Sons Ltd. Chichester, UK.

Hunter, P., Payment, P., Ashbolt, J. ja Bartram, J. 2003. Assessment of risk. Kirjassa *Assessing microbial safety of drinking water: Improving approaches and methods*. , A., Snozzi, M., Koster, W., Bartram, J., Ronchi, E. ja Fewtrell, L. (toim.) IWA publishing, London, UK.

Hurst, C.J. 1988. Effect of environmental variables on enteric virus survival in surface freshwaters. *Water Science & Technology* 20(11/12): 473-476.

Hurst, C.J., Benton, W.H. ja McClellan, K.A. 1989. Thermal and water source effects upon the stability of enteroviruses in surface freshwaters. *Canadian Journal of Microbiology* 35(4): 474-480.

Hämäläinen, T. 2006. Peretikkahappo kellisti koliformiset bakteerit. *Waternet* (3): 12-13.

Hänninen, M-L. 2005. *Kampylobakteeri ja vesiepidemiat*. Elintarvike- ja ympäristöhygienian laitos, Eläinlääketieteellinen tiedekunta, Helsingin yliopisto. Eläinlääkäripäivät 2005, s. 77-80.

Hänninen, M-L., Haajanen, H., Pummi, T., Wermundsen, K., Katila, M-L., Sarkkinen, H., Miettinen, I. ja Rautelin, H. 2003. Detection and typing of *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter coli* and analysis of indicator organisms in three waterborne outbreaks in Finland. *Applied and Environmental Microbiology* 69: 1391-1396.

Hörman, A. 2005. Assessment of the microbial safety of the drinking water produced from surface water under field conditions. Helsingin yliopisto, Eläinlääketieteellinen tiedekunta. Yliopistopaino, Helsinki.

Hörman, A., Rihmanen-Finne, R., Maunula, L., Von Bonsdorff, C-H., Torvela, N., Heikinheimo, A. ja Hänninen, M-L. 2004. *Campylobacter spp.*, *Giardia spp.*, *Cryptosporidium spp.*, Noroviruses and Indicator Organisms in Surface Water in Southwestern Finland, 2000-2001. *Applied and Environmental Microbiology* 70: 87-95.

Iwamoto, M., Hlady, G., Jeter, M., Burnett, C., Drenzek, C., Lance, S., Benson, J., Page, D. ja Blake, P. 2005. Shigellosis among swimmers in a freshwater lake. *Southern Medical Journal* 98(8): 774-778.

Janoff, E.N. ja Smith, P.D. 1988. Perspectives on gastrointestinal infections in AIDS. *Gastroenterology Clinics of North America* 17(3):451-63.

Jiang, S.C. ja Chu, W. 2004. PCR detection of pathogenic viruses in southern California urban rivers. *Journal of Applied Microbiology* 97: 17-28.

Johnson, D.C., Enriquez, C.E., Pepper, I.L., Davis, T.L., Gerba, C.P., ja Rose, J.B. 1997. Survival of *Giardia*, *Cryptosporidium*, poliovirus and *Salmonella* in marine waters. *Health Related Environmental Microbiology* ei tietoa numerosta: 261-268.

Johnson, J.Y.M., Thomas, J.E., Graham, T.A., Townshend, I., Byrne, J., Selinger, L.B. ja Gannon, V.P.J. 2003. Prevalence of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* spp. in surface waters of southern Alberta and its relation to manure sources. *Canadian Journal of Microbiology* 49(5): 326-335.

Jones, K. 2001. *Campylobacters* in water, sewage and the environment. *Journal of Applied Microbiology* 90: 68-79.

Juuti, P.S. ja Katko, T. 2007. Birth and expansion of public water supply and sanitation in Finland until World War II. *Kirjassa Environmental history of water*. Juuti, P.S., Katko, T.S. ja Vuorinen, H.S. (toim.). IWA Publishing, UK.

Kadoi, K. ja Kadoi, B.K. 2001. Stability of feline caliciviruses in marine water maintained at different temperatures. *The New Microbiologica: Official Journal of the Italian society of Medical, Odontoiatric and Clinical Microbiology* 24(1): 17-21.

Kajosaari E. 1981. *Vesihuolto*. Suomen rakennusinsinöörien liitto, RIL; 124. Forssan kirjapaino Oy, Helsinki.

Kansanterveyslaitos. 2006a. Suolistoinfektiot, kampakylobakteerit. Saatavilla [www-muodossa osoitteessa: http://www.ktl.fi/portal/6425](http://www.ktl.fi/portal/6425) (päivitetty 14.9.2006).

Kansanterveyslaitos. 2006b. Suolistoinfektiot, norovirukset. Saatavilla [www-muodossa osoitteessa: http://www.ktl.fi/portal/6424](http://www.ktl.fi/portal/6424) (päivitetty 14.9.2006).

Kansanterveyslaitos. 2006c. Suolistoinfektiot, yersinia. Saatavilla [www-muodossa osoitteessa: http://www.ktl.fi/portal/6429](http://www.ktl.fi/portal/6429) (päivitetty 16.9.2006).

