

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLITUKSEN MONISTESARJA

Indikaattoreiden ja fysikaalis-kemial-
muuttajien väliaet korrelaatiot

Nro 37 KASTELU

Indikaattorikoncentraatiot

HYGIENIAN INDIKAATTORIT VANTAAN- JA
KERAVANJOISSA VUONNA 1985

Maarit Niemi

Jorma Niemi

Tuula Aarnio

V E S I - J A Y M P Ä R I S T Ö H A L L I T U K S E N
M O N I S T E S A R J A

Nro 37

HYGIENIAN INDIKAATTORIT VANTAAN- JA
KERAVANJOISSA VUONNA 1985

Maarit Niemi
Jorma Niemi
Tuula Aarnio

Vesi- ja ympäristöhallitus
Helsinki 1987

Tekijät ovat vastuussa julkaisun sisällöstä eikä siihen voida vedota vesi- ja ympäristöhallituksen virallisena kannanottona.

Julkaisua saa vesi- ja ympäristöhallituksen vesi- ja ympäristöntutkimustoimistosta.

ISBN 951-47-0246-8
ISSN 0783-3288

Painopaikka: Vesi- ja ympäristöhallituksen monistamo,
Helsinki 1987

SISÄLLYS

	Sivu
1 JOHDANTO	5
2 AINEISTO JA MENETELMÄT	5
3 TULOKSET	7
3.1 Indikaattorikonsentraatiot	7
3.2 Indikaattoribakteerien tarkistustestit ja tunnistus	8
3.3 Kahden laboratorion tulosten vertaaminen	9
3.4 Indikaattoreiden väliset korrelaatiot	9
3.5 Indikaattoreiden ja fysikaalis-kemiallisten muuttujien väliset korrelaatiot	10
4 TULOSTEN TARKASTELU	10
4.1 Indikaattorikonsentraatiot	10
4.2 Indikaattorimenetelmien toimivuus	11
4.3 Korrelaatiot	13
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	14
KIRJALLISUUS	15
KUVAT	
TAULUKOT	

1 J O H D A N T O

Tautia aiheuttavat mikrobit esiintyvät vesissä yleensä pieninä pitoisuuksina. Monille tautia-aiheuttaville mikrobeille on olemassa vesinäytteille sopivia osoitusmenetelmiä, mutta ne ovat usein kalliita ja aikaa vieviä. Jos vesistä haluttaisiin suoraan osoittaa taudinaiheuttajat, se olisi tehtävä jokaiselle taudinaiheuttajalle eri menetelmällä. Tämän vuoksi vesien aiheuttamaa tautitartuntariskiä osoitetaan rutiinivalvonnassa etsimällä erilaisia indikaattoribakteereita, joita on eläinten ja ihmisen suolistossa. Suolistobakteereiden viruksia on myös käytetty veden hygienian arviointiin (Kott ym. 1978).

Vantaanjoen vesistö virtaa Suomen tiheimmin asutun alueen läpi. Sen veden laadun parantamiseksi raakaveden varajärjestelmänä ja virkistyskäyttöön on investoitu miljoonia markkoja (Vantaanjoki-toimikunnan mietintö 1985). Vaikka veden laatu on jätevedenpuhdistuksen tehostumisen myötä kohentunut huomattavasti, ovat hygienian indikaattoribakteereiden korkeat pitoisuudet edelleen rajoittaneet veden virkistyskäyttöarvoa (esim. Vantaanjoen ja Helsingin seudun Vesiensuojeluyhdistys 1984). Sekä Vantaanjokineuvottelukunta että Vantaanjokitoimikunta ovat korostaneet Vantaanjoen vesistön veden hygienian yksityiskohtaista selvittämistä.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin tavanomaisten hygienian indikaattoreiden - lämpökestoisten koliformisten bakteereiden ja fekaalisten streptokokkien - esiintymistä Vantaan- ja Keravanjoessa eri vuodenaikoina. Bakteereiden määritysmenetelmien toimivuutta tämän vesistön näytteille selvitettiin eristämällä bakteereita puhtasviljelmiksi ja tekemällä niille tarkistus- ja tunnistustestejä. Lisäksi näytteistä tutkittiin Escherichia coli C:n faagien määriä. Näytteenotossa painotettiin uimakautta.

2 A I N E I S T O J A M E N E T E L M Ä T

Kohdealue. Näytteitä otettiin yhdeksältä kiinteältä havaintopaikalta (kuva 1) 14 ajankohtana siten, että kesä-, heinä- ja elokuussa näytteenoton väli oli kaksi viikkoa, muutoin yleensä kuukausi. Keravanjoen havaintopaikat edustavat hajakuormitusta. Vantaanjoen ylin havaintopaikka V95 kuvaa hajakuormituksen vaikutusta. Havaintopaikka V84 on Riihimäen jätevedenpuhdistamon likaama ja havaintopaikkaan V55 vaikuttavat myös Hyvinkään puhdistetut jätevedet. Havaintopaikassa V24 vaikuttavat yllämainitut pistekuormittajat (95 % Vantaanjoen pistekuormituksesta tulee vesistöön tämän paikan yläpuolelta) ja lisäksi siihen kohdistuu hajakuormitusta. Havaintopaikka V12 on etäällä pistekuormittajista. Kuitenkin siihen vaikuttaa parin tuhannen asukkaan aiheuttama hajakuormitus. Jokisuun havaintopaikka, V00, edeltää hidasvirtaamainen joen osa. Se on kaukana pistekuormittajista eikä siihen kohdistu merkittävää hajakuormitusta.

Näytteenotto. Näytteet otettiin kahtena perättäisenä

päivänä. Yhtenä päivänä otettiin kaikki Vantaanjoen ja toisena kaikki Keravanjoen näytteet siten, että vuorokertoina otettiin maanantaisin toisen joen näytteet ja tiistaisin toisen joen näytteet.

Näytteet otettiin steriileihin borosilikaattipulloihin, jotka kiinnitettiin metallitelineeseen. Teline pulloineen laskettiin sillalta tai lingottiin narun varassa keskiuomaan. Neljän perättäisen noin viiden minuutin sisällä otetun noston näytteet yhdistettiin litran näytteeksi. Näin haluttiin tasoittaa lyhytaikaista bakteeripitoisuuksien vaihtelua (Niemi 1969).

Havaintopisteistä tehdyt seuraavat fysikaaliset ja kemialliset mittaukset poimittiin vesi- ja ympäristöhallituksen vedenlaaturekisteristä: lämpötila, happipitoisuus, hapenkyllästysprosentti, sameus, kiintoaine, sähkönjohtavuus, pH, biologinen hapenkulutus, nitriitti-, nitraatti-, ammonium- ja Kjeldahl-typpi, kokonais- ja fosfaattifosfori, haihdutusjäännös, kemiallinen hapenkulutus, väri ja a-klorofylli. Määritykset oli tehty Vesihydro Oy:ssä ja Helsingin kaupungin laboratoriossa.

Lämpökestoiset koliformiset bakteerit määritettiin SFS 4088 standardin mukaisesti mFC agarilla inkuboimalla maljoja $44,5^{\circ}\text{C}$:n lämpötilassa $22 + 2$ h. Kultakin näytekerralta pyrittiin eristämään tryptonihiivauuteagarille jokaisesta havaintopaikasta 30 bakteerikantaa tarkemmin tutkittavaksi. Kaikkien eristettyjen kantojen kaasun ja indolinmuodostus tutkittiin standardin SFS 4088 mukaisesti $44,5^{\circ}\text{C}$:n lämpötilassa, mutta kaasunmuodostus luettiin myös kahden vuorokauden inkuboinnin jälkeen. Lisäksi kannoille tehtiin oksidaasitestit (Pathotec) tryptonihiivauuteagarilla 35°C lämpötilassa kasvaneille viljelmille. Kahtena havaintokertana (25...26.2.1985 ja 10...11.6.1985) eristetyt kannat identifioitiin API 20E kittien (API SYSTEMS S.A., La Balme les Grottes, 38390 Montalieu Vercieu, Ranska) avulla.

Fekaaliset streptokokit määritettiin SFS 3014 standardin mukaisesti KF Streptococcus agarilla inkuboimalla maljoja lämpötilassa 35°C $44 + 4$ h. Kaikilta havaintokerroilta pyrittiin eristämään jokaisesta havaintopaikasta 30 kantaa sappi-eskuliini-atsidi agarille (BEA-agarille), jossa niitä inkuboitettiin $44 + 4$ h lämpötilassa $44,5^{\circ}\text{C}$. Kaikille kannoille, jotka tällöin kasvoivat tehtiin katalaasitestit (SFS 3014).

Kolifaagit määritettiin käyttämällä isäntäbakteerina E.coli C:tä (Bertani 1968, kanta saatu FT Dennis Bamfordilta, Perinnöllisyystieteen laitos, Arkadiankatu 7, 00100 Helsinki). Määrityksessä käytettiin Adamsin (1966) kerrosagarmenetelmää kloroformilla käsitellyille näytteille (0,5 ml kloroformia lisättiin 50 ml:aan näytettä ja seosta ravisteltiin 10 min). Tarvittaessa näyte laimennettiin F4-liemeen (3 g lihautetta, 5 g peptonia, 5 g keittosuolaa ja 0,246 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ litraa kohti). Isäntäbakteeri kasvatettiin 35°C lämpötilassa Pen Assay liemessä (Difco) ravistelijassa logaritmiseen kasvuvaiheeseen. Sulatettuun ja 45°C temperoituun 5 ml erään F4-agarilla (F4-liemi,

johon on lisätty 10 g agaria litraan) lisättiin 5 ml näytettä tai sen laimennosta ja 2,5 ml isäntäbakteeriviljelmää. Nopeasti sekoittaen seos kaadettiin hyytyneelle F4-agarille maljalle, jonka halkaisija oli 14 cm. Maljoja inkuboitiin 28 °C lämpötilassa 22 + 2 h, jonka jälkeen plakit laskettiin altavalossa kaksinkertaista suurennosta käyttäen.

Joistakin tämän tutkimuksen havaintopaikoista otettiin samana päivänä, vaikkakin eri kellon aikaan, näytteet Vantaan kaupungin elintarvike- ja vesilaboratoriossa tehtäviä bakteerimäärityksiä varten. Lämpökestoisten koliformisten bakteerien määrittäminen tehtiin periaatteessa samalla menetelmällä molemmissa laboratorioissa, mutta fekaalisten streptokokkien määrittämisessä Vantaalla käytettiin m Enterococcus agaria (Difco). Lisäksi Vantaan laboratoriossa näytteitä säilytettiin, ainakin toisinaan, yli yön ennen viljelyä.

