



Helsingin kaupungin

ympäristökeskuksen julkaisuja

2/93



Eräiden
Suomen vesilaitosten
verkostoveden
mikrobiologinen laatu



Kannen kuva: Kari Veijalainen

Tämä julkaisu on painettu sataprosenttiselle uusiopaperille

Kirsti Lahti, Seija Kalso, Kimmo Kuusinen,
Juhani Airo ja Seppo Ahonen

Eräiden Suomen vesilaitosten verkostoveden mikrobiologinen laatu

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää raakavedeltään ja vedenkäsittelyltään erilaisten vesilaitosten jakaman verkostoveden bakteerilajistoa ja -määriä sekä mikrosienten esiintymistä. Näytteenottokohteiksi valittiin pääasiassa tunnettuja verkoston ongelma-alueita. Mikrobien määriä ja lajistoa tutkittiin kolmena eri vuodenaikana kuuden eri vesilaitoksen vesistä. Samanaikaisesti tutkittiin myös verkostovesien fysikaalis-kemiallinen laatu.

Yhden pohjavesilaitoksen useimmissa verkostonäytteissä esiintyi koliformisia bakteereja ja kerran myös *Escherichia coli*-bakteeria. Laitoksenottamoistayksioliselvästi alttiina pintavesien vaikutukselle. Kyseisen ottamon vedestä todettiin myös *Aeromonas hydrophila/caviae* -bakteereja sekä homeita yleisesti. *Pseudomonas aeruginosa* -bakteereja ja tarkistettuja fekaalisia streptokokkeja ei todettu yhdessäkään tutkituista eri laitosten verkostovesistä. *Aeromonas hydrophila/caviae* -bakteereja osoitettiin vain pohjavesistä ja niissäkin melko alhaisina pitoisuuksina, 1-32 pmy/100 ml. Mikrosieniä esiintyi vesissä yleisesti, mutta niiden määrä oli kahta verkostokohdetta lukuunottamatta alle 100 pmy/ 100 ml.

Heterotrofisten bakteerien pesäkeluvussa ei todettu merkitseviä eroja pinta-, pohja- ja tekopohjavesilaitosten välillä. Heterotrofisen pesäkeluvun arvot vaihtelivat huomattavasti saman laitoksen eri pisteiden välillä sekä tutkittujen pintavesilaitosten välillä. Keskimääräiset pesäkelukuarvot olivat pienempiä kuin vastaavissa kanadalaisissa tai yhdysvaltalaisissa tutkimuksissa. Heterotrofisista bakteereista 83 % oli gram-negatiivisia. Näistä yleisimmät tunnistetut bakteerisuvut olivat *Pseudomonas*, *Moraxella*, *Alcaligenes* ja *Flavobacterium*. Käytetyillä biokemiallisilla tunnistusmenetelmillä päästiin harvoin luotettavaan lajitason tunnistukseen ja vain noin kolmannes eristetyistä kannoista tunnistettiin sukutasolle.

Yhdessä verkostokohteessa oli käynnissä vanhojen vesijohtoputkien uusiminen. Tämä näkyi selkeästi huomattavan korkeina heterotrofisen pesäkeluvun arvoina ja ei-ulosteperäisten koliformisten bakteerien esiintymisenä sekä veden sameuden ja rautapitoisuuden nousuna.

Aeromonas hydrophila ja *Pseudomonas aeruginosa* -bakteerien määrittämiseen verkostovedestä ei tulosten perusteella ilmennyt säännöllisesti toistuvaa tarvetta. Koliformisten bakteerien kokonaismääräntoiyleiskuvan verkostovedenlaadusta varsinkin pohjavesien ja heikosti desinfioitujen verkostovesien osalta. Heterotrofisten bakteerien määrittäminen 22°C lämpötilassa ei korreloinut merkittävästi muiden tutkittujen mikrobiryhmien kanssa, mutta kylläkin negatiivisesti kokonaiskloorin ja positiivisesti raudan ja sameuden kanssa. Heterotrofisen pesäkeluku oli tulosten perusteella hyvä verkostossa tapahtuvan bakteerien lisääntymisen kuvaaja.

SAMMANDRAG

Avsikten med denna undersökningen var att utreda vattenledningsvattnets bakteriearter och mängd samt förekomsten av mikrosvampar i vatten som distribueras av vattenverk med olika råvatten och vattenbehandlingsmetoder. För provtagningsställen valdes i första hand kända problemområden i distributionnätet. Man undersökte antalet mikrober och deras artsammansättning i vatten från sex vattenverk under tre årstider. Samtidigt kontrollerades också vattenledningsvattnets fysikalisk-kemiska kvalitet.

I distribuerat vatten från ett grundvattenverk påvisades koliforma bakterier i flera prov och också *E.coli* i ett prov. I en av anläggningarna vattnet var tydligt påverkat av ytvatten som trängde in i grundvattnet. I frågavarande anläggningen påvisades också allmänt *Aeromonas hydrophila/caviae* bakterier samt mögelsvampar. *Pseudomonas aeruginosa* bakterier och konfirmerade fekala streptokokker påvisades inte i en enda prov av de undersökta vattenledningsvatten från olika vattenverk. *Aeromonas hydrophila/caviae* bakterier

påvisades bara i grundvatten i ganska låga täthet, <1-32 st/100 ml. Mikrosvampar förekom allmänt i vattnet men deras täthet var under 100 st/100 ml med undantaget av två ledningsställen.

Inga betydande skillnader i antalet heterotrofa bakterier konstaterades mellan ytvatten, grundvatten och konstgjord-grundvatten verk. Koloniantalet av heterotrofa bakterier varierade betydligt mellan provtagningsställen i samma vattenverk och mellan de undersökta ytvattenverk. De genomsnittliga koloniantalet var mindre än i de motsvarande kanadensiska eller amerikanska undersökningarna. 83 % av heterotrofa bakterier var gram-negativa. De allmännaste av de identifierade bakteriesläkterna var *Pseudomonas*, *Moraxella*, *Alcaligenes* och *Flavobacterium*. Med de biokemiska identifieringsmetoderna som användes kunde man sällan uppnå pålitlig identifiering på artnivå och bara en tredjedel av stammar identifierades på släktnivå.

I ett provtagningsställe förnyades gamla vattenledningar. Detta konstaterades tydligt som avsevärt höga antal av heterotrofa bakterier och koliforma bakterier som inte var av fekal ursprung samt som förhöjning av vattnets grumlighet och järnhalt.

Fortgående behov för bestämning av antalet *Aeromonas hydrophila* och *Pseudomonas aeruginosa* bakterier i vattenledningsvatten kom inte fram. Totalt antalet koliforma bakterier gav en översikt om vattenledningsvattens kvalitet speciellt i grundvatten och i svagt desinficerade vattenledningsvatten. Antalet heterotrofa bakterier (22°C) korrelerade inte märkvärdigt med andra undersökta grupper av mikrober i vatten men det fanns en betydande negativ korrelation mellan mängden total klor och en positiv korrelation mellan järn och grumlighet. Antalet heterotrofa bakterier beskrev väl växten av bakterier i distributionsnätet enligt undersökningsresultat.

	sivu
TIIVISTELMÄ	
SAMMANDRAG	
JOHDANTO	5
Vesihuolto Suomessa	5
Vesijohtoveden mikrobiologinen laatu ja sen valvonta	6
Vesijohtoveden mikrobiologiseen laatuun vaikuttavat tekijät	8
Tutkimuksen tarkoitus	10
AINEISTO JA MENETELMÄT	11
Näytteenottokohteet	11
Näytteenotto	12
Mikrobiologiset määritykset	12
Bakteerien tunnistus	14
Fysikaalis-kemialliset määritykset	15
Tilastollinen käsittely	15
TULOKSET	15
Bakteerien kokonaismäärä	15
Heterotrofiset bakteerit	16
<i>Aeromonas</i> -bakteerit	20
Koliformiset bakteerit	21
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> -bakteerit	22
Fekaaliset streptokokit	23
Mikrosienet	23
Fysikaalis-kemialliset tulokset	25
TULOSTEN TARKASTELU	26
Bakteerien kokonaismäärä	26
Heterotrofiset bakteerit	26
<i>Aeromonas</i> -bakteerit	27
Koliformiset bakteerit	28
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> -bakteerit	29
Fekaaliset streptokokit	30
Mikrosienet	30
JOHTOPÄÄTÖKSET	31
KIIITOKSET	33
KIRJALLISUUS	34
LIITTEET	39

JOHDANTO

Talousveden terveydellisen laadun mikrobiologinen valvonta on perustunut ulosteperäistä saastutusta kuvaavien indikaattoribakteerien osoitukseen vedestä. Talousveden laadun valvonnasta annettuja määräyksiä uudistettaessa lääkintöhallitus teetti vuosina 1989-1990 tutkimuksen eräiden Suomen vesilaitosten verkostoveden mikrobiologisesta laadusta. Tutkimuksen tarkoituksena oli arvioida verkostoveden mikrobiologisten tutkimusten valikoiman laajentamistarvetta valvonnassa. Tutkimuksessa keskityttiin mahdollisten opportunististen taudinaiheuttajamikrobien ja yleensä verkostossa tapahtuvan mikrobikasvun merkitykseen verkostovesissä.

Vesihuolto Suomessa

Suomen väestöstä 82 % oli vesilaitosten jakaman vesijohtoveden piirissä vuonna 1988. Yhteensä 1129 vedenottamosta noin 100 käytti raakavetenään pintavettä, 17 tekopohjavettä ja loput yli 1000 ottamoapohjavettä /1/. Vesilaitosten jakamasta vesimäärästä 52 % oli peräisin pohjavedestä tai tekopohjavedestä ja loput 48 % pintavedestä.

Pintavedestä valmistettavassa vesijohtovesiosainakäsitteltävä, ennen kuin se on kelvollista talousvettä. Pintaveden käsittelyyn kuuluu yleensä kemiallinen saostus alumiini- tai rautasuoloilla, hämmennys, selkeytys, hiekkasuodatus ja alkalointi sekä desinfiointi useimmiten joko kloorikaasulla tai natriumhypokloriitilla. Pohjavedestä valmistettua vesi-johtovettä ei Suomessa desinfioida säännöllisesti kuin noin 10 %:lla pohjavedenottamoista. Pohjaveden pehmeydestä johtuen noin puolet ottamoista alkaloivat veden kalkilla, lipeällä tai soodalla ennen verkostoon pumppaamista korroosiohaittojen ehkäisemiseksi /1/.

Vesijohtoveden mikrobiologinen laatu ja sen valvonta

Talousveden, jolla tarkoitetaan sekä vesilaitosten jakamaa vettä että kotitalouksien kaivovettä, terveydellisen laadun valvonnasta vastaavat kuntien terveys- tai ympäristölautakunnat. Valvonnassa noudatetaan terveydenhoitolain (469/65) ja -asetuksen (55/67) säännöksiä sekä lääkintöhallituksen asiasta antamia määräyksiä ja ohjeita. Lisäksi vesilaitos itse valvoo jakamansa vesijohtoveden laatua käyttötarkkailututkimuksin.

Talousveden terveydellisen laadun valvonta perustuu huomattavalta osin ulosteperäisen likaantumisen jäljittämiseen, koska valtaosa veden välityksellä leviävistä taudeista on joko ihmisten tai tasalämpöisten eläinten ulosteiden kautta leviävien taudinaiheuttajabakteerien, -virusten tai -alkueläinten aiheuttamia. Lämpökestoisten koliformisten bakteerien, uusimpien laatuvaatimusten mukaan *Escherichia coli*-bakteerien, määrittämistä käytetään viimeksi mainittuun tarkoitukseen /2/. Koliformisten bakteerien kokonaismäärää käytetään myös veden laadun arvioinnissa, lähinnä kuvaamaan pintavesien vaikutusta ja desinfioinnin puutteellisuutta sekä joissakin tapauksissa myös jäljittämään mikrobien lisääntymistä vesijohtoverkostossa. Viimeksi mainittuihin tarkoituksiin soveltuu myös heterotrofisen pesäkeluvun määrittäminen. Vesilaitoksilla desinfioinnin onnistumista tarkkaillaan mikrobiologisesti määrittämällä heterotrofisen pesäkeluku 37°C lämpötilassa kahden vuorokauden kasvatuksen jälkeen. Verkostoveden mikrobiologista laatua tarkkailtaessa käytetään yleisimmin heterotrofisen pesäkeluvun määrittämistä 20 - 22°C lämpötilassa kolmen vuorokauden tai viikon viljelyajalla.

Epäiltäessä veden välityksellä leviävää epidemiaa vesinäytteistä tutkitaan edellä esitettyjen lisäksi taudinaiheuttajabakteerien (esim. *Salmonella*, *Shigella*, *Campylobacter*, *Yersinia*) ja virusten esiintymistä. Alkueläinten, kuten *Giardia* ja *Cryptosporidium*, osoittaminen vesiepidemian aiheuttajaksi onnistuu Suomessa vain ulostenäytetutkimuksin, ei vielä vesinäytteistä. Suomessa

raportoitiin juomaveden aiheuttamia epidemioita vuosina 1980 - 1990 yhteensä 23, joissa yli 10 000 ihmistä sairastui /3/. Epidemioista yhdeksän oli kunnallisen vesijohtoveden aiheuttamia ja syynä oli yleisimmin pohjaveden saastuminen jätevesillä.