Kansanterveyslaitos 2007a. Valtakunnallisen tartuntatautirekisterin [www-palvelu](http://www3.ktl.fi/stat/). Saatavilla [www-muodossa osoitteessa http://www3.ktl.fi/stat/](http://www3.ktl.fi/stat/) (luettu 26.2.2007).

Kansanterveyslaitos 2007b. Suolistoinfektiot, shigella. Saatavilla [www-muodossa osoitteessa http://www.ktl.fi/portal/6427](http://www.ktl.fi/portal/6427) (päivitetty 2.7.2007).

Kaplan, M.H., Klein, S.W., McPhee, J. ja Harper, R.G. 1983. Group B coxsackievirus infections in infants younger than three months of age: a serious childhood illness. *Reviews Of Infectious Diseases* 5(6):1019-1032.

Kapperud, G. 1977. *Yersinia enterocolitica* and *Yersinia* like microbes isolated from mammals and water in Norway and Denmark. *Acta Pathologica et Microbiologica Scandinavica*. Section B, microbiology 85(2): 129-135.

Kappus, K.D., Marks, J.S., Holman, R.C. Kennicott Bryant, J., Baker, C., Gary, W. ja Greenberg H.B. 1982. An outbreak of Norwalk gastroenteritis associated with swimming in a pool. *American journal of epidemiology* 116(8): 834-839.

Karttunen, E., 2004. *Vesihuolto II*. Suomen rakennusinsinöörien liitto, RIL; 124-2. Vammalan kirjapaino Oy, Helsinki.

Keene, W.E, McAnulty, J.M., Hoesly, F.C., Williams, L.P. jr., Hedberg, K., Oxman, G.L., Barret, T.J., Pfaller, M.A. ja Fleming, D.W. 1994. A swimming-associated outbreak of hemorrhagic colitis caused by *Escherichia coli* O157:H7 and *Shigella sonnei*. The New England Journal of Medicine 331(9): 579-584.

Keskimäki, M. 2001. EHECin ja muiden ripulia aiheuttavien *Escherichia coli* –bakteereiden esiintyminen suomalaisten suolistoinfektioissa. Kansanterveys-lehti 5-6: 20.

Kittigul, L., Ekchaloemkiet, S., Utrarachkij, F., Siripanichgon, K., Sujirarat, D., Pungchitton, S. ja Boonthum, A. 2005. An efficient virus concentration method and RT-nested PCR for detection of rotaviruses in environmental water samples. Journal of Virological methods 124: 117-122.

Klontz, K.C., Lieb, S., Schreiber, M., Janowski, H.T., Baldy, L.M. ja Gunn, R.A.1988. Syndromes of *Vibrio vulnificus* infections. Clinical and epidemiologic features in Florida cases, 1981-1987. Annals of Internal Medicine 15;109(4):318-323.

Kohn, T. ja Nelson, K.L. 2007. Sunlight-mediated inactivation of MS2 coliphage via exogenous singlet oxygen produced by sensitizers in natural waters. Environmental Science & Technology 1;41(1):192-197.

Koivunen, J. ja Heinonen-Tanski, H. 2005. Peracetic acid (PAA) disinfection of primary, secondary and tertiary treated municipal wastewaters. Water Research 39: 4445-4453.

Koivunen, J., Siitonen, A. ja Heinonen-Tanski, H. 2003. Elimination of enteric bacteria in biological-chemical wastewater treatment and tertiary filtration units. Water Research 37: 690-698.

Kosek, M., Alcantara, C., Lima, A. ja Guerrant, R.L. 2001. Cryptosporidiosis: an update. The Lancet Infectious Diseases 1(4): 262-269.

Kramer, M.H., Sorhage, F.E., Goldstein, S.T., Dalley, E., Wahlquist, S.P. ja Herwaldt, B.L. 1998. First reported outbreak in the United States of Cryptosporidiosis associated with a recreational lake. Clinical Infectious Diseases 26(1): 27-33.

Käymäläseura Huussi ry. Kuivakäymälän hoito ja käymäläjätteen käsittely – kasvuvoimaa käymäläjätteestä! – opas. Koostanut Hinkkanen, K. Tampere. Saatavilla [www-muodossa osoitteessa: http://www.huussi.net/Leader/kaymalajateopas.pdf](http://www.huussi.net/Leader/kaymalajateopas.pdf) (luettu 17.4.2007).

Laverick, M.A., Wyn-Jones, A.P. ja Carter, M.J. 2004. Quantitative RT-PCR for enumeration of noroviruses (Norwalk-like viruses) in water and sewage. Letters in Applied Microbiology 39: 127-136.

Lee, S.H., Levy, D.A., Craun, G.F., Michael, M.P.H., Beach, J. ja Calderon, R.L. 2002. Surveillance for water-borne-disease outbreaks – United States, 1999-2000. MMWR. Surveillance summaries: Morbidity and Mortality weekly report. Surveillance summaries/CDC 51(SS08): 1-47.

Leeming, R., Ball, A., Ashbolt, N., ja Nichols, P. 1996. Using fecals sterols from humans and animals to distinguish fecal pollution in receiving waters. Water Research 30: 2893-2900.