Lisäksi tarkasteltiin samoja havaintopaikkoja koskevia fekaali-indikaattoreiden mittaustuloksia vuosilta 1980-1985. Mittaukset oli tehty Vantaan kaupungin elintarvike- ja vesilaboratoriossa.

3 T U L O K S E T

3.1 INDIKAATTORIKONSENTRAATIOT

Kaikkien määritettyjen indikaattoreiden, lämpökestoisten koliformisten bakteereiden, fekaalisten streptokokkien ja kolifaagien, (lukumäärien) ^{lukumäärien} todettiin osoittavan selvää vuodenaikaisvaihtelua kaikissa havaintopaikoissa (taulukko 1, kuvat 2...10). Kesällä indikaattoreiden määrät olivat pienimmillään, talvisin huomattavasti kesäistä suurempia ja suurimmillaan keväällä ja syksyllä suurten virtaamien aikaan.

Niille kolmelle havaintopaikalle, joille oli käytettävissä virtaamatietoja, laskettiin bakteerivuot (kuvat 11...13). Niiden perusteella havaittiin jokien bakteerikuormituksen olevan todella suurta runsaan veden aikaan.

Huonon uimaveden normiraja, tuhat koliformista bakteeria sadassa millilitrassa, ylitettiin keväällä kaikkialla, lukuunottamatta Keravanjoen ylintä havaintopaikkaa K62, jossa koko vuonna vain yhdestä näytteestä löydettiin yli sata lämpökestoista koliformista bakteeria. Havaintopaikassa K24 todettiin kolmena ajankohtana tuhannen bakteerin normirajan ylityksiä, joista yksi - elokuun 12 päivän näyte - ajottui uimakaudelle. Joen alajuoksulla havaintopaikassa K08 bakteerikuormitus oli suurempaa ja jo puolet näytteistä, mukaanlukien heinä- ja elokuun näytteitä, sisälsi yli 1 000 lämpökestoista koliformista bakteeria sadassa millilitrassa. Ylimmässä Vantaanjoen havaintopaikassa V95 havaittiin vain huhtikuussa ja elokuun lopussa normirajan ylittäviä bakteerikonsentraatioita. Sen sijaan Riihimäen puhdistamon kuormittama havaintopaikka V84 oli likainen bakteeritiheyksien ollessa yleensä

tuhansia tai kymmeniä tuhansia sadassa millilitrassa. Havaintopaikka V55 oli jo puhtaampi, mutta tutkituista 14 näytteestä kahdeksassa todettiin yli tuhat lämpökestoista koliformista bakteeria sadassa millilitrassa. Havaintopaikassa V24 enää viisi näytettä ylitti normirajan ja näistä vain yksi oli uimakaudelta, elokuun lopulta. Havaintopaikassa V12 näytteet tammikuulta toukokuulle ylittivät normirajan muiden näytteiden bakteerimäärien jäädessä alhaisemmiksi. Samanlaisia bakteerikonsentraatioita todettiin jokisuulla havaintopaikassa V00.

Fekaaliset streptokokit antoivat havaintopaikkojen veden laadusta jokseenkin samanlaisen kuvan kuin lämpökestoiset koliformiset bakteerit (taulukko 1 ja kuvat 2...10), mutta erojakin oli. Esimerkiksi Keravanjoen yläjuoksulla fekaalisten streptokokkien konsentraatiot ylittivät yleensä lämpökestoisten koliformisten bakteerien määrät.

Kolifaagien määrittämisessä menetelmän herkkyys on huonompi kuin bakteerien kalvosuodatusmenetelmässä. Suurin tutkittu näytemäärä oli viisi millilitraa eli kahdeskymmenesosa bakteerimäärittäykseen käytetystä suurimmasta näytetilavuudesta. Pienessä osassa näytteitä faagimäärät alittivat herkkyysrajan, mutta suurimmalle osalle näytteitä herkkyys oli riittävä. Kolifaagien antama kuva jokiveden saastuneisuudesta ei suuresti poikennut indikaattoribakteeriden antamasta käsityksestä (taulukko 1 ja kuvat 2...10).

3.2 INDIKAATTORIBAKTEERIEN TARKISTUSTESTIT JA TUNNISTUS

Tarkistustestein tutkittiin 3441 lämpökestoista koliformista bakteeria. Alustavasti E. coliksi todettiin näistä SFS 4088 standardin perusteella 68 % (taulukko 2). Kaasunmuodostustestissä vuorokauden lisäinkubointi lisäsi positiivisten kantojen määrää 5.2 %:lla. Kaasunmuodostustestissä negatiivisia, mutta indolipositiivisia kantoja, joiden joukossa saattoi olla E. coli kantoja, oli 16 % eristetyistä kannoista. Oksidaasipositiivisia kantoja oli eristetyistä 1,9 %, eniten Vantaanjokisuun ja syksynä näytteissä (taulukot 2...3). Alustavan E. colin (indolipositiivinen yhden vuorokauden ja kaasupositiivinen kahden vuorokauden kuluttua) osuus eristetyistä kannoista oli suurempi yläjuoksulla kuin alajuoksulla (taulukko 2). Eri ajankohtina alustavan E. colin osuus eristetyistä kannoista vaihteli 64...78 % (taulukko 3, sarakkeiden 1 ja 2 summa).

API 20 E tunnistus tehtiin 384 kannalle, joista 85 % osoittautui E.coliksi (taulukko 4). Kaikkia SFS 4088 standardin mukaisesti alustavia E. coli API 20 E systeemi ei tunnistanut E. coliksi, mutta lähes kaikki indolipositiiviset kannat kaasunmuodostuksen puuttuessa tai ollessa viivästynyt tunnistettiin E. coliksi Vantaanjoen vesistön näytteissä.

Fekaalisten streptokokkien tarkistustesteissä joissakin näytteissä kaikki kannat osoittautuivat etsitynlaisiksi bakteereiksi kun taas joistakin näytteistä eristetyissä kannoissa oli yksinomaan muita bakteereita. Koko vuoden

aikana eristetyistä kannoista pienin tarkistuneiden fekaalisten streptokokkien osuus oli Keravanjoen latvoilla (taulukko 5). Tuoretta hajakuormitusta edustavissa näytteissä ja pistekuormitusta edustavissa näytteissä tarkistuneiden osuus vaihteli merkittävästi (taulukko 6). Tarkistuneiden fekaalisten streptokokkien osuus oli suurimmillaan virtaamahuippujen aikaan (kuva 14).

3.3 KAHDEN LABORATORION TULOSTEN VERTAAMINEN

Kahden laboratorion lämpökestoisten koliformisten bakteerien ja fekaalisten streptokokkien primääriviljelyn tuloksia Vantaanjoen vesistön samoista havaintopaikoista samoina päivinä otetuista näytteistä verrattiin käyttämällä t-parivertailutestiä. Testi tehtiin tuloksille, jotka oli transformoitu ottamalla luonnollinen logaritmi bakteerien lukumääristä sadassa millilitrassa näytettä. Lämpökestoisten koliformisten bakteerien määrät olivat Vantaan kaupungin elintarvike- ja vesilaboratorion tulosten mukaan merkittävästi suuremmat ($t = -4,41$, v.a. = 27) ja fekaalisten streptokokkien määrät merkittävästi pienemmät ($t = 4,05$, v.a. = 27) kuin vesien- ja ympäristön-tutkimustoimiston tulosten mukaan.

3.4 INDIKAATTOREIDEN VÄLISET KORRELAATIOIOT

Indikaattoribakteerien välisiä riippuvuuksia tutkittiin käyttämällä lineaarista korrelaatioanalyysiä. Indikaattoribakteerien pitoisuuksille tehtiin ennen analyysiä logaritmitransformaatio (luonnollinen logaritmi).

Aluksi laskettiin korrelaatiokertoimet Vantaanjoen- ja Keravanjoen yhdistetylle materiaalille (taulukko 7). Kaikki korrelaatiokertoimet olivat korkeita. Korkeimpia olivat korrelaatiokertoimet fekaalisten koliformisten bakteereiden ja alustavan *E. colin* välillä ($r = 0,98$) sekä lämpökestoisten koliformisten bakteereiden ja fekaalisten streptokokkien välillä ($r = 0,80$). Korkeita korrelaatiokertoimen arvoja saatiin myös alustavan *E. colin* sekä tarkistuneiden fekaalisten streptokokkien välille ($r = 0,79$) sekä fekaalisten streptokokkien ja tarkistuneiden fekaalisten streptokokkien välille ($r = 0,78$). Korkeat korrelaatiokertoimien arvot osoittavat kaikkien indikaattoreiden käyttäytyvän lähes samalla tavalla. Kolifaagien ja muiden indikaattoreiden välisten kertoimien arvot olivat pienimmät.

Seuraavaksi tutkittiin korrelaatioita indikaattoriryhmittäin erikseen molemmille joille vuodenajoittain (taulukko 8). Tällä tavalla jaoteltuna havaintojen määrä jäi ryhmissä pieneksi. Tästä huolimatta eri ryhmissä saatiin esille tyypillisiä piirteitä. Talvikautena Vantaalla kaikki korrelaatiokertoimet osoittautuivat tilastollisesti merkitseviksi ja verraten korkeiksi. Keravanjoella vain kolme korrelaatiokerrointa oli talvella tilastollisesti merkitsevää. Vantaanjoessa jätevesien vaikutus näkyy selvänä talvella. Kesäkaudella tilanne on jokien välillä samantyyppinen, tosin tällöin Vantaanjoellakin tilastol-

lisesti merkitsevien korrelaatiokertoimien määrä on pienempi kuin talvella. Vantaassa virtaavien jätevesien osuus on suuri myös kesällä. Tulvakautena myös hajakuormitusvaltaisella Keravanjoella kaikki korrelaatiokertoimet ovat tilastollisesti merkitseviä ja verrattain korkeita. Vantaanjoella tilanne on tulvakautena samantyyppinen kuin talvi- ja kesäkausina. Lisäksi laskettiin vuosien 1980-1985 kesä-, heinä- ja elokuun fekaalisten koliformisten bakteerien ja fekaalisten streptokokkien välisiä korrelaatiokertoimia eri vuosille (Taulukko 9) ja eri havaintopaikoille ja erikseen koko joille (Taulukko 10). Korrelaatiokertoimien arvot vaihtelivat suuresti.