Vuoden 1987 vesilaitosten veden laadun valtakunnallisessa yhteenvedossa lämpökestoisia koliformisia bakteereja todettiin vain muutamissa pienten pohjavedenottamoiden (alle 1 500 m³/d) verkostovesinäytteissä /4/. Koliformisia bakteereja havaittiin vesissä useammin, tosin pitoisuudet olivat tällöinkin yleensä alle 10/100 ml. Koliformisia bakteereja esiintyi yleisimmin pienten pohjavedenottamoiden verkostonäytteissä. Heterotrofisten bakteerien pesäkelukutuloksia on valtakunnallisessa tilastossa melko vähän osin raportoinnin puutteiden vuoksi, mutta myös siksi, että varsinkin pienemmillä vesilaitoksilla heterotrofista pesäkelukua ei vesinäytteistä ole määritetty. Yleisestikin talousvesien mikrobiologiset tutkimukset ovat näiden laitosten vedestä olleet melko puutteellisia. Tutkimuksia on tehty vuosittain vain muutamia korkeintaan parista näytepisteestä ja näytteistä on tällöin usein määritetty vain lämpökestoiset koliformiset bakteerit. Lääkintöhallituksen uusituilla talousveden valvontaa koskevilla määräyksillä ja ohjeilla on pyritty tehostamaan nimenomaan pienten pohja- ja pintavesilaitosten veden laadun valvontaa /2/.

Vaikka vesijohtovesi perinteisten indikaattoribakteereiden perusteella arvioiden olisi moitteetonta, saattaa siinä silti esiintyä haju- tai makuhaittoja, jotka ovat mikrobeista peräisin, taikka vesi voi olla heikkokuntoisille jopa terveydelle haitallista. Kyseisten veden laatuhäiriöiden toteaminen edellyttää yleensä erityistutkimuksia, kuten homeiden, sädesienten, legionellojen, *Pseudomonas aeruginosa* tai atyyppisten mykobakteerien tutkimista vedestä. Tosin myös heterotrofisen pesäkeluvun määrittämisellä saatetaan joissakin tapauksissa saada kuva esimerkiksi haju- ja makuhaittojen mahdollisesta mikrobiologisesta alkuperästä /5/.

Vesijohtoveden mikrobiologiseen laatuun vaikuttavat tekijät

Vesijohtoveden mikrobiologiseen laatuun vaikuttavat useat eri tekijät, kuten raakaveden laatu, vedenkäsittely, verkoston rakenne, veden viipymä verkostossa, putki- ja tiivistemateriaalit, lämpötila, veden orgaanisen aineen määrä, ravinteet ja desinfiointiaineen määrä /6,7,8/.

Raakaveden bakteereista osa on luonnostaan vedessä eläviä bakteereja, osa raakaveden ulkopuolelta tulevan kuormituksen mukanaan tuomia. Näistä mikrobeista osa läpäisee vedenkäsittelyprosessin, myös desinfiointikäsittelyn. Desinfiointin tarkoituksena on tuhota vedestä nimenomaan tautia aiheuttavat mikrobit.

Vesijohtoveteen kulkeutuneiden mikrobien elossa säilymiseen ja lisääntymiseen vaikuttaa veden fysikaalis-kemiallinen laatu, etenkin desinfiointiaineen määrä. Vedessä vapaana uivat bakteerit ovat huomattavasti herkempiä desinfiointiaineiden vaikutukselle kuin erilaisiin hiukkasiin ja putkien seinämille kiinnittyneet bakteerit /9/. Mikrobeilla on taipumus kiinnittyä erilaisille pinnoille ja vesijohtoverkostossa valtaosa mikrobeista onkin kiinnittyneinä hiukkasiin tai putkien seinämille /8,10,11,12/.

Veden bakteereista valtaosa kuuluu gram-negatiivisiin bakteereihin, kuten *Pseudomonas*-, *Flavobacterium*-, *Acinetobacter*- ja *Alcaligenes*-sukuihin /7,8/. Osa näistä bakteereista on potentiaalisia taudinaiheuttajia. Koliformisia bakteereja, varsinkin *Enterobacter*-suvun lajeja, on eristetty mm. verkostojen rautasaostumista /8/. Putkistojen seinämille muodostunut biofilmi heikentää vapaan kloorin vaikutusta. Sen sijaan monoklooriamiini on osoittautunut edellistä tehokkaammaksi seinämille kiinnittyneiden mikrobien kasvun rajoittamisessa /9/.

Veden lämpötilan kohoaminen yli 15°C kiihdytti bakteerikasvua verkostossa /13,14/. Mikrobeille käyttökelpoisen orgaanisen hiilen määrällä on viime vuosina todettu olevan ratkaiseva vaikutus bakteerien lisääntymiseen verkostossa.

Van der Kooij /5/ on todennut, että assimiloituvan orgaanisen hiilen pitoisuus tulisi olla alle 10 μg asetaattihiilliekvivalenttia litrassa. LeChevallier ym. /14/ havaitsivat, että koliformiset bakteerit lisääntyivät verkostovedessä, kun orgaanisen hiilen kokonaismäärä ylitti 2.4 mg/l tai biologisesti käyttökelpoisen hiilen pitoisuus 50 $\mu\text{g/l}$ asetaattihiilliekvivalentteina ilmaistuna. Vaikkavainmurto-osa vedessä olevasta hiilestä on heterotrofisille bakteereille käyttökelpoisessa muodossa, hiilen määrä ei yleensä ole kasvua rajoittava tekijä. Vesijohtovedessä viihtyvät autotrofiset nitrifioivat bakteerit voivat myös tuottaa heterotrofisten bakteerien tarvitsemia orgaanisia yhdisteitä verkostossa /15,16/.

Myös vesijohtoputkien ja etenkin erilaisten liittimien ja tiivisteiden materiaalit saattavat suosia mikrobien kasvua /17/. Legionellojen on todettu lisääntyvän kumitiivisteissä /18/. *Pseudomonas aeruginosa* -bakteeria käytetään koeorganismina erilaisten veden kanssa kosketuksiin joutuvien materiaalien testauksessa /13/.

Bakteerikasvusta aiheutuvat haitat ovat selvimmät yleensä verkoston umpiperissä ja äärialueilla, joissa veden vaihtuvuus on hidasta ja desinfiointiainetta ei enää ole osoitettavissa. Tällaisissa verkosto-osissa saattaa esiintyä myös alkueläimiä ja sukkulamatoja, jotka käyttävät bakteereja ravinnokseen.

Heterotrofisten bakteerien merkityksestä veden terveydelliseen laatuun on vähän tutkimuksia. Kanadassa tehdyssä laajassa vesijohtoveden laatua ja ihmisten sairastuvuutta koskevassa tutkimuksessa todettiin merkitsevä positiivinen korrelaatio veden heterotrofisen pesäkeluvun (37°C) ja vedenkäyttäjien suolistosairauksien välillä. Tämä merkitsevä korrelaatio osoitettiin vain siinä vertailuryhmässä, jonka käyttämä vesijohtovesi käsiteltiin vielä käänteisosmoosilla /19/. Tämän vedenkäyttäjryhmän sairastuvuus suolistosairauksiin nousi silloin, kun heterotrofisen pesäkeluvun arvot ylittivät 1000 pmy/ml (Payment, suullinen tiedonanto).

Samaisessa tutkimuksessa todettiin huomattavasti suurempi sairastuvuus suolistosairauksiin niillä vedenkäyttäjillä, jotka joivat vesijohtovettä sellaisenaan ilman käänteisosmoosikäsittelyä. Tässä ryhmässä 35 % suolistosairauksista oli peräisin talousveden terveydelliset laatuvaatimukset täyttävästä vesijohtovedestä /20/.

Homeet ja sädesienet voivat aiheuttaa veteen haju- ja makuhaittoja sekä runsaana esiintyessään terveydellistä haittaa. Homeet ja sädesienet joutuvat vesijohtovesiin pääosin raakaveden, maan ja kasvillisuuden sekä varastoaltaiden likaantumisen seurauksena /21/. Ne saattavat lisääntyä vesijohtoverkostossa ja vesisäiliöissä pinnoille kertyneen orgaanisen aineen turvin /7/. Organismien metaboliatuotteet voivat aiheuttaa veteen maamaista hajua ja makua. Ruotsissa on annettu vesilaitosten jakaman veden mikrosienille ja sädesienille ohjearvo 100 pmy/100 ml. Pitoisuuden ylittyessä vesilaitoksen tulisi ryhtyä toimenpiteisiin veden haju- ja makuhaittojen estämiseksi /22/.

Tutkimuksen tarkoitus

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää raakavedeltään ja vedenkäsittelyltään erilaisten vesilaitosten jakaman verkostoveden bakteerilajistoa ja -määriä sekä mikrosienten esiintymistä. Näytteenottokohteet valittiin pääasiassa kunkin laitoksen verkoston tunnetuilta ongelma-alueilta. Tutkimuksessa pyrittiin myös vertailemaan eri määritysten käyttökelpoisuutta veden mikrobiologisen laadun arvioinnissa.

Legionellojen ja atyyppisten mykobakteerien esiintymisen selvittäminen ei kuulunut tähän tutkimukseen, vaikka nekin ovat potentiaalisia veden välityksellä tauteja-aiheuttavia bakteereja.

AINEISTO JA MENETELMÄT

Näytteenottokohteet

Verkostovesinäytteitä kerättiin kuuden eri kunnan alueelta syyskuussa ja marras-joulukuussa 1989, sekä maaliskuuhuhtikuussa 1990. Kunnat sijaitsivat yhtä lukuunottamatta Etelä-Suomessa. Näytteenottokohteita kunkin kunnan alueella oli kolme, tosin osa kohteista oli eri vedenottamotyypeistä. Vesinäytteet otettiin kiinteistöjen hanoista tai vesiposteista sekä kahdessa tapauksessa suoraan vedenottamolta lähtevästä vedestä. Tutkimukseen valittiin näytteenottokohteet siten, että vesi edusti joko verkoston äärialueetta, vedenkäyttäjät olivat valittaneet vieraasta hajusta tai mausta tai vesilaitos oli havainnut poikkeavuuksia veden laadussa.

Tutkimuksessa oli mukana kohteita pintavesilaitosten, pohjavedenottamoiden ja tekopohjavesilaitosten verkostosta. Tutkimuksen kahdesta pintavesilaitoksesta Helsingin laitoksella (Pitkäkösken ja Vanhankaupungin laitokset) oli käytössä kemiallinen saostus, selkeytys, suodatus ja otsonointi sekä jälkidesinfiointi monoklooriamiinilla (laitos A). Espoon Dämmanin pintavesilaitoksen vedenkäsittely muodostui alkuotsonoinnista, kemiallisesta saostuksesta, selkeytyksestä, hiekkasuodatukselta ja desinfioinnista kloorilla ja monoklooriamiinilla (laitos B). Laitoksen A alueelta seurattiin veden laatua kolmesta kohteesta ja laitoksen B alueelta kahdesta kohteesta.

Tutkimuksessa mukana olleista Tuusulan, Hangon, Espoon Kaukalahden ja Kuopion Reposaaaren pohjavedenottamoista vain Kuopiossa oli käytössä desinfiointi. Tuusulan pohjavedenottamoilla, Lahela ja Fira, oli alkalointikemikaalina joko sooda tai lipeä (laitos C). Hangon pohjavedenottamot (laitos D) pumppasivat vettä verkostoon ilman minkäänlaista vedenkäsittelyä. Laitosten C ja D jakelualueella oli kummallakin kolme näytteenottokohdetta. Edellisten lisäksi tutkimuksessa oli mukana kaksi näytteenottokohdetta,

joista Espoon Kaukalahden vesi oli alkaloitua, desinfiointitonta pohjavettä (laitos E) ja Kuopion hidassuodatettua, alkaloitua ja klooridesinfiointia pohjavettä (laitos F).

Tekopohjavesilaitoksia oli tutkimuksessa mukana kaksi, joista Hyvinkään Hikiän ottamo (laitos G) perustui hidassuodatukseen ilman desinfiointia ja Kuopion Itkonniemen laitos rantaimetykseen, kemialliseen saostukseen, selkeytykseen, suodatukseen ja desinfiointiin kloorilla sekä monoklooriamiinilla (laitos H). Laitoksen G alueella oli kolme näytteenottokohdetta ja laitoksen H alueella kaksi.

Näytteenotto

Näytteenottoa varten hanoista poistettiin ylimääräiset suuttimet. Vettä juoksutettiin hanasta viisi minuuttia, jonka jälkeen mitattiin veden lämpötila. Mikrobiologisia tutkimuksia varten näytteet otettiin steriileihin yhden litran borosilikaattilasipulloihin.