Lemarchand, K. ja Lebaron, P. 2003. Occurrence of *Salmonella spp.* and *Cryptosporidium spp.* in a French coastal watershed: relationship with fecal indicators. FEMS Microbiology Letters 218: 203-209.

Leppäkoski, E. ja Olenin, S. 2000. Xenodiversity of the European brackish water seas: the North American contribution. Julkaisu konferenssista Marine Bioinvasions. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, January 25–27. 1999, 107–119.

Levy, D., Bens, M.S., Craun, G.F., Calderon, R.L. ja Herwaldt, B.L. 1998. Surveillance for waterborne disease outbreaks – United States, 1995-1996. MMWR. Surveillance summaries: Morbidity and mortality weekly report. Surveillance summaries/CDC 47(5): 1-34.

Lew, J.F., Glass, R.I., Gangarosa, R.E., Cohen, I.P., Bern, C. ja Moe, C.L. 1991. Diarrheal deaths in the United States, 1979 through 1987. A special problem for the elderly. JAMA: the Journal of the American Medical Association 265(24):3280-3284.

Lodder, W.J. ja de Roda Husman, A.M. 2005. Presence of Noroviruses and other Enteric viruses in Sewage and Surface Waters in The Netherlands. Applied and Environmental Microbiology 71: 1453-1461.

Lukinmaa, S., Mattila, K., Lehtinen, V., Hakkinen, M., Koskela, M. ja Siitonen, A. 2006. Territorial waters of the Baltic Sea as a source of infections caused by *Vibrio cholerae* non-O1, non-O139: report of 3 hospitalized cases. Diagnostic Microbiology and Infectious Disease 54: 1-6.

Manfred K. ja Bereswill S. 2001. *Campylobacter jejuni*. Contributions to microbiology 8: 150-165.

Martikainen, P.J., Korhonen, L. ja Kosunen, T.U. 1990. Occurrence of thermophilic campylobacters in rural and urban surface waters in central Finland. Water Research 24: 91-96.

Martone, W.J., Hierholzer, J.C., Keenlyside, R.A., Fraser, D.W., D'Angelo, L.J., Winkler, W.G. 1980. An outbreak of adenovirus type 3 disease at a private recreation center swimming pool. American Journal of Epidemiology 111(2): 229-237.

Matsui, S.M. 2002. Astroviruses. Kirjassa Encyclopedia of Environmental Microbiology vol. 1. Bitton G. (toim.). John Wiley & Sons, Inc., USA.

Maunula L. 2005. Virukset vesivälitteisten epidemioiden aiheuttajina. Elintarvike- ja ympäristöhygienian laitos, Eläinlääketieteellinen tiedekunta, Helsingin yliopisto. Eläinlääkäripäivät 2005, s. 91-93.

Maunula, L. 2007. Henkilökohtainen tiedonanto, 21.5.2007.

Maunula, L., Kalso, S., von Bonsdorff, C-H. ja Pönkä, A. 2004. Wading pool water contaminated with both noroviruses and astroviruses as the source of a gastroenteritis outbreak. Epidemiology and Infection 132(4): 737-743.

Meays, C.L., Broersma, K., Nordin, R. ja Mazumder, A. 2004. Source tracking fecal bacteria in water: a critical review of current methods. Journal of Environmental Management 73(1): 71-79.

Meays, C.L., Broersma, K., Nordin, R., Mazumder, A. ja Samadpour, M. 2006. Diurnal variability in concentrations and sources of *Escherichia coli* in three streams. Canadian Journal of Microbiology 52(11): 1130-1135.

Meyer, K.J., Appletoft, C.M., Schwemm, A.K., Uzoigwe, J.C. ja Brown, E.J. 2005. Determining the source of fecal contamination in recreational waters. Journal of Environmental Health 68(1): 25-30.

Meyers, B.R. 1989. Infectious diseases in the elderly: an overview. Geriatrics 44 Suppl A:4-6.

Motes, M.L., DePaola, A., Cook, D. W., Veazey, J.E., Hunsucker, J. C., Garthright, W. E., Blodgett, R. J. ja Chirtel, S. J. 1998. Influence of water temperature and salinity on *Vibrio vulnificus* in Northern Gulf and Atlantic Coast Oysters (*Crassostrea virginica*). Applied and Environmental Microbiology 64(4): 1459-1465.

Mäkinen, J. 2007. Hulevesien vaikutus uimarantojen veden hygieeniseen laatuun. *Vesitalous* 2: 23-26.

Nasser, A. M., Paulman, H., Sela, O., Ktaitzer, T., Cikurel, H., Zuckerman, I., Meir, A., Aharoni, A. ja Adin, A. 2006. UV disinfection of wastewater effluents for unrestricted irrigation. *Water science and technology* 54(3): 83-88.

Newman, R.D., Zu, S-X., Wuhib, T., Lima, A.M., Guerrant, R.L. ja L. Sears, C.L. 1994. Household Epidemiology of *Cryptosporidium parvum* infection in an Urban Community in Northeast Brazil. *Annals of Internal Medicine* 120(6): 500-505.

Niemelä, S. 2002. Mikrobien kasvuun vaikuttavat ulkoiset tekijät; lämpötila. Kirjassa *Mikrobiologian perusteita*. Salkinoja-Salonen, M. (toim.). Gummerus kirjapaino Oy, Jyväskylä.