3.5 INDIKAATTOREIDEN JA FYSIKAALIS-KEMIAALLISTEN MUUTTUIJEN VÄLISET KORRELAATIOT

Indikaattoreiden ja fysikaalis-kemiallisten muuttujien välisiä riippuvuuksia tutkittiin lineaarisen korrelaatioanalyysin avulla. Indikaattoripitoisuuksille tehtiin logaritmitransformaatiot (luonnollinen logaritmi) mutta ei fysikaalis-kemiallisille muuttujille. Korrelaatiokertoimet laskettiin indikaattoreiden ja fysikaalis-kemiallisten muuttujien välille joittain ja vuodenajoittain (Taulukko 11). Joittain tarkasteltuna suuri osa tilastollisesti merkitsevistä korrelaatioista saatiin Vantaanjoen havainnoista. Talvikautena korkeimmat korrelaatiokertoimet saatiin indikaattoreiden ja jätekuormitusta indikoivien fysikaalis-kemiallisten muuttujien (esimerkiksi sähkönjohtavuuden, Kjeldahl- ja ammoniumtyypen, kokonais- ja fosfaattifosforin) välille. Jätekuormituksen vaikutusta osoittaa Vantaassa myös negatiivinen korrelaatio indikaattoreiden ja hapen välillä. Keravanjoen havainnoista pääosa tilastollisesti merkitsevistä korrelaatioista ajoittuu tulva-aikaan (esimerkiksi lämpökestoisten koliformisten bakteereiden ja sähkönjohtavuuden sekä Kjeldahl-typen välinen korrelaatiokerroin). Keravanjoella lämpökestoiset koliformiset bakteerit korreloivat fysikaalis-kemiallisten muuttujien kanssa paremmin kuin fekaaliset streptokokit. Kolifaagien ja fysikaalis-kemiallisten muuttujien väliset korrelaatiot olivat pienempiä kuin muilla indikaattoriryhmillä. Vantaan aineistossa ne olivat korkeampia kuin Keravanjoen aineistossa.

4 T U L O S T E N T A R K A S T E L U

4.1 INDIKAATTORIKONSENTRAATIOT

Bakteerien ja faagien määriin jokivedessä vaikuttaa sekä kuormituksen suuruus että mikrobien säilyvyys joessa. Kuormituksen vaihtelu riippuu vaihteluista jätevedenpuhdistamoiden toiminnassa, ajallisista eroista huuhtoutumisessa maaperästä ja muista hajakuormituslähteistä sekä suurten virtaamien aiheuttamasta sedimentoituneiden mikrobien sekoittumisesta veteen. Kylmä vesi ja valolta suojaava jääpeite edistävät mikrobien säilymistä. Suuret bakteri- ja kolifaagikonsentraatiot talvella Vantaan- ja Keravanjoissa selittyvät hyvillä säilyvyysolosuhteilla

ja vähäisellä virtaamalla. Kevään sulamisvesien laimentava vaikutus ei yleensä tullut esiin lisääntyneen kuormituksen vuoksi. Kuormitusta keväällä lisäävät ohijuoksutukset puhdistamoilla ja suurten virtaamien aiheuttamat häiriöt jäteveden puhdistuksessa, huuhtoutuminen maaperästä ja sedimentin sekoittuminen veteen. Kesällä indikaattoreiden määrät olivat pienimmillään erityisesti kuivina jaksoina.

Kohdealue jakaantui kolmeen eriluonteiseen osaan. Keravanjoki ja Vantaanjoen ylin havaintopaikka edustivat hajakuormitettua vesistöä. Kummankin joen ylimmässä havaintopaikassa vesi vain poikkeuksellisesti ylitti huonon uimaveden laaturajan, tuhat kappaletta sataa millilitraa kohti. Keravanjoen alajuoksulla indikaattoreiden konsentraatiot olivat suurempia, mutta sielläkin yllämainittu normiraja ylitettiin vain keväisin ja syysateiden aikaan. Sateisena kesänä tilanne voi olla huonompi. Keravanjoen yläjuoksulla havaintopaikoissa K24 ja K64 fekaalisten streptokokkien määritystä haittasivat bakteerit, jotka tarkistustesteissä karsiintuivat. Sen sijaan lämpökestoisten koliformisten bakteerien määrityksessä näissä näytteissä oksidaasinegatiivisten indolipositiivisten osuus oli suuri.

Riihimäen jätevedenpuhdistamon alapuolella vesi oli uimakelvotonta koko vuoden (havaintopaikka V84). Hyvinkään Kaltevan puhdistamon kuormittamassa havaintopaikassa V55 vesi oli hieman puhtaampaa. Se oli uimakaudella yleensä välttävää uimavettä. Voimakas vuodenaikaisvaihtelu oli ominaista myös pistekuormitetuille joen osille. Näiden havaintopaikkojen näytteissä fekaalisista streptokokeista karsiutui tarkistustesteissä vain noin viidennes. Lämpökestoisista koliformisista bakteereista 85...90 % oli oksidaasinegatiivisia indolipositiivisia.

Havaintopaikassa V24 lämpökestoisten koliformisten bakteerien konsentraatiot ovat vähän pienemmät kuin havaintopaikassa V55 koko vuoden, sen sijaan fekaalisten streptokokkien pitoisuudet ovat pienemmät lähinnä uimakautena.

Vantaanjoen suosan havaintopaikoissa V12 ja V00 vesi havaittiin keskijuoksua puhtaammaksi. Keravanjoen alimassa havaintopaikassa K08 bakteerien pitoisuudet olivat yleensä suuremmat kuin havaintopaikoissa V12 ja V00. Keravanjoen virtaama oli vain noin kymmenesosa Vantaanjoen pääuoman virtaamasta. Jokien yhtymäkohdasta jokisuulle viipymä oli pitkä. Tällä joen osalla mikrobit voivat sedimentoitua tai kuolla, erityisesti lämpimänä vuodenaikana. Näistä syistä Keravanjoen Vantaanjoen pääuomaa suuremmat bakteeripitoisuudet eivät enää näy Vantaanjoen suulla, jossa vain talvella ja kevättulvan aikaan normiraja tuhat kappaletta sadassa millilitrassa ylittyi.

4.2 INDIKAATTORIMENETELMIEN TOIMIVUUS

E. coli C:n faagien pitoisuudet noudattivat varsin samantyyppistä vuosirytmää kuin lämpökestoiset koliformiset bakteerit. Näytetilavuuden kasvattaminen esim. 20 millilitraan (Grabow ja Coubrough 1986) parantaisi menetelmän

herkkyyttä riittäväksi Vantaanjoen vesistön tarkkailuun. Kolifaagien, erityisesti E. coli C:n faagien tyyppisten somaattisten faagien, käyttökelpoisuus fekaali-indikaattoriksi on asetettu kyseenalaiseksi, koska niiden katsotaan voivan lisääntyä jätevedessä ja koska eri faagien säilyvyys vesiympäristössä vaihtelee paljon (esim. Havelaar 1986). Sen sijaan F-spesifisiä RNA-faageja on suositeltu ihmiselle tauteja aiheuttavien virusten malliksi tutkittaessa vedenkäsittelyn eri prosesseja (Havelaar 1986). Toisaalta somaattisten kolifaagien käytöstä enterovirusten indikaattorina jätevesissä, vesistöissä ja vesijohtovedessä on saatu hyviä kokemuksia (Kott ym. 1978).

Fekaalisten streptokokkien määrittämisessä huomiota kiinnittää se, että vaikka keskimäärin vain pieni osa eristetyistä kannoista karsiutui, saattoi yksittäisistä näytteistä eristetyistä tyyppillisinä pesäkkeinä kasvaneista kannoista vain pieni osa antaa tarkistustesteissä positiivisen tuloksen. Joissakin näytteissä alustava fekaalisten streptokokkien määrittäminen antoi siten virheellisen kuvan veden hygieniasta. Yleensä kannat karsiutuivat sappieskuliiniatsiditestissä. Jotkut tässä testissä positiiviset, mutta katalaasipositiivisina streptokokkeihin kuulumattomat kannat, todettiin inkubointia jatkettaessa sädesieniksi. Hajakuormitetussa Keravanjoessa näytteissä todettiin enemmän häiriötä kuin Vantaanjoen näytteissä.

Standardin SFS 4088 mukaisten varmistustestien perusteella vain 68 % lämpökestoisista koliformisista bakteereista tunnistettiin alustavasti E. coliksi. API 20E tunnus kuitenkin osoitti, että kaasunmuodostustesti karsi virheellisesti E. coli kantoja. Pelkän korkean lämpötilan indolitestin perusteella E. coli saatiin paremmin esiin. Tällä perusteella 75 % lämpökestoisista koliformisista bakteereita olisi ollut E. colia. Yllättävän suuri osa SFS 4088 standardin perusteella alustavasti E. coliksi tunnistetuista kannoista jäi API 20E testien perusteella tunnistamatta. Tämä heijastelee bakteeritaksonomian perusongelmaa yksittäisten lajien rajaamisessa, joka paljon tutkitun, mutta monimuotoisen E. colin kohdalla on vaikeaa. Käytännön tarkoituksiin tulee kaasunmuodostustestiä kehittää esimerkiksi ottamalla käyttöön LTMB-liemi (Niemelä ym. 1986). Vaikka E. colin osuus lämpökestoisista koliformisista bakteereista vähän vaihteli Vantaanjoen vesistön näytteissä, ei samanlaisia häiriöitä havaittu kuin fekaalisilla streptokokeilla.

Bakteerien lukumääriä mitattaessa ei ole samanlaista mahdollisuutta selvittää tuloksen oikeellisuutta kuin on kemiallisissa analyyseissä mahdollista tehdä tunnettujen liuosten avulla. Tulos voi olla liian suuri, koska menetelmät voivat sallia muiden kuin etsitynlaisten bakteerien kasvun (väärät positiiviset). Toisaalta usein saadaan esiin vain osa etsityistä bakteereista. Mitä pidempään ja mitä rasittavamassa ympäristössä bakteerisolot ovat, sitä vahingoittuneempia ne ovat ja sitä pienempi osa niistä viljelyssä saadaan esiin. Yleisesti viljelymenetelmät perustuvat etsityn bakteerilajin tai -ryhmän muille mikrobeille haitallisten aineiden sietoon tai korkeaan maksimikasvulämpötilaan. Tällaiset valikoivat

olosuhteet karsivat osan "stressaantuneista" etsityn mikrobin soluista. Erilaisten esi-inkubointien avulla (VHM-19 1987) pyritään löytämään tasapaino väärin positiivisten ja paremman saaliin välillä. Vaativat kasvuolosuhteet karsivat osan etsityistä bakteereista ja pienet erot suorituksessa saattavat tuntuvasti muuttaa tuloksia. Tähän tutkimukseen sisältyvä kahden laboratorion tulosten suppea vertailu viittaa systemaattisiin eroihin tuloksissa, mutta ei ole riittävä selvittämään erojen syitä. Menetelmien standardisoinnin lisäksi tarvitaan kontrolloituja vertailututkimuksia analyysitulosten erojen selvittämiseksi.