Desinfioituja verkostovesiä varten näytepulloihin oli lisätty natriumtiosulfaattia (35 mg litraan näytettä) ennen autoklavointia. Fysikaalis-kemiallisiin tutkimuksiin näytteet otettiin puhtaisiin litran lasipulloihin. Näytteet kuljetettiin laboratorioon jäädytettynä (noin 4°C) ja valolta suojattuina. Vesinäytteet analysoitiin 2-6 tunnin kuluttua näytteenotosta.

Mikrobiologiset määritykset

Heterotrofisten bakteerien pesäkeluku määritettiin tryptonihiivauuteagarilla /23/ maljavalumenetelmällä (kasvatus 37°C, 48 h) ja pintalevitysmenetelmällä (kasvatus 22°C, 7d) sekä niukkaravinteisella R2A-agarilla (Difco 1826, /24/) pintalevitysmenetelmällä (kasvatus 22°C, 7 d). Kustakin tutkittavasta näytetilavuudesta (1.0 tai 0.1 ja 0.01 ml) viljeltiin kaksi rinnakkaisnäytettä kullakin alustalla. Maljoilta laskettiin kaikki pesäkkeet sekä erikseen pigmentilliset pesäkkeet, joiksi luettiin muut kuin värittömät tai valkoiset pesäkkeet.

Ensimmäisellä näytteenottokerralla määritettiin myös bakteerien kokonaismäärä epifluoresenssimenetelmällä. Määrittystä varten formaliinilla (11.1 ml 20% steriilisuodatettua formaliinia 100 ml vesinäytettä) säilöttyä näytevettä suodatettiin 10 ml 0.2 µm huokoskoon kalvon läpi (Nuclepore SN 110606). Tämän jälkeen kalvolle lisättiin 1.0 ml akridiinioranssiliuosta (10 mg/100 ml fosfaattipuskuria), jota seisotettiin 3 minuuttia ennen suodatusta. Kalvo pestiin 5 ml:lla fosfaattipuskuria ja steriilillä vedellä 2 x 5 ml. Kuivunut kalvo asetettiin mustatulle objektilasille immersioöljytipan päälle. Kalvolla olevat bakteerisolot laskettiin fluoresenssimikroskoopilla käyttäen 100-kertaista öljyimmersio-objektiivia (Leitz Diaplan, 100x PL Fluotar 100/1.32 objektiivi).

Aeromonas-bakteerit määritettiin kalvosuodatusmenetelmällä ampisilliini-dekstriiniagarilla, ADA /25/. Suodatettavat vesitilavuudet olivat 10 ja 100 ml. Maljoja kasvatettiin 30°C lämpötilassa 24 h. Maljoilta laskettiin keltaiset pesäkkeet. *Pseudomonas aeruginosa* -bakteerit määritettiin kalvosuodatusmenetelmällä *Pseudomonas Isolation* -agarilla (Difco 927). Tutkittavat tilavuudet olivat 10 ja 100 ml. Viljely tapahtui 37°C lämpötilassa 48 h. Maljoilta laskettiin sinivihreät tai vihertävät pesäkkeet. Fekaalisten streptokokkien määrittäminen suoritettiin kalvosuodatusmenetelmällä *m-Enterococcus*-agarilla (Difco 746) standardimenetelmällä /26/. Vettä suodatettiin 100 ml. Maljoja kasvatettiin 37°C lämpötilassa 48 h. Maljoilta laskettiin punaiset pesäkkeet.

Veden mikrosienten määrittäminen suoritettiin standardin SFS 5507 /27/ mukaisesti klooritetrasykliini-kloramfenikoli-rosebengal-dekstroosi-peptoniagarilla. Suodatettavat vesitilavuudet olivat 10 ja 100 ml. Maljoja kasvatettiin 22°C lämpötilassa 7 d.

Koliformisten bakteerien määrittämisessä /28/ käytettiin *Les Endo* -agarilla (Difco 736). Suodatettavat vesitilavuudet olivat 100 tai 200 ml. Näytteet viljeltiin 37°C lämpötilassa

24-48 h. Koliformisiksi pesäkkeiksi laskettiin Les Endo-agarilta tummanpunaiset metallinkiiltoiset pesäkkeet. Koliformisten bakteerien esiintymistä tutkittiin myös presence-absence -tekniikalla Colilert^R-testillä (Cat. No 70520, WP 200, Lumac). Testi perustuu o-nitrofenyyli- -D-galaktopyranosidin (ONPG) ja 4-metyyliumbelliferyyli- -D-glukuronidin (MUG) käyttöön. Testillä osoitetaan koliformisten bakteerien ja *Escherichia coli*-bakteerien esiintyminen vedessä 24 tunnissa 37°C lämpötilassa. Tutkittu vesitilavuus oli 100 ml. Keltainen väri kasvuliouksessa osoittaa koliformisten bakteerien ja fluoresenssi UV-valossa *E. coli* -bakteerien läsnäoloa.

Suodatinkalvoina käytettiin 0,45 µm huokoskoon kalvoja (Millipore HAWG 047S3) lukuunottamatta koliformimääri-tyksiä, joissa käytettiin Millipore HCWG 047S1 suodatin-kalvoja, joiden huokoskoko oli 0,7 µm.

Bakteerien tunnistus

Aeromonas- ja koliformialustoilla kasvaneet tyypilliset pesäkkeet eristettiin puhtasviljelmiksi TH-maljoilla. Oksidaasipositiiviset ADA-alustalta eristetyt kannat tunnistettiin API 20 NE -testillä (API system S.A. La Balme les Grottes, Montalieu Vercieu, France 1989) ja oksidaasinegatiiviset koliformialustalta eristetyt kannat API 20 E -testeillä (API system S.A. La Balme les Grottes, Montalieu Vercieu, France 1989). Fekaalisten streptokokkien varmistuksessa käytettiin SFS 3014 standardin /26/ mukaan katalaasikoetta ja eskuliinin hydrolyysia sappi-eskuliini-atsidiagarilla.

Syksyn ja talven näytteenottokerroilla eristettiin R2A-maljoilta satunnaisesti 20 - 25 pesäkettä näytettä kohden puhtasviljelmiksi jatkotutkimuksia varten. Puhtasviljelmäkannoille tehtiin gram-värjäys ja oksidaasikoe. Gram-negatiiviset kannat tunnistettiin API 20NE -testillä. Kasvatusaika API 20 NE -testissä oli ohjeesta poiketen 5 - 7 vuorokautta 30°C lämpötilassa. Tämän lisäksi tutkittiin kantojen liikkuvuus kasitoni-hiivauuteagarilla /29/.

kyky hajottaa DNA:ta DNAase test agarilla (Difco 220) ja Tween 80 hydrolyysi laktoosi-hiivauute-kasitoni-kalsiumkloridi-agarilla, johon oli lisätty 1% (v/v) Tween 80 liuosta /29/. Osaa API 20NE -testejä käytettiin hyväksi heterotrofisten bakteerien tunnistuksessa myös Wardin ym./29/ esittämää identifiointisysteemiä sovellettaessa.

Fysikaalis-kemialliset määritykset

Vesinäytteistä määritettiin laboratoriossa vapaa ja kokonaiskloori /30/, nitraatti- /31/, nitriitti- /32/, ammonium- /33/ ja rautapitoisuus /34/ sekä sähkönjohtavuus /35/, pH /36/ ja sameus /37/. Lisäksi vesinäytteistä määritettiin KMnO_4 -luku ja haju /38/ sekä kokonaisorgaaninen hiili, TOC ASTRO M 1850 -analysointilaitteella.

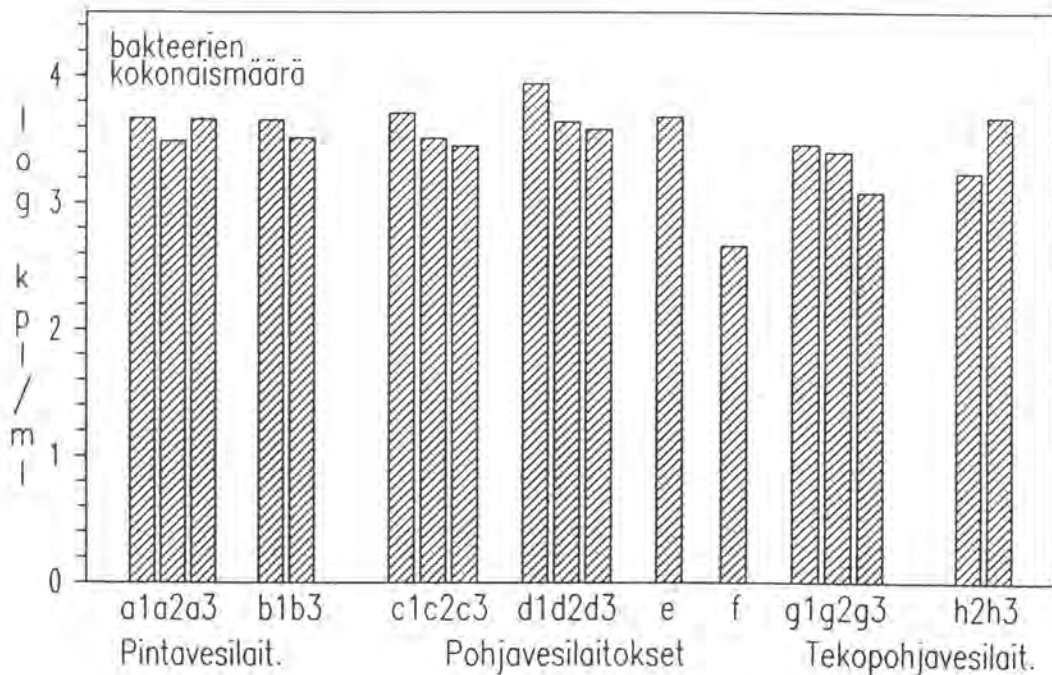
Tilastollinen käsittely

Aineiston tilastollisessa käsittelyssä käytettiin Statistix II ohjelmaa (NH Analytical Software 1987). Mikrokipitoisuuksille tehtiin logaritmuunnos ennen parametrisia testejä.

TULOKSET

Bakteerien kokonaismäärä

Syksyn verkostovesinäytteistä akridiinioranssivärjäyksellä määritetty bakteerien kokonaismäärä on esitetty kuvassa 1. Todetut bakteeripitoisuudet olivat 450-8 700 kpl/ml, mediaani 3 500 kpl/ml. Epifluoresenssimikroskopiaan perustuvan bakteerien kokonaismäärän ja viljeltyjen heterotrofisten bakteerien pesäkeluvun TH- ja R2A-aloilla (22°C) välillä oli tässä aineistossa positiivinen korrelaatio ($r=0.502$ ja $r=0.528$, $p < 0.05$, $n=18$). Sen sijaan vapaan kloorin ja bakteerien kokonaismäärän välillä oli erittäin merkitsevä negatiivinen korrelaatio ($r=-0.739$, $p < 0.001$, $n=18$).



Kuva 1. Bakteerien kokonaismäärä verkostovesissä syksyllä 1989.

Heterotrofiset bakteerit

TH-alustalla 37°C lämpötilassa 48 tuntia viljeltyjen heterotrofisten bakteerien pesäkeluku oli lähes poikkeuksetta alhainen, mediaani 1.0 pmy/ml. Pesäkeluvut olivat välillä 0 - 120 pmy/ml (liite 1-2). Korkein pesäkeluku todettiin laitoksen A verkostopisteessä 3 vesijohtoputkistojen uusimisen yhteydessä. Lääkintöhallituksen yleiskirjeessä nro 1977 esitetty heterotrofisen pesäkeluvun ohje-arvo 10 pmy/ml ylittyi seitsemässä näytteessä, kun tutkittuja näytteitä oli yhteensä 53. Ylityksistä neljä mitattiin vesistä, joita ei desinfioidu ennen verkostoon johtamista.