Nizeyi, J.B., Innocent, R.B., Erume, J., Kalema, G.R., Cranfield, M.R. ja Graczyk, T.K. 2001. Campylobacteriosis, salmonellosis, and shigellosis in free-ranging human-habituated mountain gorillas of Uganda. *Journal of Wildlife Diseases* 37(2): 239-244.

Noel, J.S., Ando, T., Leite, J.P., Green, K.Y., Dingle, K.E., Estes, M.K., Seto, Y., Monroe, S.S. ja Glass, R.I. 1997. Correlation of patient immune responses with genetically characterized small round-structured viruses involved in outbreaks of nonbacterial acute gastroenteritis in the United States. *Journal of Medical Virology* 53(4): 372-383.

Nwachuku, N., Gerba, C.P., Oswald, A. ja Mashadi, F.D. 2005. Comparative inactivation of adenovirus serotypes by UV light disinfection. *Applied and Environmental Microbiology* 71(9):5633-5636.

Obiri-Danso, K. ja Jones, K. 1999. Distribution and seasonality of microbial indicators and thermophilic campylobacters in two freshwater bathing sites on River Lune in northwest England. *Journal of Applied Microbiology* 87: 822-832.

O'Donoghue, P.J. 1995. *Cryptosporidium* and cryptosporidiosis in man and animals. *International Journal of Parasitology* 25(2):139-195.

Osterholm, M.T., Forfang, J.C., Ristinen, T.L., Dean, A.G., Washburn, J.W., Godes, J.R., Rude, R.A. ja McCullough, J.G. 1981. An outbreak of foodborne giardiasis. *The New England Journal of medicine* 304(1): 24-28.

Papapetropoulou ja Vantarakis. 1998. Detection of adenovirus outbreak at a municipal swimming pool by nested PCR amplification. *The Journal of Infection* 36(1):101-103.

Park, S.D., Shon, H.S. ja Joh, N.J. 1991. *Vibrio vulnificus* septicemia in Korea: clinical and epidemiologic findings in seventy patients. *Journal of the American Academy of Dermatology* 24(3): 397-403.

Parveen, S., Murphree, R.L., Edmiston, L., Kaspar, C.W., Portier, K.M. ja Tamplin, M.L. 1997. Association of multiple-antibiotic-resistance profiles with point and nonpoint sources of *Escherichia coli* in Apalachiola Bay. *Applied and Environmental Microbiology* 63: 2607-2612.

Parveen, S., Portier, K.M., Robinson, K., Edmiston, L. ja Tamplin, M.L. 1999. Discriminant analysis of ribotype profiles of *Escherichia coli* for differentiating human and nonhuman sources of fecal pollution. *Applied and Environmental Microbiology* 65(7):3142-3147.

Patel, V.J., Gardner, E. ja Burton, C.S. 2002. *Vibrio vulnificus* septicemia and leg ulcer. *Journal of the American Academy of Dermatology* 46(5 Suppl):S144-145.

- Paunio, M., Pebody, R., Keskimäki, M., Kokki, M., Ruutu, P., Oinonen, S., Vuotari, V., Siitonen, A., Lahti, E. ja Leinikki, P. 1999. Swimming-associated outbreak of *Escherichia coli* O157:H7. *Epidemiology and Infection* 122(1): 1-5.
- Pavlov, D.N. 2006. Poliovirus vaccine strains in sewage and river water in South Africa. *Canadian Journal of Microbiology* 52(8): 717-723.
- Pintó, R.M., Abad, F.X., Gajardo, R. ja Bosch, A. 1996. Detection of infectious astroviruses in water. *Applied and Environmental Microbiology* 62(5): 1811-1813.
- Pitkänen, T. 2002. Survival of *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli* and *Klebsiella pneumoniae* in drinking water. International Symposium on Waterborne Pathogens. Pidetty Cascaisissa, Portugalissa 22-25.9.2002.
- Pitkänen, T. 2004. Talousveden mikrobiologiset määritykset. *Ympäristö ja terveys* 6, 35 vsk.: 39-43.
- Podewils, L.J., Zanardi Blevins, L., Hagenbuch, M., Itani, D., Burns, A., Otto, C., Blanton, L., Adams, S., Monroe, S.S., Beach, M.J. ja Widdowson, M. 2006. Outbreak of Norovirus illness associated with a swimming pool. *Epidemiology and Infection* 1:1-7.
- Pohjoismaiden neuvoston Suomen valtuuskunta 2002. Jäsenehdotus; Itämerellä liikennöivien alusten ilmaan ja veteen joutuvien päästöjen ehkäisemisestä. Annettu Maarianhaminassa ja Helsingissä 18.9.2002. Saatavilla www- muodossa osoitteessa: <http://www.norden.org/nr/2-6-3-foersl/fi/2002/A1309fi.pdf> (luettu 22.3.2007).
- Pokorny, N.J., Weir, S.C., Carreno, R.A., Trevors, J.T. ja Lee, H. 2002. Influence of temperature on *Cryptosporidium parvum* oocyst infectivity in river water samples as detected by tissue culture assay. *The Journal of Parasitology* 88(3):641-643.
- Polo, F., Figueras, M.J., Inza, I., Sala, J., Fleisher, J.M. ja Guarro, J. 1999. Prevalence of *Salmonella* serotypes in environmental waters and their relationships with indicator organisms. *Antonie van Leeuwenhoek* 75(4): 285-292.
- Pond, K. 2005. Water recreation and disease. Plausibility of associated infections: Acute effects, sequelae and mortality. IWA publishing, UK.
- Popoff, M.Y. 2001. Antigenic formulas of the *Salmonella* serovars. 8. painos. WHO Collaborating Centre for Reference and Research on *Salmonella*. Institut Pasteur, Paris, France.
- Popoff, M.Y. ja le Minor, L.E. 2005. *Salmonella*. Kirjassa Bergey's manual of systematic bacteriology. Vol. 2, part B. Brenner, D.J., Krieg, N.R., Staley, J.T. (toim.). Springer, USA.
- Pusch, D., Oh, D.-Y., Wolf, S., Dumke, R., Schröter-Bobsin, U., Höhne, M., Röske, I. ja Schreier, E. 2005. Detection of enteric viruses and bacterial indicators in German environmental waters. *Archives of Virology* 150: 929-947.
- Puttonen, S. 2006a. Suuri vatsatautiepidemia sulki uimarannan Maskussa. *Helsingin Sanomat* 13.7.2006.
- Puttonen, S. 2006b. Maskun uimavedestä sairastuneista löytyi norovirusta. *Helsingin Sanomat* 15.7.2006.
- Pönkä, A. 1993. Juomaveden välityksellä tarttuvat taudit. Kirjassa *Ympäristöterveyden käsikirja*. Mussalo-Rauhamaa, H. ja Jaakkola, J.K. (toim.). Kustannus Oy Duodecim, Helsinki.