4.3 KORRELAATIOT

Eri indikaattoreiden välisiä korrelaatioita tarkastelemalla pyrittiin selvittämään antavatko ne samanlaisen kuvan veden hygieniasta. Lämpökestoisten koliformisten bakteerien ja alustavan *E. colin* (SFS 4088) välinen korkea korrelaatio sekä koko materiaalista laskettuna että vuodenajoittain jaetusta materiaalista laskettuna osoittaa hyvää yhteensopivuutta. Varsin hyvä korrelaatio todettiin myös alustavien fekaalisten streptokokkien ja tarkistuneiden fekaalisten streptokokkien välillä. Muutoinkin indikaattoreiden väliset korrelaatiot olivat korkeita, lukuunottamatta kolifaageja, joilla korrelaatiot olivat muita heikkommat.

Vantaanjoella saatiin eniten merkitseviä korrelaatioita talvella ja tulva-aikana, kesällä korrelaatiot olivat heikompia. Keravanjoella tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita havaittiin pääasiassa vain tulvakautena. Lämpökestoisten koliformisten bakteerien ja alustavan *E. colin* väliset korrelaatiot olivat samanlaiset molemmissa joissa. Sen sijaan lämpökestoisten koliformisten bakteerien ja fekaalisten streptokokkien sekä lämpökestoisten koliformisten bakteerien ja tarkistuneiden fekaalisten streptokokkien väliset korrelaatiokertoimet olivat suurempia Vantaan- kuin Keravanjoella.

Tietyt fysikaalis-kemialliset vedenlaatuominaisuudet ja erityisesti hygienian indikaattorit ilmentävät jätevesien vaikutusta. Näiden väliset korrelaatiokertoimet olivat korkeita erityisesti Vantaanjoen aineistossa. Tässä aineistossa esim. happipitoisuuden ja indikaattoreiden välinen korrelaatio oli aina negatiivinen. Keravanjoen aineistossa vastaava korrelaatio vaihteli. Sähkönjohtavuuden ja lämpökestoisten koliformisten bakteerien välinen korkea korrelaatio Vantaanjoella talvella osoittaa jätevesien vaikutusta ja sama korkea korrelaatio kesällä ja tulvakautena Keravanjoella hajakuormituksen ja huuhtoutumisen vaikutusta. Biologisen hapenkulutuksen ja indikaattoreiden välillä ei ilmennyt vahvoja korrelaatioita, mikä johtunee biologiseen hapenkulutukseen vaikuttavista erityyppisistä tekijöistä ja menetelmän indikaattoribakteerimäärityksiä huonommasta herkkyydestä. Kjeldahl- ja ammoniumtyypin sekä lämpökestoisten koliformisten bakteerien ja fekaalisten streptokokkien väliset korrelaatiot ovat vahvoja talvella Vantaanjoessa, mikä johtuu jätevesien

vaikutuksesta. Keravanjoessa lämpökestoisten koliformisten bakteerien ja ammoniumtypen välinen korrelaatio on vahva tulvakautena. Tämä johtunee huuhtoutumisesta, kuten myös nitriitin ja lämpökestoisten koliformisten bakteerien välinen voimakas korrelaatio. Kokonaisfosfori korreloi voimakkaasti kaikkien indikaattoreiden kanssa talvella Vantaanjoessa, mutta ei lainkaan Keravanjoessa. Fosforin huuhtoutuminen eroaa ilmeisen selvästi typen ja bakteereiden huuhtoutumisesta. Fosfaattifosforin ja indikaattoreiden välinen korrelaatio on samantyyppinen kuin kokonaisfosforin; voimakas Vantaanjoessa talvi- ja kesäkautena, mutta Keravanjoessa heikko.

Korrelaatiotarkastelut vahvistavat, että Vantaanjoen pääuoma on pääosin jätevesien kuormittama ja Keravanjoki taas hajakuormituksen kohde.

5 J O H T O P Ä Ä T Ö K S E T

- Kaikkien tutkittujen fekaali-indikaattoreiden pitoisuuksien ja määrien todettiin osoittavan suurta vuodenaikaisvaihtelua siten, että tulvakausi mikrobin määrät olivat suurimmillaan ja talvella suurempia kuin kesällä.
- Fekaalisten streptokokkien määrittämisessä todettiin ajoittain ja erityisesti Keravanjoen näytteissä häiriöitä. Fekaalisten streptokokkien määrittämismenetelmä vaatii lisätutkimuksia. Erityisesti maaperän ja muiden hajakuormituslähteiden bakteeristoa, joka tässä määrittämisessä tulee esiin, tulee tutkia tarkemmin.
- Lämpökestoiset koliformiset bakteerit antoivat johdonmukaisimman kuvan vesistön hygieenisestä tilasta. API 20E identifioinnin ja SFS 4088 standardin mukaisen alustavan E. coli osoituksen yhtäpitävyys oli huono. Suurin syy tähän on standardin SFS 4088 mukaisen kaasunmuodostustestien heikkous. Siirtymällä käyttämään kaasunmuodostustestissä eri kasvualustaa, LTMB-lientä, saadaan saalis paremmaksi (Niemelä ym. 1986). Koska kaikki E. coli kannat eivät muodosta kaasua sokerista (Krieg ja Holt 1984), pieni osa E. colistä väkisin jää osoittamatta vain kahteen ominaisuuteen perustuvassa varmistuksessa.
- Hygienian indikaattoribakteereiden väliset korrelaatiot vuoden 1985 aineistossa viittaavat samanlaiseen alkupe-
rään ja käyttäytymiseen, huolimatta häiriöistä fekaalisten streptokokkien määrittämisessä. Faageilla erot olivat suuremmat. Lisäksi indikaattoribakteereiden korreloituminen jätekuormasta osoittaviin fysikaalisiin ja kemiallisiin muuttujiin vahvasti käsitystä niiden kyvystä osoittaa ulosteiden tai jätevesien aiheuttamaa saastutusta.
- Eri vuosina ja eri laboratorioissa mitatut indikaattoribakteerit osoittivat heikompaa keskinäistä korrelaatiota. Tämä voi johtua vuosien välisistä todellisista

eroista vesistössä, tarkastelun rajoittumisesta uima-kauteen, jolloin vaihteluvälit muuttujien arvoissa voivat jäädä vuodenaikaisvaihtelua vähäisemmäksi, tai mittausten luotettavuudesta. Bakterimäärityksissä näyttäisi kahden laboratorion välillä olevan eroja pienen vertailuaineiston perusteella, mutta luotettava vertailu edellyttäisi tässä toteutettua tarkempaa koejärjestelyä, erityisesti näytteenoton, kuljetuksen ja näytteensäilytyksen osalta.