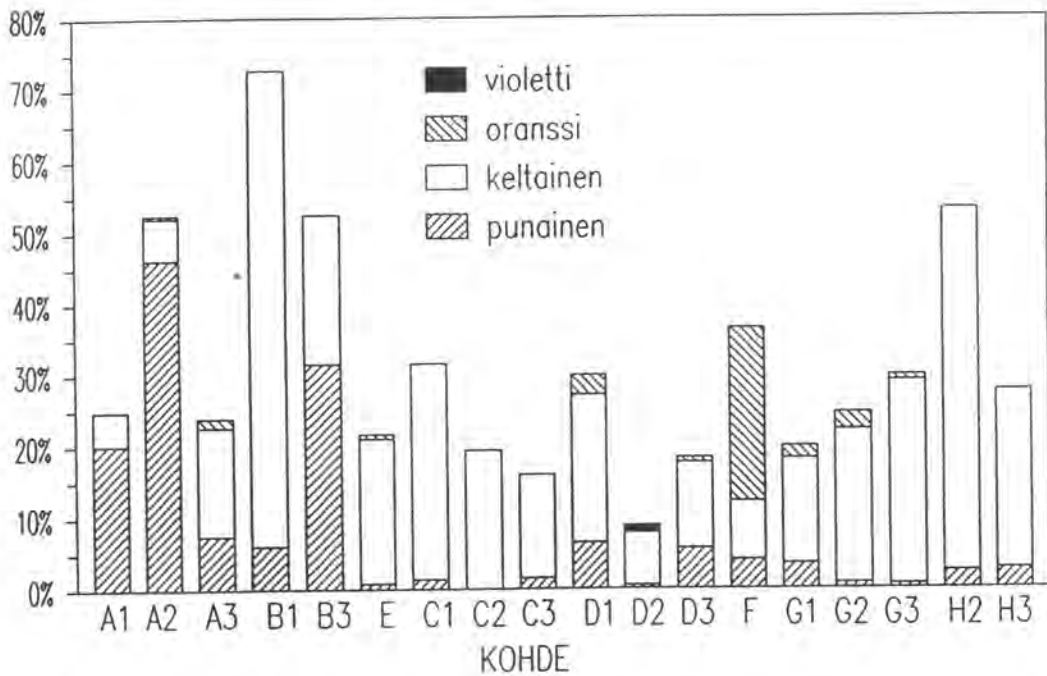
Pintalevitysmenetelmällä määritetyt heterotrofisten bakteerien pesäkeluvut TH- ja R2A-alustoilla 22°C viikon kasvatusajalla on esitetty taulukossa 1. Pesäkeluvut vaihtelivat TH-alustalla välillä 4.5 - 7 100 pmy/ml ja R2A-alustalla välillä 4.5 - 24000 pmy/ml. Suurimmat pesäkeluvut todettiin jälleen laitoksen A näytteessä, joka

otettiin vesijohtoputkien uusimisen yhteydessä. Koko aineistossa heterotrofisen pesäkeluvun mediaani TH-alustalla oli 140 pmy/ml ja R2A-alustalla 325 pmy/ml. R2A-alusta antoi merkitsevästi suurempia pesäkelukuja kuin TH-alusta ($t=8.43$, $P<0.001$). Kyseisten menetelmien antamien pesäkelukujen välillä vallitsi kuitenkin erittäin merkitsevä positiivinen korrelaatio ($r=0.844$, $P<0.001$, $n=52$).

Taulukko 1. Vesijohtovesien heterotrofisten bakteerien pesäkeluvut (pmy/ml) TH- ja R2A-alustoilla (22°C, 7d) eri näytteenotokerroilla.

LAITOS	KOHDE	SYKSY		TALVI		KEVÄT	
		TH	R2A	TH	R2A	TH	R2A
<u>Pintavesilaitos</u>							
A	1	730	1300	380	1900	280	410
	2	770	1000	530	920	200	250
	3	440	840	7100	23800	760	1200
B	1	73	290	5	9	5	5
	3	120	180	23	300	9	510
<u>Pohjavesilaitos</u>							
C	1	73	220	170	260	57	170
	2	110	230	120	150	27	160
	3	300	740	290	460	-	-
D	1	400	520	590	690	190	500
	2	68	560	110	160	36	150
	3	200	330	150	200	100	110
E	2	330	640	300	600	36	640
F	1	5	36	210	280	45	150
<u>Tekopohjavesilaitos</u>							
G	1	430	700	600	700	91	170
	2	320	620	130	310	110	220
	3	750	980	-	-	660	2200
H	2	50	100	68	150	100	320
	3	350	650	82	360	77	140

Heterotrofisten bakteerien pesäkelukujen ohella määritettiin myös pigmentillisten bakteerien osuus eri näyttekoh-teissa (kuva 2). Pintavesilaitoksen A pigmentillisistä bakteereista huomattava osa oli punaisia. Pohjavesi- ja tekopohjavesi-laitosten pigmentillisistä pesäkkeistä enemmistö oli keltaisia.



Kuva 2. Pigmentillisten bakteerien osuus heterotrofisista bakteereista (R2A, 22°C) näyttekohteisissä (eri näytteenotto-kertojen keskiarvo).

Tunnistusta varten R2A-maljoilta eristettiin 842 bakteerikantaa, joista 587 (69 %) kasvoi jatkoviljelyssä. Näistä kannoista 16.8 % oli gram-positiivisia tai gram-variaabeleja kantoja. Eristettyjen kantojen jakautuminen gram- ja oksidaasireaktioiden perusteella on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Verkostovedestä eristettyjen heterotrofisten bakteerikantojen (n= 587) jakautuminen gram- ja oksidaasi reaktion perusteella .

	PINTAVESI-LAITOKSET	POHJAVESI-LAITOKSET	TEKOPOHJAVESI-LAITOKSET
Gram + oks -	6 (3.1%)	19 (8.4%)	8 (4.9%)
Gram + oks +	41 (21.1%)	11 (4.9%)	13 (7.9%)
Gram - oks -	70 (36.1%)	103 (45.4%)	68 (41.5%)
Gram - oks +	77 (39.7%)	96 (41.4%)	75 (45.7%)
yhteensä	194	229	164

API 20 NE testisysteemi identifioi eristetyistä gramnegatiivisista, heterotrofisista bakteerikannoista (n=487 kpl) vain 11 % (luotettavuuskriteeri yli 90 % tunnistustaso). Alhaisemmilla identifiointikriteereillä (tunnistusprosenttien summa >80 %) saatiin tunnistettua 47 % kannoista. Useimmiten tunnistus antoi muutaman suvun lajeja, jotka olisivat vaatineet lisämäärytyksiä tarkempaan erotteluun. Taulukossa 3 on karkea yhteenveto API 20 NE testien perusteella identifioitujen kantojen jakautumisesta eri sukuihin.

Taulukko 3. Eri vesilaitosten verkostoveden heterotrofisten bakteerien sukujakauma API 20 NE tulosten perusteella (tunnistusprosenttien summa >80). Tapauksissa, joissa tunnistus ei selvästi erottele eri sukuja (low discrimination), bakteerikanta on liitetty sukuun, jonka todennäköisyys on suurin.

SUKU	PINTAVESI LAITOKSET	POHJAVESI- LAITOKSET	TEKOPOHJAVESI- LAITOKSET	OSUUS TUNNIS- TETUISTA
<i>Moraxella</i>	19	29	26	32 %
<i>Pseudomonas</i>	17	39	30	37 %
<i>Acinetobacter</i>	4	6	7	7 %
<i>Flavobacterium</i>	2	1	5	3 %
<i>Pasteurella</i> ²	13	14	17	19 %
muu ident. suku	1	2	1	2 %
tunnistettuja kantoja yht. eristettyjä kantoja	56 147	91 197	86 143	233 487

* API 20 NE identifiointi ilmeisen virheellinen.

Myös Wardin ym. /29/ biokemiallisiin reaktioihin perustuva tunnistus olisi vaatinut lisätestejä tarkempiin suku- ja lajimäärytyksiin. Tämän tunnistuksen perusteella noin 36 % eristetyistä kannoista identifioitiin sukutasolle (taulukko 4). Tutkimuksessa käytetyt tunnistusmenetelmät, API 20 NE ja Ward ym. /29/, antoivat suvulleen yhtenevän tuloksen vain noin 12 %:lle kaikista tunnistetuista kannoista.

Taulukko 4. Heterotrofisten, gram-negatiivisten bakteerien jakautuminen suvulleen soveltaen Wardin ym. /29/ esittämää tunnistussysteemiä.

SUKU	PINTAVESI- LAITOKSET	POHJAVESI- LAITOKSET	TEKOPOHJAVESI- LAITOKSET	OSUUS TUNNIS- TETUISTA
<i>Moraxella</i>	21	23	10	31 %
<i>Flavobacterium</i>	11	5	3	11 %
<i>Alcaligenes</i>	4	3	3	6 %
<i>Pseudomonas</i>	2	9	4	9 %
<i>Pseudomonas/ Alcaligenes</i>	10	33	32	44 %
tunnistettuja kantoja yht.	48	73	52	173
eristettyjä kantoja yht.	142	199	143	484

Aeromonas-bakteerit

Aeromonas-bakteereita todettiin kuudessa näytteessä (11%) tutkituista 53 näytteestä. Yhtä näytettä lukuunottamatta positiiviset *Aeromonas*-löydökset olivat syksyn näytteenotokerralta. Vesinäytteiden *Aeromonas*-pitoisuudet olivat <1 - 32 pmy/100 ml (liite 1-2). Kaikki *Aeromonas*-positiiviset näytteet olivat pohjavesilaitosten verkostovesistä.

Aeromonas-bakteerien pitoisuus ei korreloinut merkitsevästi tutkittujen fysikaalis-kemiallisten suureiden kanssa, lukuunottamatta heikkoa negatiivista korrelaatiota veden pH-arvon kanssa ($r = -0.303$, $P < 0.05$, $n = 52$). Sen sijaan *Aeromonas*-pitoisuuden ja koliformisten bakteerien pitoisuuden (mEndo LES) välillä oli tässä aineistossa erittäin merkitsevä positiivinen korrelaatio ($r = 0.751$, $P < 0.001$, $n = 52$). Samoin veden mikrosienten pitoisuus ja heterotrofinen pesäkeluku 37°C lämpötilassa korreloivat positiivisesti *Aeromonas*-bakteerien pitoisuuden kanssa ($r = 0.372$, $P < 0.01$; $r = 0.336$, $P < 0.05$, $n = 52$).

ADA-alustalla tyypillisinä keltaisina pesäkkeinä kasvaneista kannoista tunnistettiin API 20NE -testillä 55, joista 47 kantaa antoi lajimääritykseksi *Aeromonas hydrophila/caviae*. Loput kahdeksan kantaa antoivat API 20 NE profiile-

ja, joissa lajien erottelu jäi epävarmaksi, mutta vaihtoehtoina olivat *Aeromonas hydrophila/caviae* ja *Vibrio*-lajit.

Koliformiset bakteerit

Tyypillisiä koliformipesäkkeitä esiintyi 10 näytteessä (19%) tutkituista 53 näytteestä Les Endo -alustalla. Koliformisten bakteerien pitoisuus vaihteli arvoissa 0 - 240 pmy/100ml (liite 1-2). Colilert-testi osoitti koliformisten bakteerien läsnäolon viidessä näytteessä (14%) tutkituista 35 näytteestä. Koliformisia bakteereja esiintyi desinfioiduista vesistä pintavesilaitoksen A verkostopisteessä 3 vesijohtoputkistojen uusimisen yhteydessä. Vesinäytteen kellertävän värin vuoksi Colilert-tulos oli tällöin epävarma. Koliformisia bakteereja esiintyi lisäksi lähes kaikissa pohjavesilaitos D:n näytteissä.

Koliformisten bakteerien pitoisuus korreloi positiivisesti aeromonasten ($r=0.750$, $P<0.001$, $n=52$) ja mikrosienten ($r=0.565$, $P<0.001$, $n=52$) pitoisuuden sekä heterotrofisen pesäkeluvun 37°C ($r=0.366$, $P<0.01$, $n=52$) kanssa. Merkitsevä negatiivinen korrelaatio vallitsi tässä aineistossa koliformisten bakteerien pitoisuuden ja veden pH-arvon välillä ($r=-0.407$, $P<0.01$, $n=52$).

Colilert-testi ja koliformisten bakteerien määrittäminen Les Endo -agarilla antoivat yhtenevän tuloksen koliformisten bakteerien läsnäolosta 33 näytteellä tutkituista 35 vesinäytteestä. Poikkeavissa näytteissä Colilert-testi joko ei osoittanut koliformien läsnäoloa tai tulos oli veden kellertävän värin vuoksi epävarma. Les Endo -agarilla tehty määrittäminen antoi koliformisten bakteerien pitoisuudeksi edellisessä tapauksessa 1 pmy/100 ml ja jälkimmäisessä 3 pmy/100 ml.

Les Endo-alustalla tyypillisinä koliformipesäkkeinä kasvanneista kannoista tunnistettiin 83 oksidaasi-negatiivista kantaa. Kantojen lajistojakauma API 20E -testin mukaan on esitetty taulukossa 5. Kannoista 22 % jäi tunnistamatta ja 25 % antoi API-profiileja, jotka olisivat vaatineet

lisätestejä lajien erottamiseksi. Valtaosa viimeksi mainituista kannoista oli joko *Enterobacter aerogenes* tai *Serratia fonticola* -lajeja.

Taulukko 5. Verkostovesinäytteistä eristettyjen koliformisten bakteerien (Les Endo) lajitojakauma.

Lajit	K O H T E E T					Yht.
	A3	D1	D2	D3	E2	
<i>Citrobacter freundii</i>		3				3
<i>Enterobacter aerogenes</i>				2		2
<i>Erwinia spp.</i>				1		1
<i>Escherichia coli 1</i>		1				1
<i>Hafnia alvei</i>		2				2
<i>Klebsiella oxytoca</i>		1				1
<i>Klebsiella pneumoniae</i>		3				3
<i>Moellerella wisconsinensis</i>		4	1			5
<i>Morganella morganii</i>		5	4	1		10
<i>Rahnella aquatilis</i>	5	1	1	3		10
<i>Serratia fonticola</i>		4		2		6
koliformeja*		20		1		21
tunnistamattomia		7	1	8	2	18
yhteensä	5	51	7	18	2	83

* API 20E -profiili ei pysty erottamaan lajia (low discrimination), kaikki lajivaihtoehdot koliformeja.