Pönkä, A., Kalso, S., Maunula, L. ja von Bonsdorff, C-H. 2002. Pirkkalan uimalammikon välittämä virusepidemia. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen monisteita 1/2002. Helsingin kaupungin ympäristökeskus, Helsinki.

Radak, Z., Kaneko, T., Tahara, S., Nakamoto, H., Ohno, H., Sasvari, M., Nyakas, C. ja Goto, S. 1999. The effect of exercise training on oxidative damage of lipids, proteins and DNA in rat skeletal muscle: evidence of beneficial outcomes. *Free radical Biology and Medicine* 27(1-2): 67-74.

Rapala, J. 2005. Syanobakteerimyrkyt Suomen järvissä ja niiden yhteys oireisiin. Kooste seminaarista ”Sinilevämyrkyt Suomen järvissä ja niiden yhteys ihmisille aiheutuneisiin oireisiin”. Lepistö, L. (toim.). Seminaari pidetty 19.5.2005. Saatavilla [www-muodossa](http://www.muodossa) osoitteessa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=52906&lan=fi> (luettu 16.5.2007).

Raphael, R.A., Sattar, S.A. ja Springthorpe, V.S. 1985. Long-term survival of human rotavirus in raw and treated river water. *Canadian Journal of Microbiology* 31(2): 124-128.

Rautelin, H. ja Hänninen, M. L. 2000. Campylobacters: the most common bacterial enteropathogens in the Nordic countries. *Annals of Medicine* 32(7): 440-445.

Rice, E.W. 2002. Pathogenic *Escherichia coli*. Kirjassa *Encyclopedia of Environmental Microbiology* vol. 4. Bitton G. (toim.). John Wiley & Sons, Inc., USA.

Rissanen, P. 2007. Kuopion kaupunkialueen aiheuttama hulevesikuormitus Kallaveteen. *Vesitalous* (2): 32-35.

Robinson, D.A. 1981. Infective dose of *Campylobacter jejuni* in milk. *British Medical Journal* 282(6276): 1584.

Rollins, D.M. ja Colwell, R.R. 1986. Viable but non-culturable stage of *Campylobacter jejuni* and its role in survival in the aquatic environment. *Applied and Environmental Microbiology* 52: 531-538.

Rose, J.B., Huffman, D.E. ja Gennaccaro, A. 2002. Risk and control of waterborne cryptosporidiosis. *FEMS Microbiology Reviews* 26: 113-123.

Roy, D., Wong, P. K.Y., Engelbrecht, R. S. ja Chian, E. S. K. 1981. Mechanism for enteroviral inactivation by ozone. *Applied and Environmental Microbiology* 41: 718-723.

Ruth, O. 2007. Bakteerit kaupunkivesien kuormittajina. *Vesitalous* (2): 19-22.

Sack, D.A., Sack, R.B., Nair, G.B., Siddique, A.K. 2004. Cholera. *Lancet* 363: 223-233.

Salkinoja-Salonen, M. 2002a. Mikrobien kasvuun vaikuttavat ulkoiset tekijät; hapen saanti. Kirjassa *Mikrobiologian perusteita*. Salkinoja-Salonen, M. (toim.). Gummerus kirjapaino Oy, Jyväskylä.