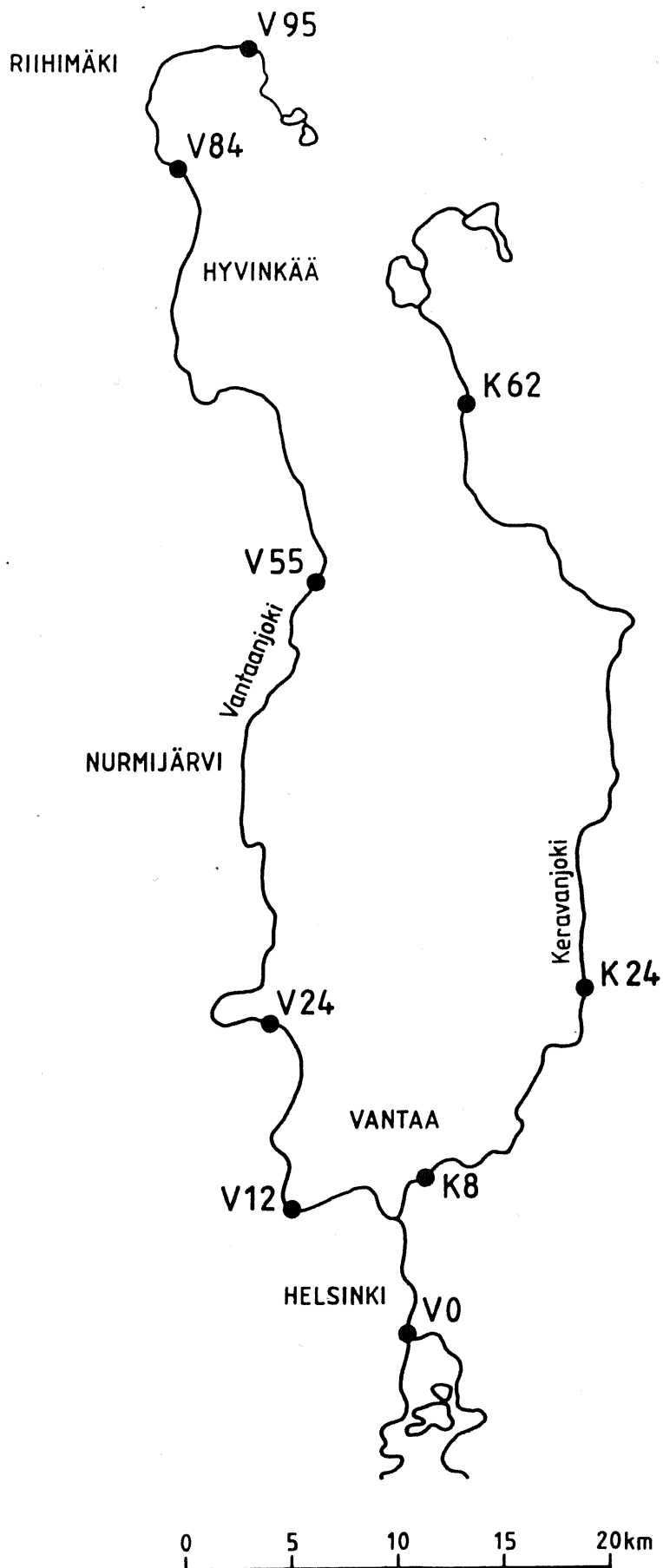
K I R J A L L I S U U S

- Adams, M.H. 1966. Bacteriophages. 592 p. 2nd ed. New York.
- Bertani, C.E. 1968. Abortive induction of bacteriophage p2. Virology 36: 87-103.
- Grabow, W.O.K. & P. Coubrough 1986. Practical direct plaque assay for coliphages in 100 ml samples of drinking water. Appl. environ. Microbiol. 52: 430-433.
- Havelaar, A.H. 1986. F-specific RNA bacteriophages as model viruses in water treatment processes. Väitöskirja. 240 s.
- Kott, Y., H. Ben-Ari & L. Vinokur 1978. Coliphage survival as viral indicator in various wastewater quality effluents. Prog. Wat. Tech. 10: 337-346.
- Krieg, N.R. ja J.G. Holt (toim.) 1984. Bergey's manual of systematic bacteriology. Vol. 1. Baltimore. 964 s. SFS 4088. Veden lämpökestoisten koliformisten bakteerien.
- Niemelä, S.I. 1969. Suolistobakteeripitoisuuden vaihtelu yhden päivän aikana yhdessä Vantaanjoen pisteessä. Vesi 2: 7-13.
- Niemelä, S.I., J. Mentu & R.M. Niemi. 1986. Comparison of liquid media for the detection of gas and/or indole formed by coliform bacteria at temperatures 44 °C and 44,5 °C. INSTA C12 AG17 Preliminary report 8. Oct. 1986.
- VHM-19 1987. Menetelmiä mikro-organismien lukumäärien määrittämiseksi vedestä, sedimentistä ja jätevesilietteestä. Standardiehdotus. Vesimikrobiologian standardisointityöryhmä. 49 s. ja liitteet. (Saatavana vesi- ja ympäristöhallituksesta).
- Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys r.y. 1984. Vantaanjoen vesistön yhteistarkkailu, vuosiyhteenveto 1983. Julkaisu n:o 19. 43 s. + 25 liitettä.

Vantaanjoki-toimikunnan mietintö. Komiteamietintö 1985:
31. 96 s.

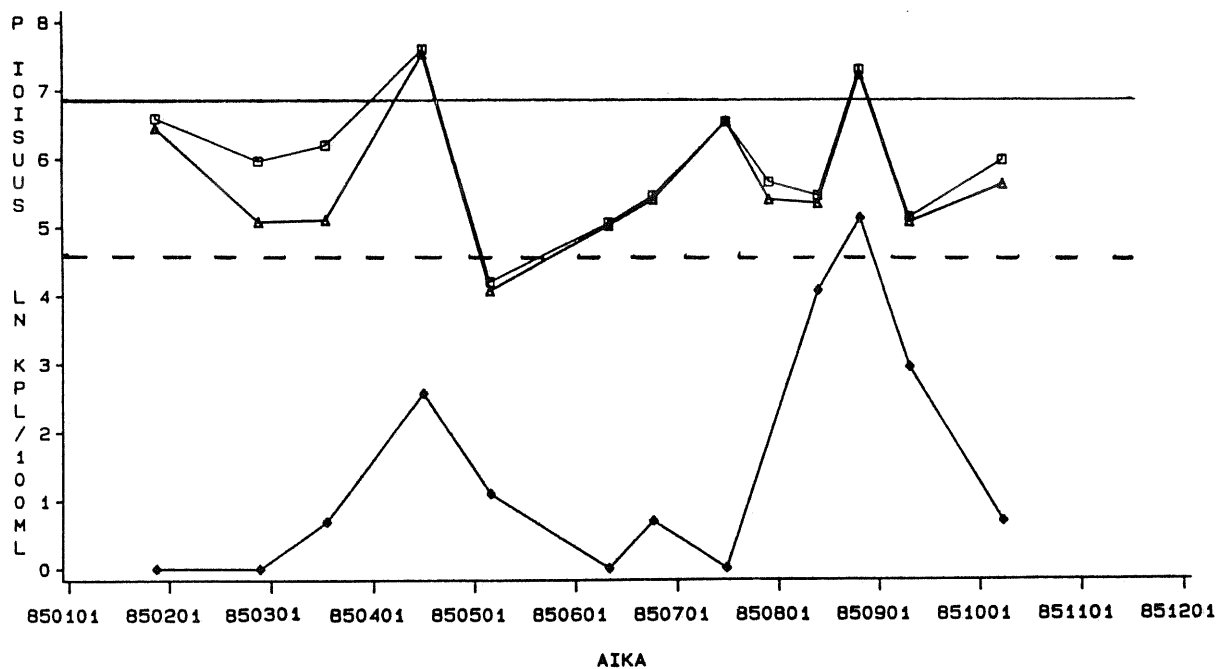
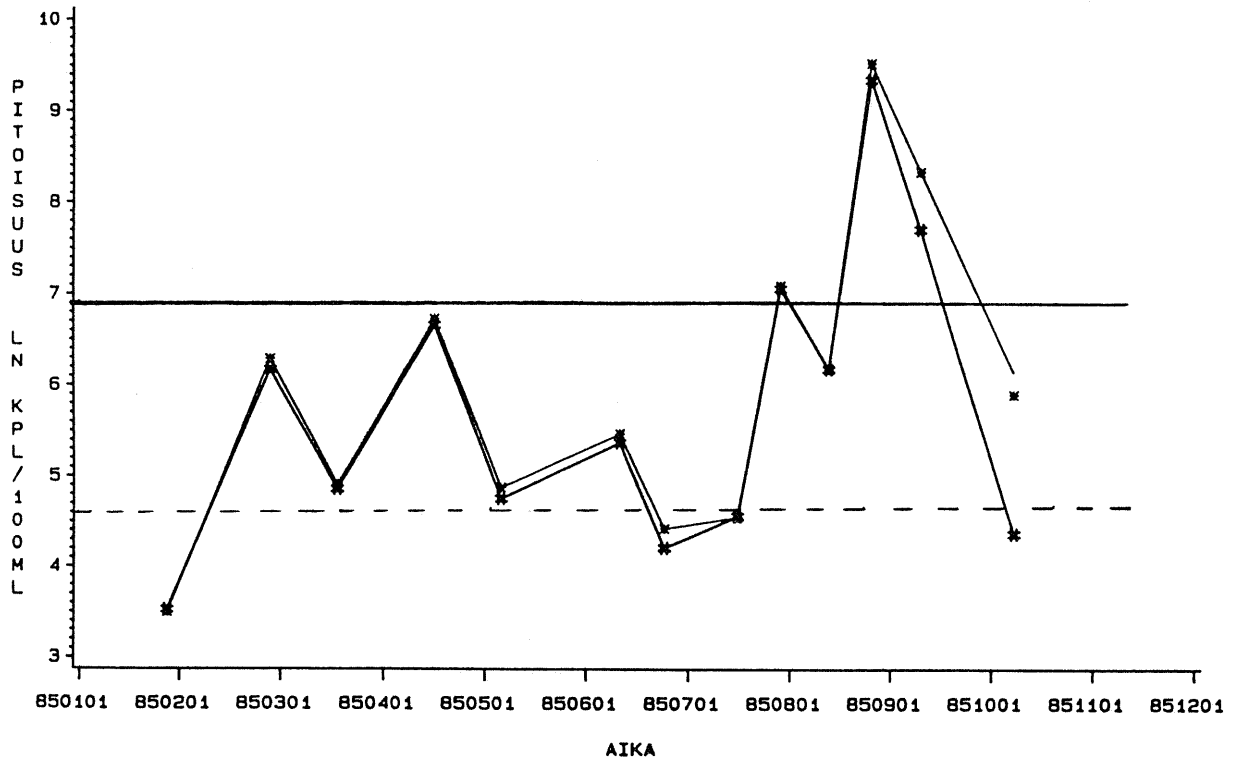
SFS 3014. Veden fekaalisten streptokokkien lukumäärän
määrittäminen pesäkemenetelmällä. 2. painos.
7 s. Suomen Standardisoimisliitto. Helsinki.

SFS 4088. Veden lämpökestoisten (Fekaalisten) koliformisten bakteerien määrittäminen kalvosuodatusmenetelmällä. 2. painos. 5 s. Suomen Standardisoimisliitto. Helsinki.



Kuva 1. Tutkimuksen kohdealue ja havaintopaikat.

VANTAANJOKI V95



Kuvat 2 - 10.