Colilert-testin perusteella yhdessäkään tutkituista 35 näytteestä ei todettu *E. coli* -bakteereja. Les Endo-alustalta eristettyjen koliformikantojen API 20E tunnistuksen perusteella yksi kanta oli *E. coli* 1. Kyseinen kanta eristettiin näytekohteesta D1 talvella otetusta näytteestä.

Pseudomonas aeruginosa -bakteerit

Tutkituissa näytteissä ei todettu yhtään *P. aeruginosa*-bakteereja. Varsinkin kevään näyteenottokerralla pohjavesilaitosten vesistä viljellyillä maljoilla esiintyi epätyypillisiä värittömiä tai vaaleita pesäkkeitä, joista osa tunnistettiin API 20NE testeillä *P. fluorescens* kannoiksi.

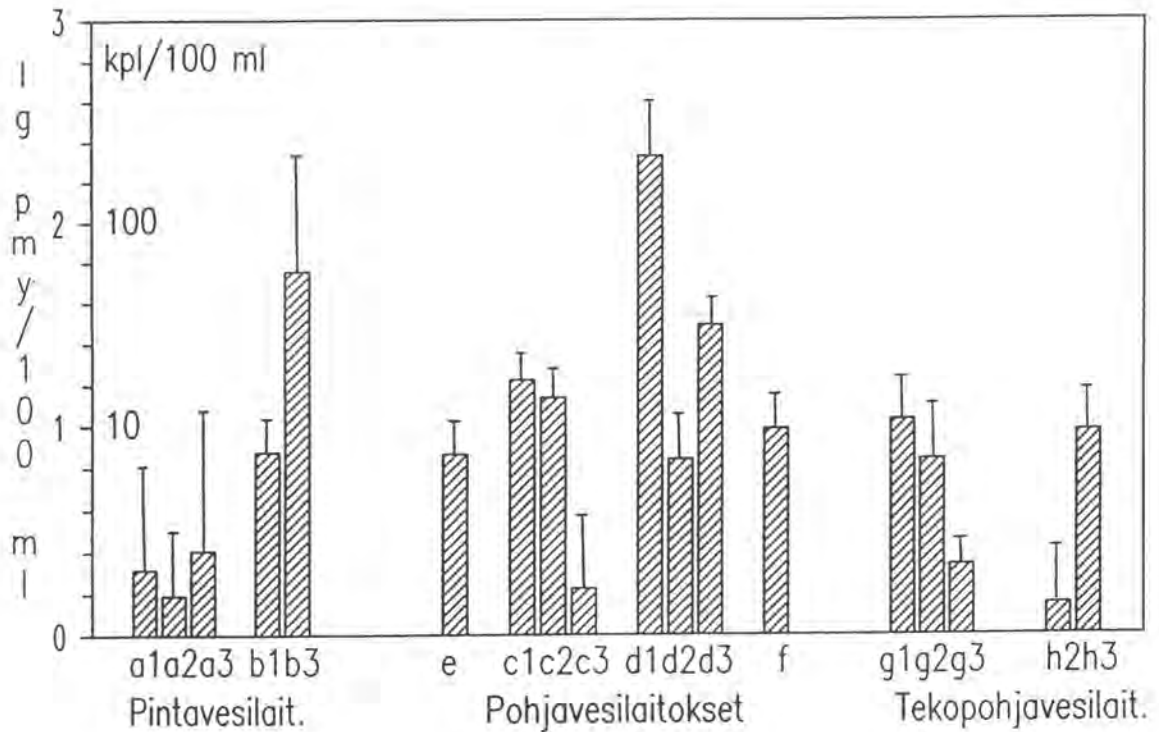
Fekaaliset streptokokit

Tyypillisiä punaisia streptokokkipesäkkeitä todettiin vain yhdessä pohjavesilaitoksen D näytepisteessä 1 syksyn näytteenottokerralla (3 pmy/100 ml). Varmistustesteissä kannat eivät hydrolysoineet eskuliinia 44,5°C lämpötilassa, joten kysymyksessä eivät olleet tarkistuneet fekaaliset streptokokit.

Mikrosienet

Mikrosienten määrittämismenetelmällä saadaan arvio vedessä esiintyvien homerihmojen, -itiöiden ja hiivojen pesäkkeitä muodostavien yksiköiden määrästä. Tutkituissa vesijoh-tovesinäytteissä rihmamaisia homeita esiintyi yleisesti (45/53), sen sijaan hiivoja todettiin vain 10 näytteessä tutkituista 53 näytteestä. Hiivoja osoitettiin pohja- ja tekopohjavesilaitosten verkostovesistä. Hiivapitoisuudet olivat lähes poikkeuksetta alle 10 pmy/100 ml (tuloksia ei esitetty).

Mikrosienten pitoisuus eri näytepisteissä on esitetty kuvassa 3. Pintavesilaitosten verkostonäytteissä mikrosienten pitoisuuden geometrinen keskiarvo oli 4.1 pmy/100 ml, pohjavesilaitosten 14 pmy/100 ml ja tekopohjavesilaitosten 4.6 pmy/100 ml. Suurimmat pitoisuudet esiintyivät pohjavesilaitoksen D näytepisteessä 1, jossa kullakin tutkimuskerralla pitoisuus oli yli 100 pmy/100 ml. Vähiten homepesäkkeitä kasvoi pintavesilaitos A:n verkostopisteissä. Mikrosienten pitoisuus korreloi positiivisesti aeromonasten ja koliformisten bakteerien kanssa ($r=0.369$, $p<0.001$; $r=0.606$, $p<0.001$, $n=52$). Sen sijaan mikrosienten ja eri menetelmillä määritettyjen heterotrofisten bakteerien pesäkeluvun kanssa ei todettu merkitsevää korrelaatiota.



Kuva 3. Mikroosienten pitoisuus logaritmeina eri näytepisteissä (kolmen näytteen keskiarvo ja keskihajonta).

Mikroosienten esiintymisfrekvenssi eri laitosten verkostovesissä on esitetty taulukossa 6, kuten myös /39/ Ruotsissa vesilaitosten lähtevästä vedestä samalla menetelmällä toteamat mikroosienten esiintymisfrekvenssit.

Taulukko 6. Näytteiden jakautuminen mikroosienten pitoisuuden (pmy/100 ml) perusteella.

pmy/100 ml	PINTAVESI		POHJAVESI		TEKOPOHJAVESI	
	Suomi _a	Ruotsi _b	Suomi	Ruotsi	Suomi	Ruotsi
<1	5 (33%)	6 (23%)	1 (4%)	7 (12%)	2 (13%)	2 (14%)
1-9	6 (40%)	14 (54%)	8 (35%)	27 (47%)	9 (60%)	5 (36%)
10 - 99	3 (20%)	6 (23%)	11 (48%)	20 (35%)	4 (27%)	6 (43%)
≥ 100	1 (7%)		3 (13%)	3 (5%)		1 (7%)
yhteensä	15	26	23	57	15	14

a = tämän tutkimuksen aineisto
b = Åkerstrand /39/

Fysikaalis-kemialliset tulokset

Verkostovesinäytteiden fysikaalis-kemialliset tulokset on esitetty liitteessä 3-4. Vapaan kloorin pitoisuus oli pohjavesilaitoksen F näytteitä lukuunottamatta alle määrittysrajan. Muilla desinfiointia suorittavista laitoksista oli käytössä kloramiinidesinfiointi. Kokonaiskloorin pitoisuus tutkituissa desinfioiduissa vesissä oli keskimäärin 0.19 mg/l, maksimipitoisuus 0.49 mg/l.

Nitraattipitoisuus oli alhainen, <1 - 3 mg/l, lukuunottamatta laitoksen G eräitä verkostovesinäytteitä, joissa nitraattipitoisuus oli 8 - 12 mg/l. Nitriittiä todettiin hieman kloramiinidesinfiointia käyttävien laitosten verkostovesissä. Samoissa kohteissa todettiin myös ammoniumia kloramiinidesinfiointin seurauksena.

Veden orgaanisen aineen määrän mittaamiseen käytettiin permanganaattilukua (KMnO_4 -luku) ja kokonaisorgaanisen hiilen määritystä. Kyseisten menetelmien antamien tulosten välillä vallitsi erittäin merkitsevä positiivinen korrelaatio ($r=0.906$, $P<0.001$, $n=52$). Orgaanisen hiilen pitoisuuden keskiarvo pohjavesilaitosten verkostossa oli 1.1 mg/l, tekopohjavesilaitosten verkostovedessä 1.4 mg/l ja pintavesilaitosten vedessä 2.7 mg/l. Orgaanisen aineen keskimääräinen pitoisuus permanganaattiluvun perusteella arvioituna oli pohjavesilaitosten verkostovedelle 3.0 mg/l, tekopohjavesilaitosten verkostovedelle 4.2 mg/l ja pintavesilaitosten verkostovedelle 6.5 mg/l. Veden orgaanisen aineen määrän ja tutkittujen bakteeriryhmien välillä ei todettu merkitsevää korrelaatiota.

Verkostovesien rautapitoisuus ylitti talousvedelle annetun ohjearvon 0.2 mg/l kahdessa näytteessä, joista toinen oli jälleen laitoksen A kohde 3. Tässä kohteessa vesijohtoputkiston uusiminen näkyi paitsi korkeana rautapitoisuutena (1.7 mg/l) myös voimakkaana sameutena (7.2 FTU).

TULOSTEN TARKASTELU

Bakteerien kokonaismäärä

Verkostovesinäytteissä bakteerien kokonaismäärä oli 100-1 000 kertaa alhaisempi kuin norjalaisissa /5/ ja yhdysvaltalaisissa verkostovesissä /40/. Suoran mikroskooppilaskennan antamat tulokset olivat lähes 2 000 -kertaiset heterotrofisten bakteerien 37 °C pesäkelukuihin ja 10-kertaiset 22 °C (R2A) pesäkelukuihin verrattuna. Kirjallisuudessa on raportoitu myös huomattavasti suurempia suoran laskennan ja pesäkelukujen välisiä eroja kuin tässä tutkimuksessa todetut /5,40/. Osan veteen joutuneista bakteereista on todettu menettävän kyvyn kasvaa pesäkkeiksi ravintoalustoilla, vaikka huomattava määrä kyseisistä bakteereista säilyykin elossa vedessä /41,42/. Näihin eläviin mutta ei-viljeltäviin bakteereihin kuuluvat monet veden välityksellä tauteja-aiheuttavat bakteerit sekä ulosteperäiset indikaattoribakteerit. Sen sijaan eräiden *Pseudomonas*-lajien on todettu viihtyvän hyvin vesijohtovedessä ja säilyttävän kykynsä muodostaa pesäkkeitä viljelyalustoilla /42/. Viljelymenetelmällä saatu kuva veden hygieenisestä laadusta ei välttämättä kuvasta todellista tilannetta. Miten suuri riski tämä on vedenkäyttäjille, on tutkimuksen alla oleva asia eri puolilla maailmaa.

Heterotrofiset bakteerit

R2A-alustalla saatiin tässäkin tutkimuksessa merkittävästi suurempia pesäkelukuja kuin standardimenetelmällä. Tosin 22°C heterotrofiset pesäkeluvut olivat vain sadasosan LeChevallierin ym. /8/ raportoimista ja noin kymmenesosa kanadalaisten raportoimista pesäkeluvuista vastaavalla menetelmällä /43/. Myös 37°C pesäkeluvut olivat alhaisempia kuin kanadalaisissa /43/ tai yhdysvaltalaisissa tutkimuksissa /8/, mutta samaa suuruusluokkaa kuin norjalaisissa vesissä /5/.

Heterotrofisten bakteerien lajistosta valtaosa kuului gram-negatiivisiin bakteereihin, kuten *Pseudomonas*- (ei

aeruginosa), *Moraxella*-, *Flavobacterium*- ja *Alcaligenes*-suvun lajeihin. Käytetyt identifiointimenetelmät olivat puutteellisia, sillä yli puolet eristetyistä kannoista jäi tunnistamatta. Lisäksi varsinkin API 20 NE tunnistuksen mukainen *Pasteurella*-tunnistus oli ilmeisen virheellinen. Tunnistus perustui usein vain muutamaan positiiviseen reaktioon testatuista 21 testistä. *Pasteurella*-suvun lajeja tavataan tyypillisesti nisäkkäiden ja lintujen hengitysteissä ja ruuansulatuskanavassa, ei niinkään vesiympäristössä /44/. Pintavesilaitoksen A verkostovedessä varsinkin syksyn ja talven näytteissä esiintyneet gram-variabelit, oksidaasi-negatiiviset punaisia pesäkkeitä muodostaneet kannat kuuluivat teetetyin rasvahappoanalyysin perusteella *Methylobacterium*-sukuun. Kyseiset lajit ovat yleisiä luonnossa ja käyttävät yksihillisiä yhdisteitä, kuten formaattia, formaldehydiä ja metanolia, hiilen ja energian lähteenä /45/. Otsonoinnin seurauksena tutkittujen pintavesilaitosten verkostovedessä saattoi esiintyä em. orgaanisia yhdisteitä, mikä selittäisi punaisia pesäkkeitä muodostavien kantojen yleisyyden verrattuna pohja- ja tekopohjavesilaitosten vesiin.