Salkinoja-Salonen, M. 2002b. Mikrobien kasvuun vaikuttavat ulkoiset tekijät; hapen ja emäksinen ympäristö. Kirjassa *Mikrobiologian perusteita*. Salkinoja-Salonen, M. (toim.). Gummerus kirjapaino Oy, Jyväskylä.

Salminen, O. ja Rapola, E. 2007. Hulevesien luonnonmukaista hallintaa Uudellamaalla. *Vesitalous* 2: 12-18.

Schallenberg, M., Bremer, P.J., Henkel, S., Launhardt, A. ja Burns, C.W. 2005. Survival of *Campylobacter jejuni* in water: effect of grazing by the freshwater crustacean *Daphnia carinata* (*Cladocera*). *Applied and Environmental Microbiology* 71(9): 5085-5088.

Schneider, O. ja Fleischer, J. 2007. Virobathe, Work Package 7, Surveillance phase. Virobathe-projektin loppukokous. Pidetty Kyproksella, Larnakassa 20.3-21.3.2007.

Schönberg-Norio, D., Sarna, S., Hänninen, M-L., Katila, M-L., Kaukoranta, S-S. ja Rautelin, H. 2006. Strain and host characteristics of *Campylobacter jejuni* infections in Finland. *Clinical Microbiology and Infection* 12(8): 754-760.

Schönberg-Norio, D., Takkinen, J., Hänninen, M-L., Katila, M-L., Kaukoranta, S-S., Mattila, L. ja Rautelin, H. 2004. Swimming and *Campylobacter* infections. *Emerging Infectious Diseases* 10: 1474-1477.

Scott, T.M., Parveen, S., Portier, K.M., Rose, J.B., Tamplin, M.L., Farrah, S.R., Koo, A. ja Lukasik, J. 2003. Geographical variation in ribotype profiles of *Escherichia coli* isolates from humans, swine, poultry, beef, and dairy cattle in Florida. *Applied and Environmental Microbiology* 69(2): 1089-1092.

Scott, T.M., Rose, J.B., Jenkins, T.M., Farrah, S.R. ja Lukasik, J. 2002. Microbial source tracking: Current Methodology and Future Directions. *Applied and Environmental Microbiology* 68(12): 5796-5803.

Siddiqui, F.J., Bhutto, N.S., von Seidlein, L., Khurram, I., Rasool, S., Ali, M., Zafar, A., Deen, J.L., Clemens, J.D., Nizami, Q. ja Bhutta, Z.A. 2006. Consecutive outbreaks of *Vibrio cholerae* O139 and *V. cholerae* O1 cholera in a fishing village near Karachi, Pakistan. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* 100(5): 476-482.

Siitonen, A. 2006. Salmonellojen epidemiologiaa vuosina 1995 - 2005. *Kansanterveys-lehti* 10:15-16.

Siitonen, A. 2007a. Henkilökohtainen tiedonanto 7.8.2007.

Siitonen, A., Sihvonen, L., Pitkänen, T. ja Zacheus, O. 2007. Uimiseen liittyvät infektioriskit. *Kansanterveys -lehti* 5-6: 20-21.

Siitonen, A. ja Vaara, M. 2004. Vibriot. Kirjassa *Mikrobiologia ja infektiosairaudet*. Huovinen, P., Meri, S., Peltola, H., Vaara, M., Vaheri, A. ja Valtonen, V. (toim.) Kustannus Oy Duodecim.

Sillanpää, N. 2007. Tulvanhallinnasta kokonaisvaltaiseen hulevesien hallintaan. *Vesitalous* (2): 5.

Solis, B., Nova, E., Gomez, S., Samartin, S., Mouane, N., Lemtoun, A., Belaoui, H. ja Marcos, A. 2002. The effect of fermented milk on interferon production in malnourished children and in anorexia nervosa patients undergoing nutritional care. *European Journal of Clinical Nutrition* 56 Suppl 4: S27-33.

Simpson, J.M., Santo Domingo, J.W. ja Reasoner, D.J. 2002. Microbial Source Tracking: State of the Science. *Environmental Science & Technology* 36(24): 5279-5288.

Sosiaali- ja terveysministeriö. 2005. Uimavesidirektiivistä yhteisymmärrys. Tiedote 435/2005. Saatavissa [www-muodossa sivulla: http://www.stm.fi/Resource.phx/publishing/documents/4855/index.htm?template=print](http://www.stm.fi/Resource.phx/publishing/documents/4855/index.htm?template=print) (Kirjoitettu 14.10.2005).

Standish-Lee, P. ja Loboschfsky, E. 2006. Protecting public health from the impact of body-contact recreation. *Water Science and Technology* 53(10): 201-207.

STM 292/1996. Päätös yleisten uimarantojen veden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista. Helsinki.

STM 41/1999. Päätös yleisten uimarantojen veden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista annetun sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön päätöksen muuttamisesta. Helsinki.

Strockbine, N.A. ja Aurelli, A.T. 2005. Shigella. Kirjassa Bergey's manual of systematic bacteriology. Vol. 2, part B. Brenner, D.J., Krieg, N.R., Staley, J.T. (toim.). Springer, USA.