Yläkuva * = Fekaaliset streptokokit

= Varmistetut fekaaliset streptokokit

Alakuva □ - □ = Lämpökestoiset koliformiset bakteerit

△ - △ = Alustava *E. coli*

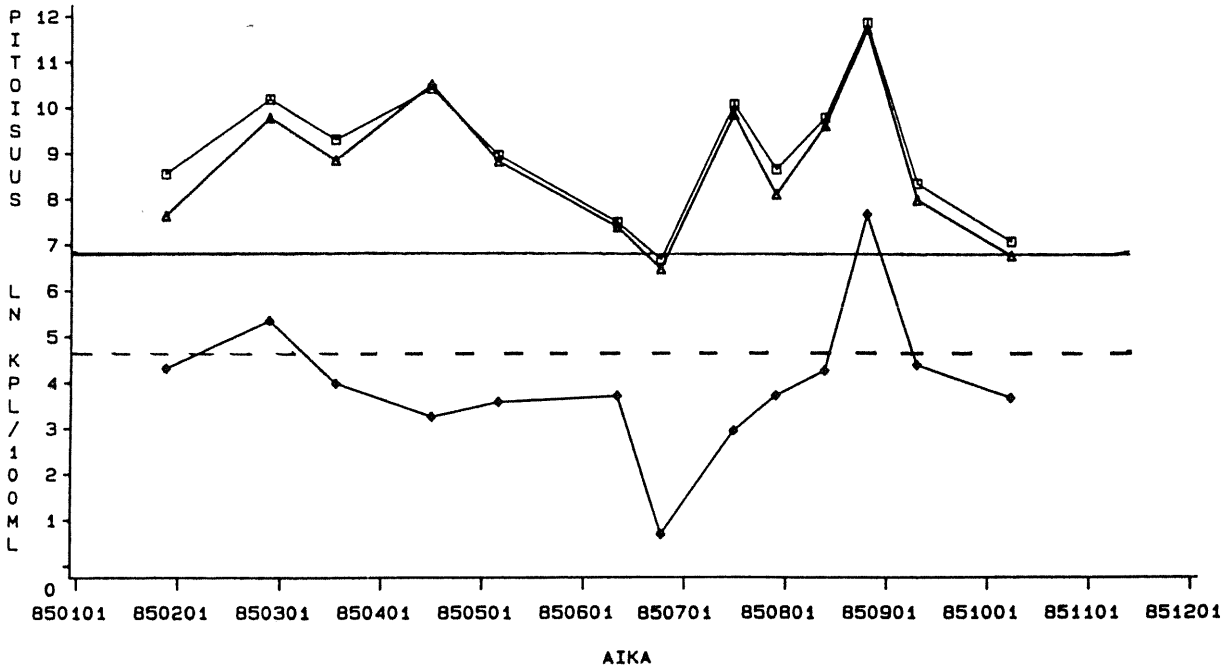
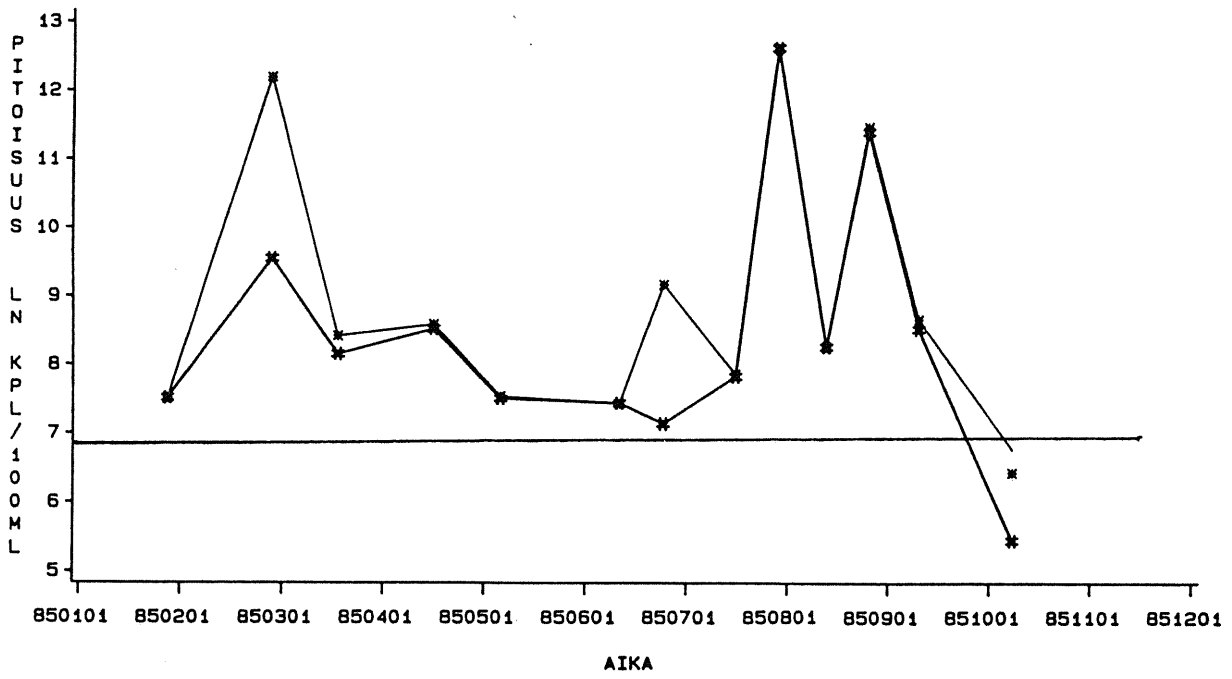
◆ - ◆ = *E. coli* C:n faagit

Molemmissa kuvissa — normiraja 1000 kpl 100 ml⁻¹

- - - normiraja 100 kpl 100 ml⁻¹

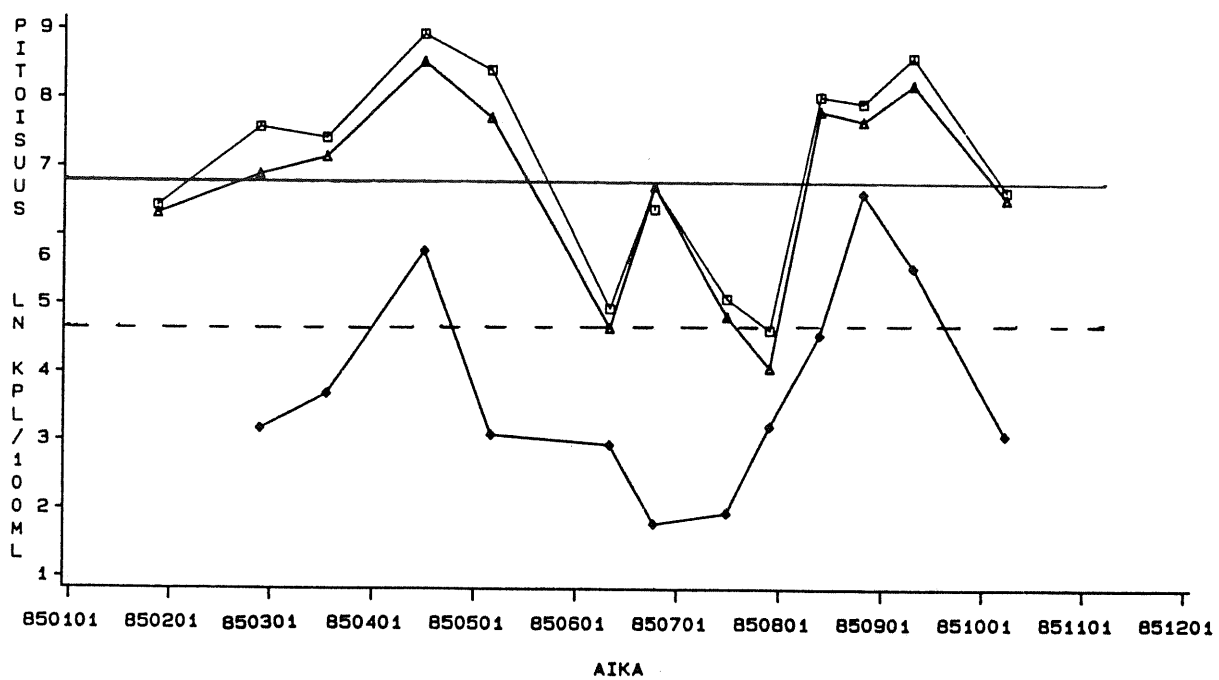
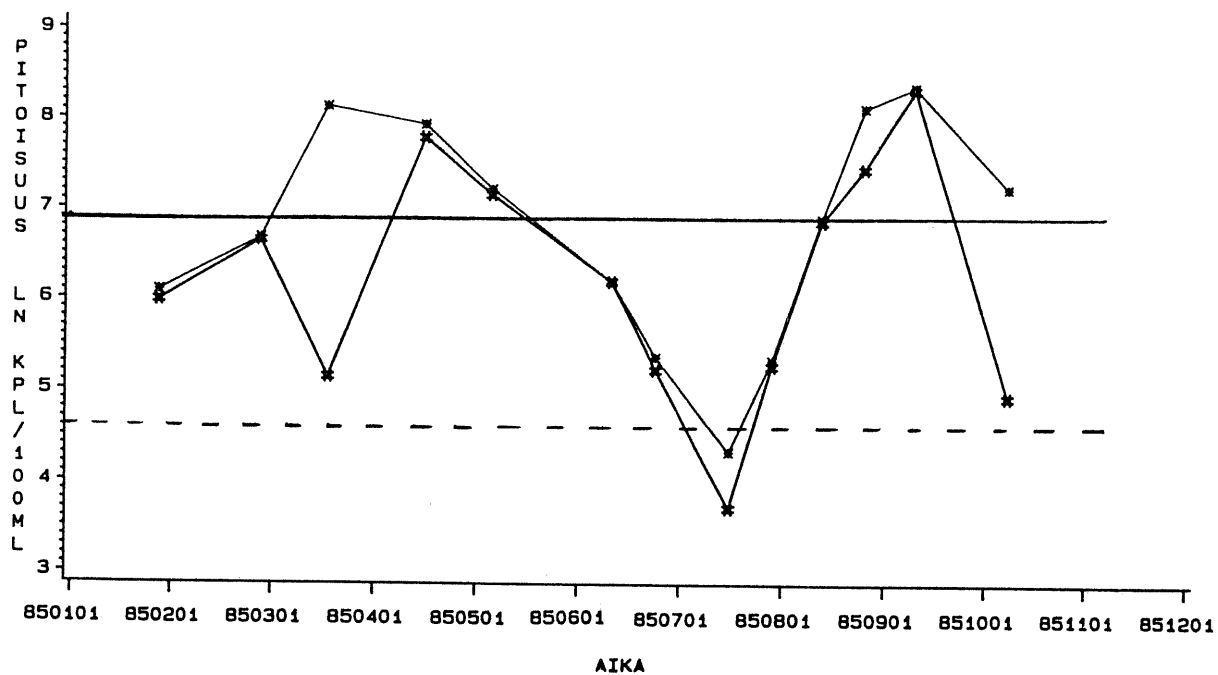
Lisäksi kuvissa 6, 7 ja 10 on esitetty havaintopaikkojen V12, VO0 ja KO8 virtaamat.