Aeromonas-bakteerit

Aeromonas-esiintyminen tutkituissa verkostovesinäytteissä oli vähäistä ja todetut pitoisuudet olivat huomattavasti alle Hollannissa käytössä olevan verkostovesiä koskevan ohjearvon 200 pmy/100ml tai terveydellistä vaaraa indikoivaa raja-arvoa 1000 pmy/100 ml /46/. *Aeromonas*-toteaminen vain pohjavesilaitosten verkostovesissä oli yllättävää, koska ulkomaisten tutkimusten mukaan *aeromonaksia* on esiintynyt useammin ja suurempia pitoisuuksia pintavesilaitosten kuin pohjavesilaitosten vesissä /47, 48/. Toisaalta tutkimuksessa mukana olleiden pintavesilaitosten vedenkäsittely oli tehokasta verrattuna keskimääräiseen pintavedenkäsittelyyn Suomessa ja veden orgaanisen aineen pitoisuus oli alhainen. Laitosten raakavesissä ei esiintynyt tutkimusaikana voimakkaita leväesiintymiä, joiden hajotuksessa *aeromonaksilla* on tärkeä osuus /49/. *Aeromonakset* ovat suhteellisen herkkiä desinfiointiai-

neille /50, 51/, mikä toisaalta selittää niiden esiintymättömyyden tutkittujen pintavesilaitosten verkostovesissä.

Tässä aineistossa ei havaittu merkitsevää korrelaatiota aeromonasten ja veden lämpötilan välillä. Tosin aeromonaksia todettiin näytteissä yhtä poikkeusta lukuunottamatta vain syksyn näytteenottokerralla, jolloin vedet olivat lämpimimmillään. Australialaisissa tutkimuksissa aeromonasten esiintyminen oli yhteydessä veden yli 14.5 °C lämpötilaan /47/. Lämpimimpänä kesäaikana pintavesistä valmistettujen vesijohtovesien lämpötila ylittää Suomesakin kyseisen rajan. Tällöin myös osassa pintavesilaitosten raakavesiä esiintyy runsaasti levää, joten edellytykset aeromonasten esiintymiseen myös vesijohtovedessä ovat olemassa.

Toisin kuin tässä aineistossa Burken ym. /47/ tutkimuksissa ei havaittu korrelaatiota vesijohtoveden koliformisten bakteerien ja aeromonasten esiintymisen välillä. Lisäksi australialaisissa verkostovesissä aeromonasten esiintyminen oli yleisempää kuin koliformisten bakteerien /47,52/.

Koliformiset bakteerit

Koliformisten bakteerien esiintyminen pintavesilaitoksen A verkostopisteessä 3 vesijohtoputkien uusimisen yhteydessä lienee seurausta putken seinämille kertyneiden mikrobikasvustojen irtautumisesta veteen. Kyseisen näytteen heterotrofisten bakteerien pitoisuus oli huomattavan korkea, samoin veden sameus. Vesijohtoputkien seinämien saostumis- ja limakerrostumissa bakteerimäärät ovat moninkertaiset vapaaseen veteen verrattuna ja niissä on todettu myös koliformisia bakteereja /8,11,12/. Tässä tutkimuksessa vesinäytteestä eristetyt koliformiset bakteerit olivat *Rahnella aquatilis* -lajia, joka ei kuulu ulosteperäisiin koliformisiin bakteereihin.

Pohjavesilaitoksen D näytepisteessä 1 esiintyi koliformisia bakteereja kaikilla näytteenottokerroilla, mutta *E. coli* -bakteereja todettiin vain kerran. Näytepisteen

vesi oli peräisin ottamolta, jonka pohjavesi oli soranoton seurauksena osin avoimena. Koliformisten bakteerien määrä ja lajisto osoittivat selvää pintavesien vaikutusta (taulukko 5) toisin kuin veden fysikaalis-kemiallinen laatu (liite 3-4). Myös muissa laitoksen D verkostopisteissä esiintyi koliformisia bakteereja mutta alhaisempina pitoisuuksina kuin näytepisteessä 1. Vaikka suoranaista uloste peräistä saastutusta ei ollut osoitettavissa kuin yhdessä näytteessä, ovat kyseisen pohjavesilaitoksen vedet alttiina saastutukselle eikä vettä voida näin ollen pitää laadultaan turvallisena juomavetenä. Ottamon jakamaa vettä on tämän tutkimuksen jälkeen ryhdytty desinfiioimaan.

Koliformisten bakteerien määrittäminen Les Endo -alustalla ja Colilert-testillä antoi yhtenevän tuloksen koliformisten bakteerien esiintyvyydestä 33 näytteellä (94 %) 35 tutkittuista näytteestä. Tuloksiltaan poikkeavissa näytteissä Les Endo -alustalla kasvoi vain muutamia koliformisia bakteereja (*Rahnella aquatilis*) 100 ml:ssa, kun taas Colilert-testi ei osoittanut koliformien läsnäoloa. Sattuma voi näissä tapauksissa selittää tulosten poikkeavuuden. Käytettyjen koliformisten bakteerien määrittämenetelmien yhtenevyys on muissakin tutkimuksissa ollut yli 90 % /53, 54/. Sen sijaan *E. coli*n osoituksessa mFC-agar on antanut desinfioiduissa vesissä enemmän positiivisia tuloksia kuin Colilert-testi/55/. Luonnonvesissä ja desinfiomattomissa vesissä menetelmien välillä ei ole ollut eroja *E. coli*n osoituksessa. Tässä tutkimuksessa todettiin vain yksi *E. coli* kalvosuodatusmenetelmällä 200 ml:n näytteessä. Vastaavassa 100 ml:n näytteessä Colilert-testi ei osoittanut *E. coli*n läsnäoloa. Menetelmien vertailua *E. coli*n osalta ei siten tässä tutkimuksessa voitu suorittaa.

Pseudomonas aeruginosa -bakteerit

Vaikka *Pseudomonas*-suvun bakteerit olivat yleisiä tutkituissa verkostovesissä, *P. aeruginosa* -lajia ei havaittu. Tulos on yhdenmukainen vastaavien kanadalaisten verkostovesitutkimusten kanssa /43/. *P. aeruginosa* -bakteerit

ovat aiheuttaneet iho-, silmä-, hengitystie- ja virtsatieinfektioita yleiskunnoltaan heikentyneille ihmisille varsinkin uima-allasvesien välityksellä /56, 57/. Lajin esiintyminen verkostovesissä lienee satunnaista, mutta sillä on periaatteessa hyvät lisääntymisedellytykset hyvinkin vähäravinteisessa vedessä ja erilaisten veden kanssa kosketuksissa olevien materiaalien pinnalla /6, 13/. Tästä syystä *P. aeruginosa* -bakteereja saattaa esiintyä ajoittain verkostokohteissa ja kiinteistöjen vesijärjestelmissä, joissa vesi seisoo ja desinfiointiaineiden määrä on vähäinen tai olematon.

Fekaaliset streptokokit

Tutkitut verkostovedet eivät fekaalisten streptokokkien määrityksen perusteella olleet ulosteperäisen saastutuksen kohteena. Fekaalisten streptokokkien on todettu sietävän desinfiointia paremmin ja säilyvän vedessä pitempään kuin koliformisten bakteerien, mutta ainakaan tässä aineistossa määritys ei antanut lisäinformaatiota koliformisiin bakteereihin verrattuna.

Mikrosienet

Tässä tutkimuksessa todetut tekopohjavesilaitosten verkostoveden mikrosienipitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa kuin mesofiilisten homeiden pitoisuudet lääkintöhallituksen ja vesihallituksen vuonna 1979 tekemässä pintavesilaitoksia ja tekopohjavesilaitoksia koskevassa tutkimuksessa /58, 59/. Kemiallista saostusta käyttävien pintavesilaitosten verkostoveden mikrosienipitoisuudet olivat e.m. tutkimuksessa pienemmät, varsinkin laitoksen B osalta, kuin tässä tutkimuksessa todetut. Åkerstrandin /39, 60/ ruotsalaisia vesilaitoksia koskevissa tutkimuksissa on todettu samaa suuruusluokkaa olevia mikrosienten pitoisuuksia pinta-tekopohjavesi- ja pohjavesilaitosten laitokselta lähtevässä vedessä ja verkostovedessä kuin tässä tutkimuksessa (taulukko 6). Viimeksi mainituissa tutkimuksissa käytettiin myös samaa viljelymenetelmää kuin tässä tutkimuksessa.

Pohjavesilaitosten verkostovesissä esiintyi mikrosieniä useammin ja hieman korkeampia pitoisuuksia kuin pintavesilaitosten verkostovesissä. Maaperän runsaasta homekasvustosta huuhtoutuu itiöitä tai rihmanpätkiä pohjavesiin ja koska vettä ei yleensä ole tarvetta käsitellä, mikrosieniä todetaan myös verkostovedestä. Pintavesissä esiintyvät korkeat homesienipitoisuudet laskevat huomattavasti kemiallisessa saostuksessa, minkä vuoksi pintavesilaitosten verkostovesissä homesienten esiintyminen on vähäisempää /58/.

Tässä tutkimuksessa pintavesilaitoksen B näytteenottopisteet otettiin tutkimukseen, koska terveystoimikunnille oli valittu vesijohtoveden homekaisesta hajusta. Varsinkin näytepisteen 3 homesienipitoisuudet syksyn ja talven näytteenoton yhteydessä (53 ja 210 kpl/100 ml) olivat korkeammat kuin laitoksen vedenkäsittelyn perusteella olisi ollut oletettavaa. Eri tutkimuksissa vedenkäsittelyltään vastaavien pintavesilaitosten vedessä on esiintynyt yleensä alle 10 pmy/100 ml pitoisuuksia /39, 58, 61/. Kyseisellä verkostoalueella olosuhteet olivat todennäköisesti edulliset homesienien lisääntymiselle. Ruotsin juomavesinormien /22/ mukaan pitoisuudet 35 - 100 kpl/100 ml saattavat jo edellyttää toimenpiteitä, jos haju- tai makuongelmia vedessä on todettu. Mikrosienipitoisuuksia (>1 000 kpl/100 ml), joiden on Holmbergin /21/ mukaan todettu aiheuttavan iho- tai limakalvoärsytystä, ei tässä tutkimuksessa havaittu.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkittujen kuuden vesilaitoksen verkostovesistä yhden pohjavesilaitoksen vesi ei täyttänyt talousveden laatuvaatimuksia. Verkostovesien heterotrofisten bakteerien pitoisuudet olivat keskimäärin melko alhaisia verrattuna ulkomaisiin vastaaviin tutkimuksiin. Tosin tässä tutkimuksessa mukana olleiden laitosten veden orgaanisen aineen määrä oli melko alhainen verrattuna varsinkin pienten pintavesilaitosten veden orgaanisen aineen määriin, joissa

KMnO₄-luku oli > 16 mg/l yli 34 %:ssa tuloksista vuonna 1987 /4/.

Heterotrofisten bakteerien pitoisuudet vaihtelivat samankin laitoksen eri verkostokohteissa enemmän kuin raakavedeltään ja vedenkäsittelyltään erilaisten laitosten välillä. Pintavesilaitosten verkostovesissä todettiin punaisia pesäkkeitä muodostavia bakteereja (*Methylobacterium*) enemmän kuin pohja- ja tekopohjavesilaitosten verkostossa.

Potentiaalisesti patogeenisia *Pseudomonas aeruginosa*-bakteereja ei verkostovesissä todettu ja *Aeromonas hydrophila/caviae*-bakteereja esiintyi vain osassa kohteita ja tällöinkin melko vähäisessä määrin. Tosin viimeksi mainittujen bakteerien esiintyminen verkostovesissä on periaatteessa mahdollista vesien ollessa lämpimämpiä kuin tässä tutkimuksessa (yli 15°C).

Koliformisten bakteerien esiintyminen pohjavesilaitoksen desinfioimattomassa vedessä oli herkkä pintavesivaikutuksen ilmentäjä. Koliformiset bakteerit saattavat myös olla merkinä voimakkaasta bakteerikasvusta putkien seinämillä ja saostumissa. Seinämillä kasvavien bakteerien vapautuminen veteen putkistojen uusimisen tai paineenvaihteluiden seurauksena näkyi sekä veden mikrobiologisten (heterotrofinen pesäkeluku, koliformiset bakteerit) että kemiallisten (rauta, sameus) määritysten tuloksissa.