Stuart, J.M., Orr, H.J., Warburton, F.G., Jeyakanth, S., Pugh, C., Morris, I., Sarangi, J. ja Nichols, G. 2003. Risk factors for sporadic giardiasis: a case-control study in southwestern England. *Emerging Infectious Diseases* 9(2): 229-233.

Suomen ympäristökeskus 2006a. Jätevesien käsittelyvaihtoehdot. Saatavilla [www-muodossa osoitteessa: http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=9672&lan=FI](http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=9672&lan=FI) (päivitetty 21.12.2006).

Suomen ympäristökeskus 2006b. Vuoto- ja hulevedet. Saatavilla [www-muodossa osoitteessa http://www.environment.fi/default.asp?node=5516&lan=fi](http://www.environment.fi/default.asp?node=5516&lan=fi) (päivitetty 28.8.2006).

Suomen ympäristökeskus 2007a. Maatalouden vesistökuormitus. Saatavilla [www-muodossa osoitteessa: http://www.environment.fi/default.asp?contentid=98548&lan=fi](http://www.environment.fi/default.asp?contentid=98548&lan=fi) (päivitetty 16.3.2007).

Suomen ympäristökeskus 2007b. Maatalouden vesiensuojelu. Saatavilla [www-muodossa osoitteessa: http://www.environment.fi/default.asp?contentid=173862&lan=fi](http://www.environment.fi/default.asp?contentid=173862&lan=fi) (päivitetty 15.3.2007).

Suomen ympäristökeskus 2007c. Yhdyskuntien jätevedet. Saatavilla [www-muodossa osoitteessa: http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=562&lan=fi](http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=562&lan=fi) (päivitetty 1.3.2007).

Suomen ympäristökeskus 2007d. Jätevesien puhdistus. Saatavilla [www-muodossa osoitteessa: http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=6569&lan=fi](http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=6569&lan=fi) (päivitetty 25.1.2007).

Suomen ympäristökeskus 2007e. Haja-asutuksen jätevedet. Saatavilla [www-muodossa osoitteessa: http://www.environment.fi/default.asp?contentid=78134&lan=fi](http://www.environment.fi/default.asp?contentid=78134&lan=fi) (päivitetty 8.1.2007).

Swerdlow, D.L., Woodruff, B.A., Brady, R.C., Griffin, P.M., Tippen, S., Donnell, H.D. Jr., Geldreich, E., Payne, B.J., Meyer, A. Jr. ja Wells, J.G. 1992. A waterborne outbreak in Missouri of *Escherichia coli* O157:H7 associated with bloody diarrhea and death. *Annals of Internal Medicine* 15;117(10): 812-819.

Taylor, H. 2003. Surface waters. Kirjassa *The handbook of water and wastewater microbiology*. Mara, D. ja Horan, N. (toim.). Academic press, UK.

Terveystieteiden ministeriön päätös 763/1994.

Terveystieteiden ministeriön päätös 1280/1994.

Tholozan, J. L., Cappelletti, J. M., Tissier, J. P., Delattre, G. ja Federighi, M. 1999. Physiological characterization of viable-but-nonculturable *Campylobacter jejuni* cells. *Applied and Environmental Microbiology* 65: 1110-1116.

Thomas, C., Hill, D.J. ja Mabey, M. 1999. Evaluation of the effect of temperature and nutrients on the survival of *Campylobacter spp.* in water microcosms. *Journal of Applied Microbiology* 86: 1024-1032.

Thompson, R.C.A., Hopkins, R.M. and Homan, W.L. 2000. Nomenclature and Genetic Groupings of *Giardia* Infecting Mammals. *Parasitology today* 16(5): 210-213.