VANTAANJOKI V84



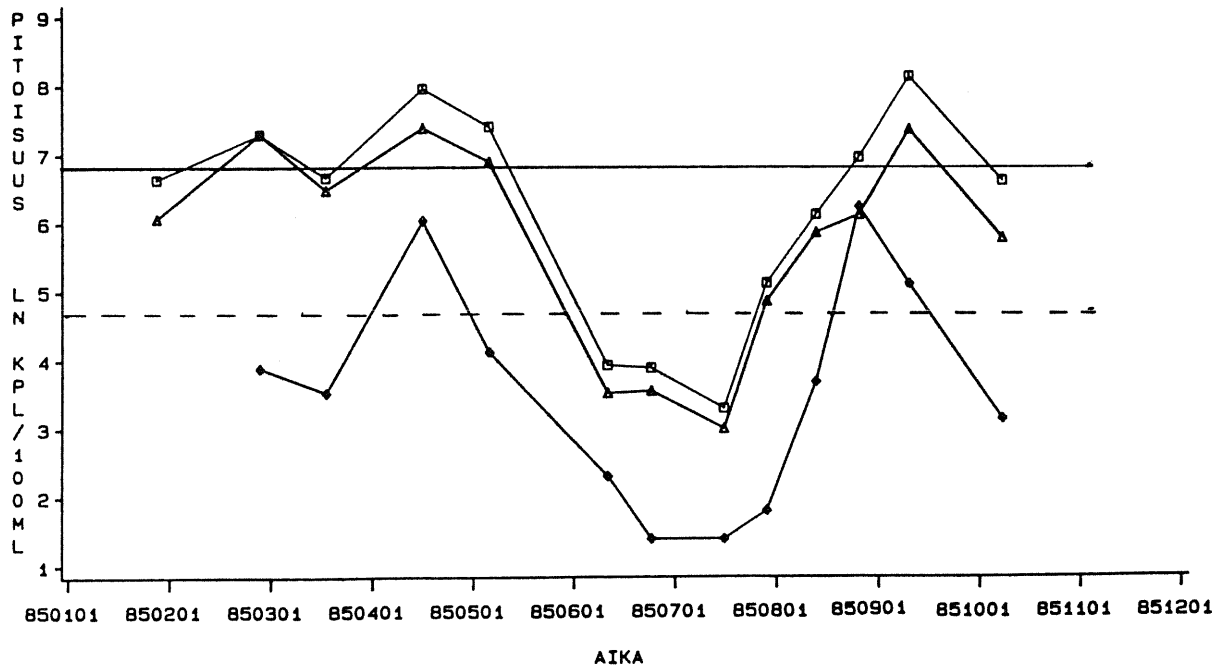
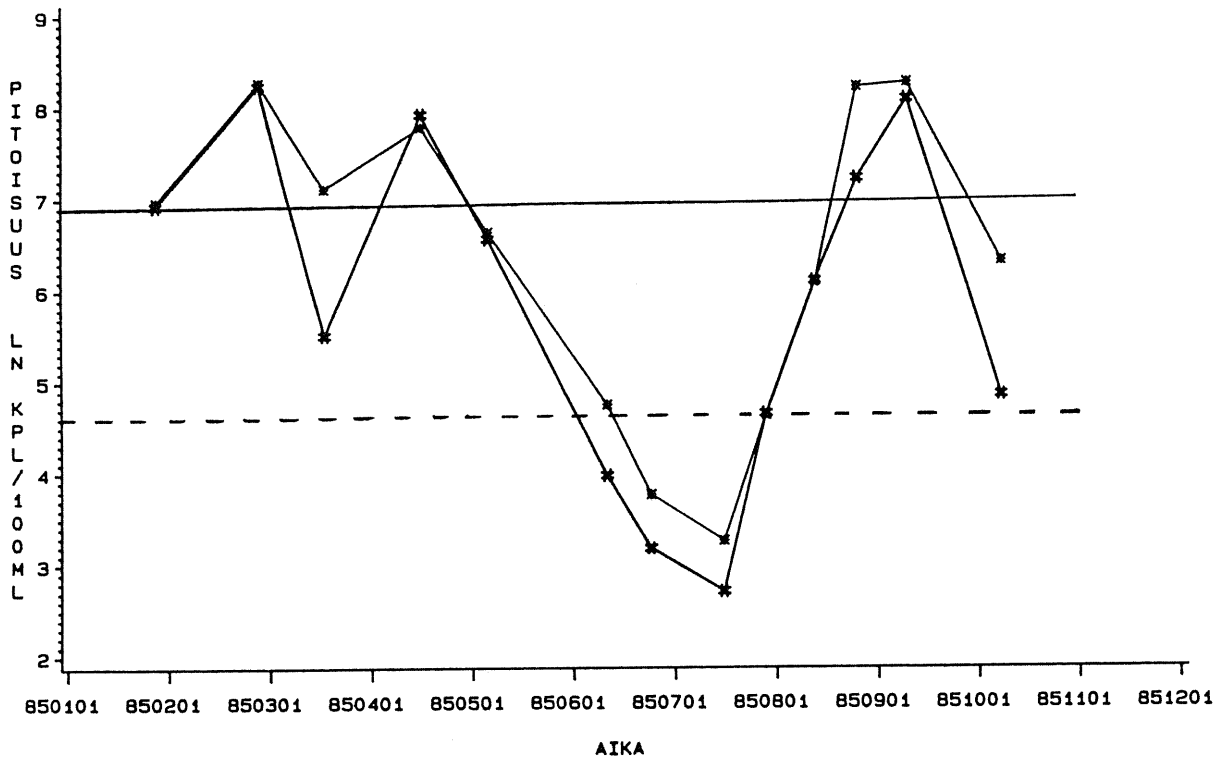
Kuva 3. Kts. kuva 2.

VANTAANJOKI V55

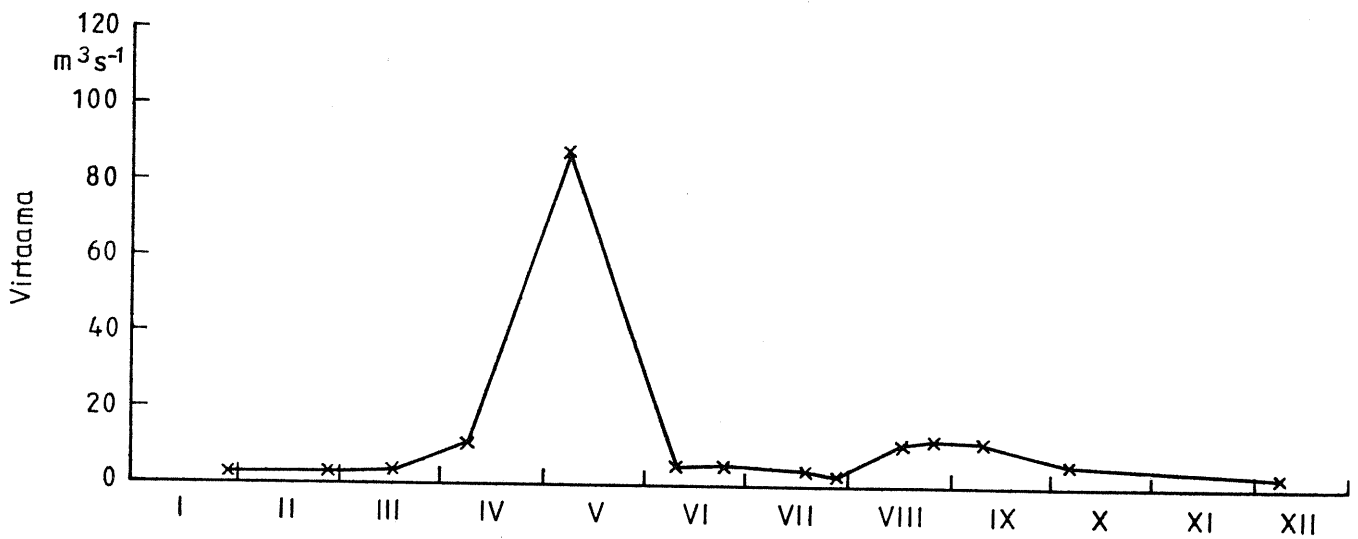
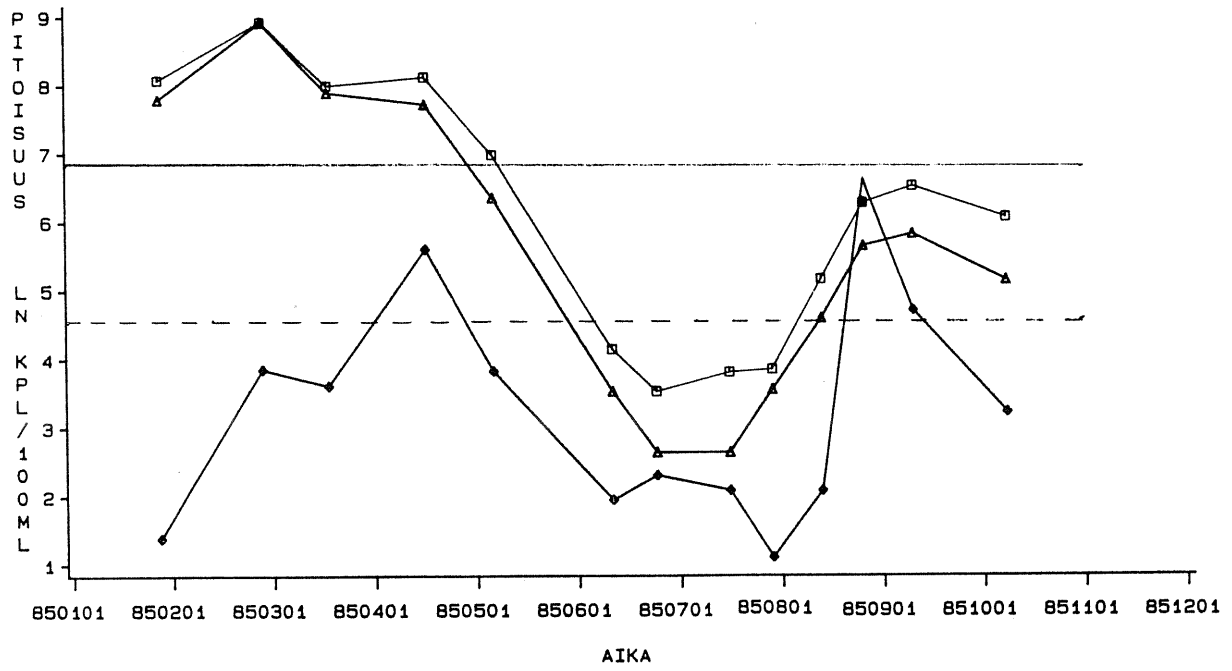
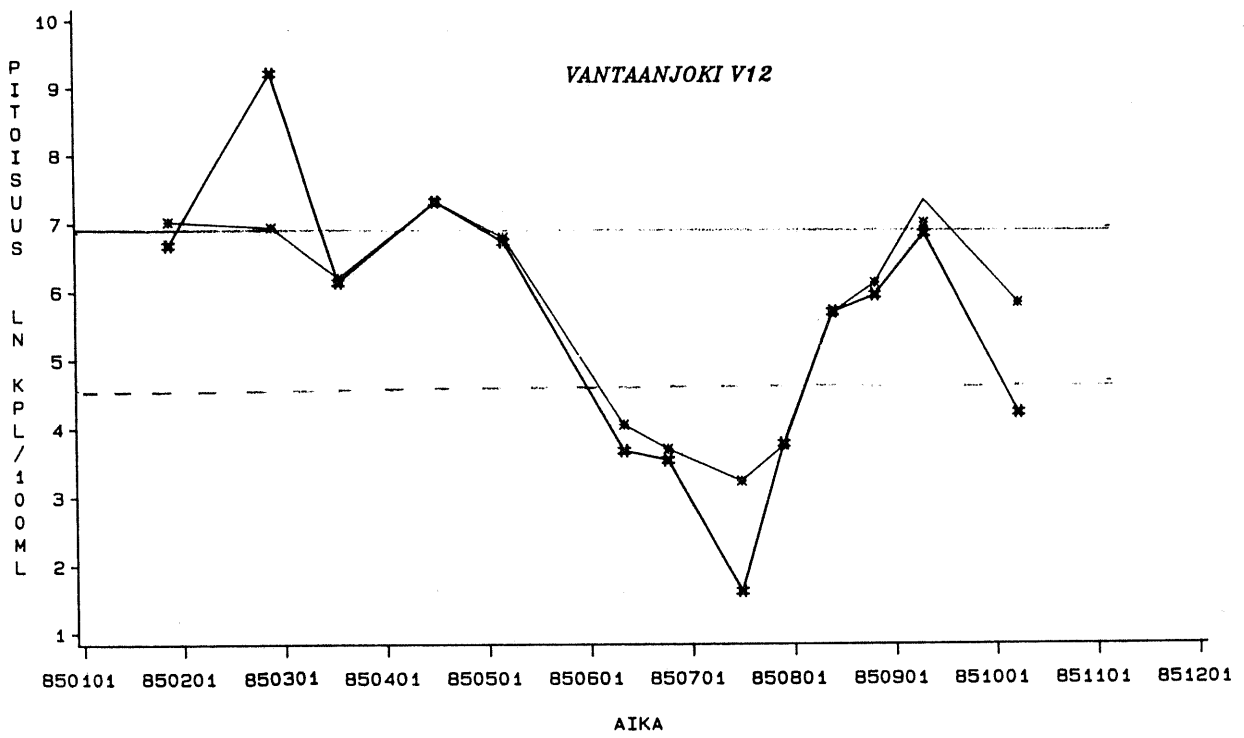