Homeiden tai sädesienten aiheuttamat haju- ja makuhaitat verkostovesissä ovat mahdollisia, vaikka tässä tutkimuksessa homeiden määrät olivat useimmiten melko pieniä ja sädesieniä todettiin vain satunnaisesti heterotrofisen pesäkeluvun viljelyn yhteydessä. Homeiden ja sädesienten määrittämiseen verkostovesistä on tarpeen käyttää kalvosuodattukseen perustuvia selektiivisiä viljelymenetelmiä, koska haju- ja makuongelmia saattaa esiintyä alle 100 pmy/100 ml pitoisuuksissakin. Tällöin heterotrofisen pesäkeluvun määrittäminen ei vielä välttämättä osoita ko. organismien yleistymistä.

Koliformisten bakteerien ja heterotrofisen pesäkeluvun määrittäminen riittää antamaan yleiskuvan verkostoveden mikrobiologisesta laadusta. Haju- ja makuhäiriöiden tai kohonneiden heterotrofisten pesäkelukujen tapauksissa mikrobiologisten määrittäysten valikoiman laajentaminen mikrosienten, sädesienten ja aeromonasten määrittäyksillä puoltaa paikkaansa.

KIITOKSET

Tutkimus suoritettiin Helsingin kaupungin ympäristölaboratoriossa. Verkostovesinäytteiden otosta vastasivat Helsingin, Espoon, Tuusulan, Hyvinkään ja Hangon terveystarkastajat sekä Kuopion vesilaitos. Mikrobiologisista ja kemiallisista määrittäyksistä laboratoriossa huolehtivat Kimmo Kuusinen, Pirjo Ovaska sekä Helga Heikura. Orgaanisen hiilen määrittäyksistä vastasi puolestaan kemisti Eira Toivanen Helsingin kaupungin vesi- ja viemärlaitokselta. Tutkimusryhmä esittää parhaat kiitöksensä kaikille tutkimukseen osallistuneille innostuneesta ja aktiivisesta työpanoksesta.

KIRJALLISUUS

1. Vesi- ja ympäristöhallitus 1988. Vesihuoltolaitokset 31.12.1987. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja 28. Helsinki. 342 s.
2. Lääkintöhallitus 1991. Talousveden terveydellisen laadun valvonta. Lääkintöhallituksen yleiskirje nro 1977. 45 s.
3. Lahti, K. 1991. Vesiepidemiat Suomessa vuosina 1980-1990. Vesitalous 5:30-32.
4. Vesi- ja ympäristöhallitus 1989. Vesilaitosten veden laatu 1987. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja 39. Helsinki. 216 s.
5. Ormerod, K. 1987. Heterotrophic microorganisms in distribution systems for drinking water. *Water* 43: 262-268.
6. Cliver, D.O. & R.A. Newman (eds.) 1984. Drinking water microbiology. Committee on the challenges of modern society (NATO/CCMS). Drinking water project series. CCMS 128. EPA 570/9-84-006. 545 s.
7. Olson, B.H. & L.A. Nagy 1984. Microbiology of potable water. *Adv. Appl. Microbiol.* 30: 73-132.
8. LeChevallier, M.W., T.M. Babcock & R.G. Lee 1987. Examination and characterization of distribution system biofilms. *Appl. Environ. Microbiol.* 53(12): 2714-2724.
9. LeChevallier, M.W., C.D. Cawthon & R.G. Lee 1988. Factors promoting survival of bacteria in chlorinated water supplies. *Appl. Environ. Microbiol.* 54(3):649-654.
10. Ridgway, H.F. & Olson, B.H. 1981. Scanning electron microscope evidence for bacterial colonization of a drinking water distribution system. *Appl. Environ. Microbiol.* 41:274-287.
11. Tuovinen, O.H. & J.C. Hsu 1982. Aerobic and anaerobic microorganisms in tubercles of the Columbus, Ohio, water distribution system. *Appl. Environ. Microbiol.* 44:761-764.
12. Herson, D.S., D.R. Marshall, K.H. Baker & H.T. Victoreen 1991. Association of microorganisms with surfaces in distribution systems. *J. Am. Water Works Assoc.* 83:103-106.

13. Colbourne, J.S. 1985. materials usage and their effects on the microbiological quality of water supplies. *J. Appl. Bact. Symp. Suppl.* s.47s-59s.
14. LeChevallier, M.W., W. Schulz & R.G. Lee 1991. Bacterial nutrients in drinking water. *Appl. Environ. Microbiol.* 57(3):857-862.
15. Van der Kooij, D. 1990. Assimilable organic carbon (AOC) in drinking water. *Teoksessa Drinking water microbiology (toim. McFeters, G.A.)*. s. 57-87.
16. Wolfe, R.L., N.I. Lieu, G. Izaguirre & E.G. Means 1990. Ammonia-oxidizing bacteria in a chloraminated distribution system: Seasonal occurrence, distribution and disinfection resistance. *Appl. Environ. Microbiol.* 56(2):451-462.
17. Schoenen, D. & M. Schöler 1985. *Drinking water materials: Field observations and methods of investigations*. Chichester, England. Ellis Horwood Ltd. 195 s.
18. Colbourne, J.S, D.J. Pratt, M.G. Smith, S.P. Fisher-Hoch & D. Harper 1984. Water fittings as sources of *Legionella pneumophila* in a hospital plumbing system. *Lancet* 28.1.1984 s.210-213.
19. Payment, P., E. Franco, L. Richardson & J. Siemiatycki 1991a. Gastro-intestinal health effects associated with the consumption of drinking water produced by point-of-use domestic reverse-osmosis filtration units. *Appl. Environ. Microbiol.* 57(4): 945-948.
20. Payment, P., L. Richardson, J. Siemiatycki, R. Dewar, M. Edwardes & E. Franco 1991b. A randomized trial to evaluate the risk of gastrointestinal disease due to consumption of drinking water meeting current microbiological standards. *Am. J. Public Health* 81:703-708.
21. Holmberg, K. 1986. Allergiframkallande mikrosvampar i dricksvatten. *Vår Föda* 38(1): 21-30.
22. Statens livsmedelsverk 1989. Statens livsmedelsverks kungörelse om dricksvatten. Statens livsmedelsverks författningssamling, SLV FS 1989:30. 45 s.
23. SFS4112.1985. Heterotrofisen pesäkeluvun määritysvesinäytteestä maljavalu- ja pintalevitystekniikalla. 2. painos Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto. 7 s.
24. Reasoner, D.J & E.E. Geldreich 1985. A new medium for the enumeration and subculture of bacteria from potable water. *Appl. Environ. Mibrobiol.* 49: 1-7.
25. Havelaar, A.H., M. During & J.F.M. Versteegh 1987. Ampicillin-dekstrin agar medium for the enumeration of *Aeromonas* species in water by membrane filtration. *J. Appl. Bact.* 62: 279-287.

26. SFS3014.1984. Veden fekaalisten streptokokkien lukumäärän määrittäminen pesäkemenetelmällä. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto.
27. SFS 5507.1989. Vesitutkimukset. Mikrosienten määrittäminen kalvosuodatusmenetelmällä. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto.
28. SFS 3016. Veden koliformisten bakteerien kokonaismäärän määrittäminen kalvosuodatusmenetelmällä. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto.
29. Ward, N.R., R.L. Wolfe, C.A. Justice & B.H. Olson 1986. The identification of gram-negative, non-fermentative bacteria from water: problems and alternative approaches to identification. Adv. Appl. Microbiol. 31: 293-365.
30. SFS 3041. 1987. Veden aktiivisen kloorin määrittäminen. Fotometrinen menetelmä. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto.
31. APHA, AWWA, WPCF 1985. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington D.C. 16 ed. 1268 s.
32. SFS 3029. 1976. Veden nitriittityypin määrittäminen. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto.
33. SFS 3032.1976. Veden ammoniumtyypin määrittäminen. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto.
34. SFS 3028. 1976. Veden raudan määrittäminen. Fotometrinen menetelmä. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto.
35. SFS3022.1974. Vedensähkönjohtavuuden määrittäminen. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto.
36. SFS 3021.1974. Veden pH:n mittaaminen. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto.
37. SFS 3024.1974. Veden sameuden nefelometrinen määrittäminen. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto.
38. Anon 1969. Juoma- ja talousveden tutkimusmenetelmät. Elintarviketutkijainseura. Helsinki. 169 s.
39. Åkerstrand, K. 1987. Dricksvattenkvalitet och hälsa. Statens livsmedelsverk, brev 18.2.1987 Dnr 1735/84. 10 s.
40. Maki, J.S., S.J. LaCroix, B.S. Hopkins & J.T. Staley 1986. Recovery and diversity of heterotrophic bacteria from chlorinated drinking waters. Appl. Environ. Microbiol. 51 (5): 1047-1055.
41. Rollins, D.M. & R.R. Colwell 1986. Viable but nonculturable stage of *Campylobacter jejuni* and its role in survival in the natural aquatic environment. Appl. Environ. Microbiol. 52:531-538.

42. Byrd, J.J., H.- S. Xu & R.R. Colwell 1991. Viable but nonculturable bacteria in drinking water. *Appl. Environ. Microbiol.* 57(3):875-878.
43. Payment, P., F. Gamache & G. Paquette 1989. Comparison of microbiological data from two water filtration plants and their distribution system. *Wat.Sci. Tech.* 21(3):287-289.
44. Lo, R.Y.C. & P.E. Shewen 1991. The genus *Pasteurella*. Kirjassa *The Prokaryotes* (toim. Balows, A., H.G. Trüber, M. Dworkin, W. Harder & K-H. Schleifer). Springer Verlag. Vol. 4: 3331-3338.
45. Green, P.N. 1991. The genus *Methylobacterium*. Kirjassa *The Prokaryotes* (toim. Balows, A., H.G. Trüber, M. Dworkin, W. Harder & K-H. Schleifer). Springer Verlag. Vol. 3: 2342-2349.
46. Knochel, S. 1988. *Aeromonas* - et nyt problem inden for vandhygiejnen? *Dansk Vet. Tidsskr.* 71: 635-643.
47. Burke, V., J. Robinson, M. Gracey, D. Peterson & K. Partridge 1984 a. Isolation of *Aeromonas hydrophila* from Metropolitan water supply: seasonal correlation with clinical isolates. *Appl. Environ. Microbiol.* 48(2): 361-366.
48. Schubert, R.H.W. 1991. *Aeromonads* and their significance as potential pathogens in water. *J. Appl. Bact. Symp. Suppl.* 70: 131s-135s.
49. Van der Kooij, D & W. A. M. Hijnen 1988. Nutritional versatility and growth kinetics of an *Aeromonas hydrophila* strain isolated from drinking water. *Appl. Environ. Microbiol.* 54(11): 2842-2851.
50. Knochel, S. 1991. Chlorine resistance of motile *Aeromonas* spp. *Wat.Sci.Tech.* 24(2): 327-330.
51. Medema, G. J., E. Wondergem, A. M. van Dijk-Looyaard & A. H. Havelaar 1991. Effectivity of chlorine dioxide to control *Aeromonas* in drinking water distribution systems. *Wat. Sci. Tech.* 24(2): 325-326.
52. Burke, V., J. Robinson, M. Gracey, D. Peterson, N. Meyer & V. Haley 1984b. Isolation of *Aeromonas* spp. from an unchlorinated domestic water supply. *Appl. Environ. Microbiol.* 48(2): 367-370.
- 53.. Lewis, C.M. & J.L. Mak 1989. Comparison of membrane filtration and autoanalysis Colilert presence-absence techniques for analysis of total coliforms and *Escherichia coli* in drinking water samples. *Appl. Environ. Microbiol.* 55 (12):3091-3094.
54. Olson, B.H., D.L. Clark, B.B. Milner, M.H. Stewart & R.R. Wolfe 1991. Total coliform detection in drinking water: Comparison of membrane filtration with Colilert and Coliquick. *Appl. Environ. Microbiol.* 57(5):1535-1539.

55. Clark, D.L., B.B. Milner, M.H. Stewart, R.L. Wolfe & B.H. Olson 1991. Comparative study of commercial 4-methylumbelliferyl-a-D-glucuronide preparations with the Standard Methods membrane filtration fecal coliform test for the detection of *Escherichia coli* in water samples. *Appl. Environ. Microbiol.* 57:1528-1534.
56. Havelaar, A.H., M. Bosman & J. Borst 1983. Otitis externa by *Pseudomonas aeruginosa* associated with whirlpools. *J. Hyg. Camb.* 90:489-498.
57. Olivieri, V.P. 1985. Human pathogens, disinfection and chlorine. *Teoksessa Water chlorination. Chemistry, environmental impact and health effects.* (toim. Jolley et al.) Lewis publ. s. 5-18.
58. Vesihallitus 1980. Homeet ja sädesienet vesilaitosten raakavedessä ja vesijohtovedessä. *Vesihallituksen tiedotus* 192. Helsinki. 75 s.
59. Niemi, R. M., S. Knuth & K. Lundström 1982. Actinomycetes and fungi in surface waters and in potable water. *Appl. Environ. Microbiol.* 43(2): 378-388.
60. Åkerstrand, K. 1984. Förekomst av mögelsvampar i dricksvatten. *Vår Föda suppl* 4: 320-326.
61. Silvo, R. 1988. Haju- ja makuhaittoja aiheuttavien mikrobien esiintyminen Lappeenrannan ja Imatran seudun vesilaitosvesissä. *Vesitalous* 5: 32-37.