- Tindall, B.J., Grimont, P.A., Garrity, G.M. ja Euzéby, J.P. 2005. Nomenclature and taxonomy of the genus *Salmonella*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 55:521-524.
- Towianska, A. ja Potajallo, U. 1990. Human pathogenic viruses in waters of Lake Zarnowieckie (north Poland). *Bulletin of the Institute of Maritime and Tropical Medicine in Gnydia* 41(1-4): 149-155.
- Turner, M., Istre, G.R., Beauchamp, H., Baum, M., ja Arnold, S. 1987. Community outbreak of adenovirus type 7a infections associated with a swimming pool. *Southern Medical Journal* 80(6): 712-715.
- Tzipori, S. 1988. Cryptosporidiosis in perspective. *Advances in Parasitology* 27: 63-129.
- Tyrrel, S.F. ja Quinton, J.N. 2003. Overland flow transport of pathogens from agricultural land receiving faecal wastes. *Journal of Applied Microbiology* 94 Suppl:87S-93S.
- Vahteristo, L., London L., Häkkinen, M., Perko-Mäkelä, P., Hänninen, M-L. ja Maijala, R. 2003. Yleiskuvaus kampylobakteerien aiheuttamasta riskistä. *Eläinlääkintä- ja elintarviketutkimuslaitoksen julkaisuja 5/2003*. Tampere.
- Valtioneuvoston asetus 542/2003. Asetus jätevesien käsittelystä vesihuoltolaitosten viemäriverkostojen ulkopuolisilla alueilla.
- Valtioneuvoston asetus 888/2006. Asetus yhdyskuntajätevesistä.
- Valtioneuvoston asetus 931/2000. Asetus maataloudesta peräisin olevien nitraattien vesiin pääsyn rajoittamisesta.
- Ventura, S.J., Mosher, W.D., Curtin, S.C., Abma, J.C. ja Henshaw, S. 1999. Highlights of trend in pregnancies and pregnancy rates by outcome: Estimates for the United States, 1976-1996. *National vitas statistics reports 47(29)*. National Centre for Healt Statistics, Hyattsville, USA.
- Veschetti E, Cutilli D, Bonadonna L, Briancesco R, Martini C, Cecchini G, Anastasi P, Ottaviani M. 2003. Pilot-plant comparative study of peracetic acid and sodium hypochlorite wastewater disinfection. *Water Research* 37(1):78-94.
- Laki vesienhoidon järjestämisestä 1299/2004.
- Vesi- ja viemärlaitosyhdistys. 2003. Talousveden desinfiointi ultraviolettivalolla. Copy-Set, Helsinki.
- Vogel, J.R., Stoeckel, D.M., Lamendella, R., Zelt, R.B., Santo Domingo, J.W., Walker, S.R. ja Oerther, D.B. 2007. Identifying fecal sources in a selected catchment reach using multiple source-tracking tools. *Journal of Environmental Quality* 36(3):718-29
- Wait, D.A. ja Sobsey, M.D. 2001. Comparative survival of enteric viruses and bacteria in Atlantic Ocean seawater. *Water science and technology* 43(12): 139-142.
- Wassenaar, T.M. ja Newell, D. G. 2000. Minireview, Genotyping of *Campylobacter spp.* *Applied and Environmental Microbiology* 66: 1-9.
- Westrell, T. 2004. Microbial risk assessment and its implications for risk management in urban water systems. Linköping university, faculty of arts and science. UniTryck, Linköping.
- Wheeler Alm, E., Burke, J. ja Spain, A. 2003. Fecal indicator bacteria are abundant in wet sand at freshwater beaches. *Water Research* 37(16): 3978-3982.

Whitlock, J.E., David T. Jones, D.T. ja Harwood, V.J. 2002. Identification of the sources of fecal coliforms in an urban watershed using antibiotic resistance analysis. *Water Research* 36(7): 4273-4282.

Whitman, R.L. ja Nevers, M.B. 2003. Foreshore sand as a source of *Escherichia coli* in nearshore water of a Lake Michigan beach. *Applied and Environmental Microbiology* 69(9):5555-5562.

WHO 1994. International programme on chemical safety, environmental health criteria 160, ultraviolet radiation. WHO, Geneve. Saatavilla [www-muodossa osoitteessa:](http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc160.htm#SubSectionNumber:6.5.1)

<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc160.htm#SubSectionNumber:6.5.1> (luettu 14.5.2007).

WHO 2003. Guidelines for safe recreational water environments. Volume 1, coastal and fresh waters. WHO, Geneve.

WHO 2004. Guidelines for drinking-water quality. 3. edition. Volume 1, Recommendations. WHO, Geneve.

WHO 2005. Guidelines for safe recreational water environments. Volume 2, swimming pools, spas and similar recreational water environments. WHO, Geneve.

WHO 2007a. Water sanitation and health; waterborne pathogens. Saatavilla [www-muodossa osoitteessa:](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwqrevision/watborpath/en/index.html)

http://www.who.int/water_sanitation_health/dwqrevision/watborpath/en/index.html (luettu 13.4.2007).

WHO, 2007b. Ultraviolet radiation and health. Saatavilla [www-muodossa osoitteessa:](http://www.who.int/uv/uv_and_health/en/index.html)

http://www.who.int/uv/uv_and_health/en/index.html (luettu 14.5.2007).

Wommack, K.E. ja Colwell, R.R. 2000. Virioplankton: viruses in aquatic ecosystems. *Microbiology and Molecular Biology reviews* 64(1): 69-114.

Yoder, J.S., Blackburn, B.G., Craun, G.F., Hill, V., Levy, D.A., Chen, N., Lee, Calderon, R.L. ja Beach, M.J. 2004. Surveillance for recreational waterborne-disease outbreaks associated with recreational water – United States, 2001-2002. *MMWR. Surveillance summaries: Morbidity and mortality weekly report. Surveillance summaries/CDC* 53(8): 1-22.

Zacheus, O. 2003. Suurten yleisten uimarantojen valvonta ja veden laatu vuosina 1997-2002. Sosiaali- ja terveysministeriön selvityksiä 2003:9. Helsinki.

Zacheus, O. 2007. Suurten yleisten uimarantojen valvonta ja veden laatu vuosina 2003-2006. Saatavissa [www-muodossa osoitteessa:](http://www.sttv.fi/ylo/Uimavesiraportti_2003-2006_15.3.07.pdf) http://www.sttv.fi/ylo/Uimavesiraportti_2003-2006_15.3.07.pdf (luettu 15.5.2007).

Zheng, D-P., Ando, T., Frankhauser, R.L., Beard, R.S., Glass, R.S. ja Monroe, S.S. 2006. Norovirus classification and proposed strain nomenclature. *Virology* 346: 312-323.