Liite 1-2. Heterotrofisen pesäkeluvun (TH-agar 37°C), koliformisten bakteerien (mEndo LES ja Colilert), aeromonasten ja mikrosienten esiintymisen tutkituissa vesinäytteissä.

LAITOS KOHDE	AIKA	LÄMPÖ- TILA °C	HETEROTROFINEN PESÄKELUKU, 37°C, pmy/ml	KOLIFORMISET BAKT. Colilert* 100 ml	AEROMONAS pmy/100 ml	MIKRO- SIENET pmy/100ml
Pintavesilaitos						
A 1	syksy talvi kevät	13 8.0 4.0	1 1 0	- - -	0 0 0	1 4 0
2	syksy talvi kevät	12 8.0 4.5	3 0 2	- - -	0 0 0	3 0 0
3	syksy talvi kevät	12 9.0 8.0	50 120 1	+? - -	0 3 0	0 15 0
B 1	syksy talvi kevät	12 6.0 3.5	1 1 0	- - -	0 0 0	8 5 7
3	syksy talvi kevät	11 6.0 3.5	0 0 0	- - -	0 0 0	53 210 13
Pohjavesilaitos						
C 1	syksy talvi kevät	11 6.8 4.0	1 0 2	- - -	0 0 0	14 23 13
2	syksy talvi kevät	10 7.0 4.0	0 1 7	- - -	0 0 0	14 16 9
3	syksy talvi kevät	12 6.0	2 1	- -	0 0	2 0
			ei näytettä		0	0

*) Colilert-testin tulos +, jos liuos keltainen eli koliformisia bakteereja
- " - tulos -, jos liuos väriltön

LAITOS KOHDE	AIKA	LÄMPÖ- TILA °C	HETEROTROFINEN PESÄKELUKU, 37°C, pmy/ml	KOLIFORMISET ENDO pmy/100 ml	BAKTEERIT Colilert* 100 ml	AEROMONAS pmy/100 ml	MIKRO- SIENET pmy/100ml
Pohjavesilaitos							
D 1	syksy talvi kevät	8.0 5.9 6.7	17 9 4	240 32 12	+ +	32 4 0	120 380 210
2	syksy talvi kevät	13 9.7 7.9	5 11 1	3 0 1	- -	6 4 0	4 5 10
3	syksy talvi kevät	4.2 5.7 4.2	30 1 1	1 3 7	+ +	6 0 0	39 30 23
E 2	syksy talvi kevät	11 5.5 3.5	0 0 0	1 0 0	- -	2 0 0	5 5 10
F 1	syksy talvi kevät	7.8 3.5 5.4	3 1 0	0 0 0	- -	0 0 0	11 8 7
Tekopohjavesilaitokset							
G 1	syksy talvi kevät	12 5.5 2.5	35 0 0	0 0 0	- -	0 0 0	7 5 22
2	syksy talvi kevät	11 8.0 5.0	3 1 0	0 0 0	- -	0 0 0	13 3 5
3	syksy talvi kevät	11 6.0 3.0	7 1 0	0 0 0	- -	0 0 0	1 2 1
H 2	syksy talvi kevät	13 7.4 4.8	11 7 0	0 0 0	- -	0 0 0	2 0 0
3	syksy talvi kevät	13 8.4 5.2	3 2 0	0 0 0	- -	0 0 0	13 10 5

Liite 3-4. Verkostovesinäytteiden fysikaalis-kemialliset tulokset.

LAITOS	KOHDE	AIKA	VAPAA Cl ₂ , mg/l	KOKONAIS- Cl ₂ , mg/l	NO ₃ mg/l	NO ₂ mg/l	NH ₄ mg/l	KMnO ₄ - LUKU mg/l	TOC mg/l	Fe mg/l	SÄHKÖN- JOHTAVUUS mS/m	pH	SAMEUS FTU	
Pintavesilaitos														
A	1	syksy	<0.03	0.09	1	0.03	0.30	6.9	2.8	0.07	14.1	8.1	0.12	
		talvi	<0.03	0.18	1	0.02	0.28	5.6	2.6	<0.04	12.6	8.2	0.14	
		kevät	<0.03	0.17	2	<0.01	0.22	5.4	2.5	<0.04	14.4	8.2	0.30	
2	2	syksy	<0.03	0.09	1	0.02	0.33	7.3	2.8	0.08	14.2	7.7	0.11	
		talvi	<0.03	0.11	2	0.02	0.28	6.5	2.8	<0.04	12.0	7.9	0.13	
		kevät	<0.03	0.20	2	<0.01	0.19	5.5	2.5	0.06	14.9	8.1	0.16	
3	3	syksy	<0.03	0.14	1	0.02	0.34	7.2	2.8	0.07	14.1	7.8	0.11	
		talvi	<0.03	<0.03	2	<0.01	<0.01	<0.01	5.0	2.4	1.7	12.6	7.8	7.2
		kevät	<0.03	0.12	2	<0.01	0.15	5.2	2.5	0.28	16.5	7.8	0.74	
Pohjavesilaitos														
B	1	syksy	<0.03	0.11	<1	0.09	0.17	7.2	2.6	0.08	16.2	7.6	0.22	
		talvi	<0.03	0.40	3	0.01	0.25	8.4	3.1	0.06	20.7	7.8	0.33	
		kevät	<0.03	0.49	1	0.03	0.25	6.1	2.3	0.05	14.6	8.4	0.24	
3	3	syksy	<0.03	0.37	<1	0.05	0.20	5.5	2.6	0.06	16.1	8.0	0.22	
		talvi	<0.03	0.21	3	0.10	0.19	8.5	3.3	0.06	18.9	7.6	0.62	
		kevät	<0.03	0.48	1	0.03	0.22	6.7	2.3	<0.04	14.9	8.5	0.22	
Pohjavesilaitos														
C	1	syksy			3	<0.01	<0.01	2.6	0.7	<0.04	25.8	7.5	0.10	
		talvi			2	<0.01	<0.01	1.2	0.6	<0.04	21.4	7.5	0.28	
		kevät			2	<0.01	<0.01	<1	0.7	<0.04	20.9	7.3	0.11	
2	2	syksy			3	<0.01	<0.01	2.0	0.6	<0.04	26.6	7.5	0.15	
		talvi			3	<0.01	<0.01	<1	0.6	<0.04	21.7	7.4	0.17	
		kevät			3	<0.01	<0.01	<1	0.7	<0.04	22.4	7.4	0.12	
3	3	syksy			<1	<0.01	<0.01	2.2	0.5	<0.04	22.4	7.6	0.14	
		talvi			2	<0.01	<0.01	<1	0.4	<0.04	21.4	7.4	0.20	
		kevät												

ei näytettä

LAITOS/KOHDE	AIKA	VAPAA Cl ₂ , mg/l	KOKONAIS- Cl ₂ , mg/l	NO ₃ mg/l	NO ₂ mg/l	NH ₄ mg/l	KMnO ₄ - LUKU mg/l	TOC mg/l	Fe mg/l	SÄHKÖN- JOHTAVUUS mS/m	pH	SAMEUS FTU
Pohjavesilaitos												
D	1			<1	<0.01	<0.01	4.1	0.8	<0.04	9.0	7.2	0.28
				<1	<0.01	<0.01	3.5	0.7	0.06	8.2	7.3	0.61
				<1	<0.01	<0.01	3.8	1.1	0.05	13.7	7.3	0.44
	2			<1	<0.01	<0.01	3.8	0.9	0.10	21.3	7.3	0.57
				<1	<0.01	<0.01	2.8	1.0	0.07	16.9	7.2	1.5
				<1	<0.01	<0.01	2.1	0.9	0.05	26.3	7.2	0.31
	3			<1	<0.01	<0.01	3.5	0.8	<0.04	12.9	7.5	0.31
				<1	<0.01	<0.01	2.7	0.7	<0.04	12.2	7.3	0.26
				<1	<0.01	<0.01	2.2	1.0	0.04	14.5	7.3	0.26
E	2			<1	<0.01	<0.01	4.7	2.2	0.09	35.4	8.0	0.17
				<1	<0.01	<0.01	5.7	2.5	0.05	42.4	8.1	0.16
				<1	<0.01	<0.01	4.8	2.9	0.04	38.8	7.6	0.15
F	1	0.06	0.12	<1	<0.01	<0.01	4.0	1.4	<0.04	26.3	8.0	0.18
		0.12	0.18	<1	<0.01	<0.01	3.2	2.6	<0.04	26.4	8.0	0.15
		0.05	0.12	<1	<0.01	<0.01	5.2	1.7	0.07	22.6	8.3	0.47
Tekopohjavesilaitokset												
G	1			3	<0.01	<0.01	2.1	0.4	0.13	9.6	8.2	0.38
				3	<0.01	<0.01	1.2	0.4	0.36	8.9	8.2	1.3
				3	<0.01	<0.01	1.5	0.5	0.15	10.0	8.4	0.33
	2			3	<0.01	<0.01	1.9	0.4	0.12	10.5	7.4	0.34
				2	<0.01	<0.01	1.3	0.5	0.10	7.9	8.5	0.18
				8	<0.01	<0.01	1.9	0.6	0.12	13.0	8.0	0.29
	3			12	<0.01	<0.01	2.3	0.5	0.12	15.5	7.5	0.14
				3	<0.01	<0.01	1.6	0.6	<0.04	8.4	7.4	0.15
				10	0.01	<0.01	1.6	0.6	<0.04	12.2	6.8	0.12
H	2	<0.03	0.25	<1	0.02	0.09	9.4	3.1	0.14	12.9	7.9	0.68
		<0.03	0.29	<1	<0.01	0.12	6.8	2.8	0.18	13.4	7.9	1.78
		<0.03	0.25	1	<0.01	0.06	7.9	2.7	0.10	13.0	7.8	0.32
	3	<0.03	0.06	<1	0.08	<0.01	9.3	3.0	0.07	14.5	8.3	0.64
		<0.03	0.09	<1	0.04	0.03	6.8	2.8	<0.04	12.9	8.3	0.34
		<0.03	0.12	1	0.05	0.05	7.8	2.6	0.05	13.0	8.3	0.17

HELSINGIN KAUPUNKI
YMPÄRISTÖKESKUS
Helsinginkatu 24
00530 HELSINKI

KUVAILULEHTI

Tekijä(t) Kirsti Lahti, Seija Kalso, Kimmo Kuusinen, Juhani Airo ja Seppo Ahonen			
Nimike Eräiden Suomen vesilaitosten verkostoveden mikrobiologinen laatu			
Julkaisija (virasto tai laitos)	Julkaisuaika	Sivumäärä, liitteet	
Helsingin kaupungin ympäristökeskus	1993	38	4
Sarjan nimike	Osanumero		
Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisu	2/93		
ISSN-numero 1235-9718	Kieli		
ISBN-numero 951-772-325-3	Koko teos fin	Tiivistelmä fin, swe	Taulukot Kuvatekstit
Avainsanat vesijohtovesi, mikrobiologinen laatu, opportunistiset patogeenit, mikrosienet			
UDK			
Lisätietoja: Kirsti Lahti, Vesi- ja ympäristöhallitus, puh. 5089496 Seija Kalso, Helsingin kaupungin ympäristökeskus, puh. 7099 2519			

HELSINGIN KAUPUNGIN YMPÄRISTÖKESKUKSEN JULKAISUJA 1992

1. Helsinki-Malmin lentoaseman lentomeluseelvitys
2. Radonmittaukset Helsingissä
3. Hajuyhdisteitä päästävien laitosten haitta-alueet Helsingissä
4. Kolme näkökulmaa kaupunkiliikenteeseen
5. Selvitys Helsingin kaupungin rakennusviraston Veräjämäen keskusvaraston maaperästä ja pohjavedestä
6. Melutilanne Helsingissä - seurantaraportti
7. Helsingin meluntorjuntaohjelma 1994 - 1998
8. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet sisäilmassa
9. Varautuminen kemikaalionnettomuuksiin
10. Helsingin uimarantavesien laatu 1985 - 1992

HELSINGIN KAUPUNGIN YMPÄRISTÖKESKUKSEN JULKAISUJA 1993

1. Selvitys Pohjois-Hermannin ja Toukolan alueilla tehdyistä maaperätutkimuksista
2. Eräiden Suomen vesilaitosten verkostoveden mikrobiologinen laatu

Julkaisujen tilaus:

ympäristökeskuksen tiedotus
Helsinginkatu 24, 00530 HELSINKI
puh. 7099 2815, fax 7099 2245

ISSN 1235-9718
ISBN 951-772-325-3