Kuva 4. Kts. kuva 2.

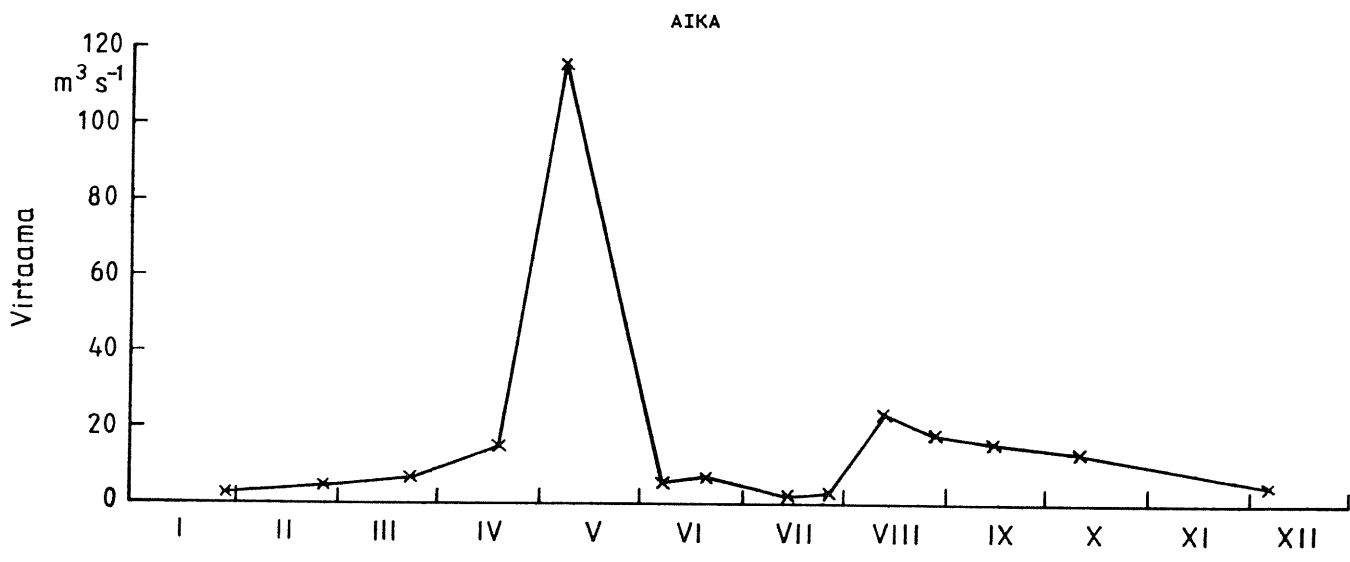
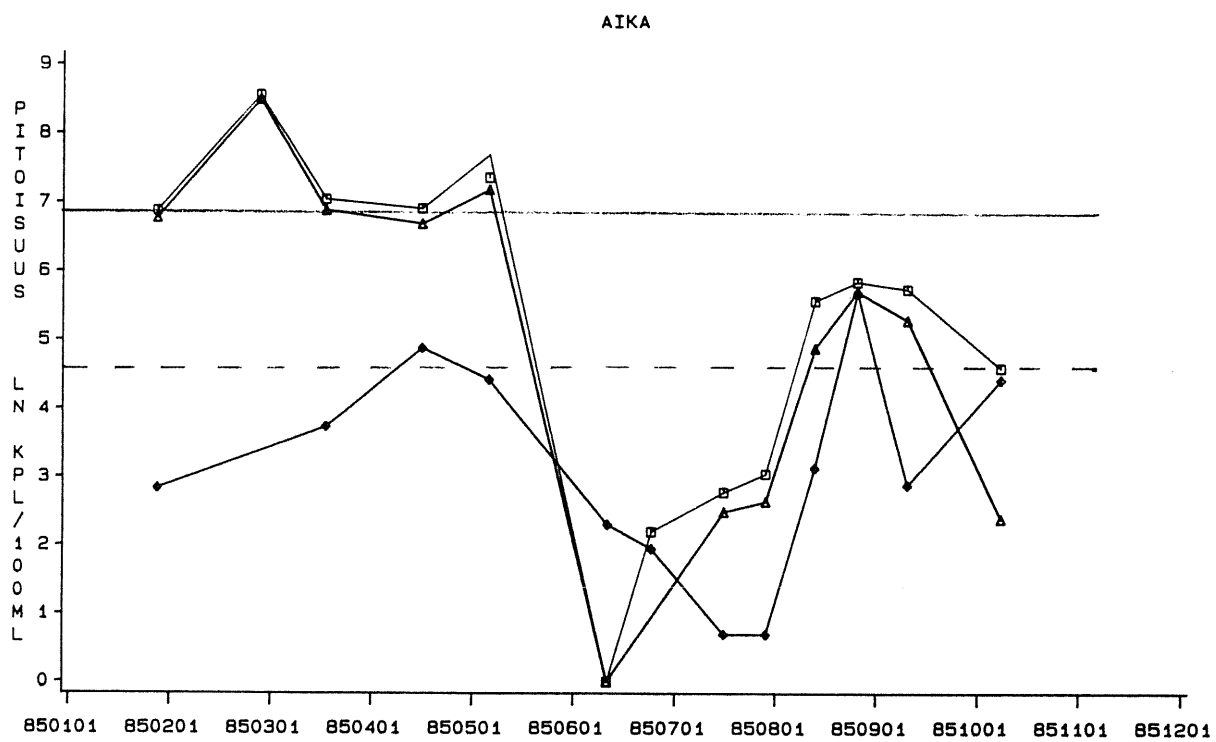
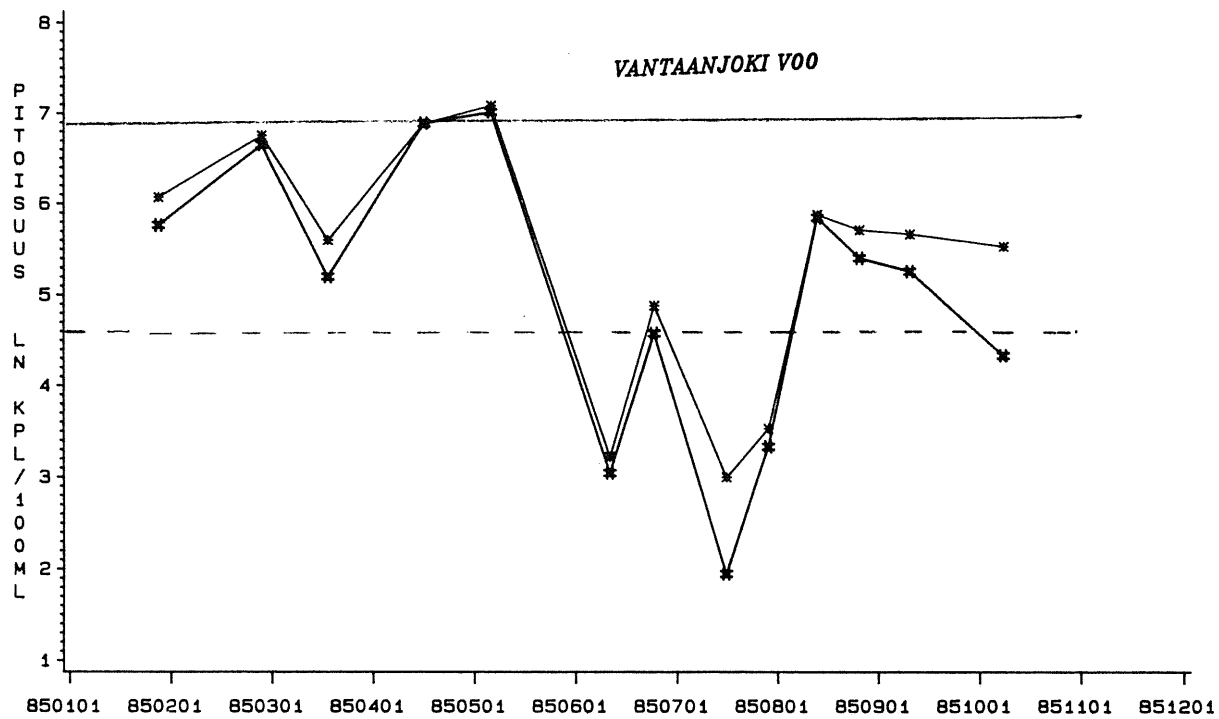
VANTAANJOKI V24



Kuva 5. Kts. kuva 2.

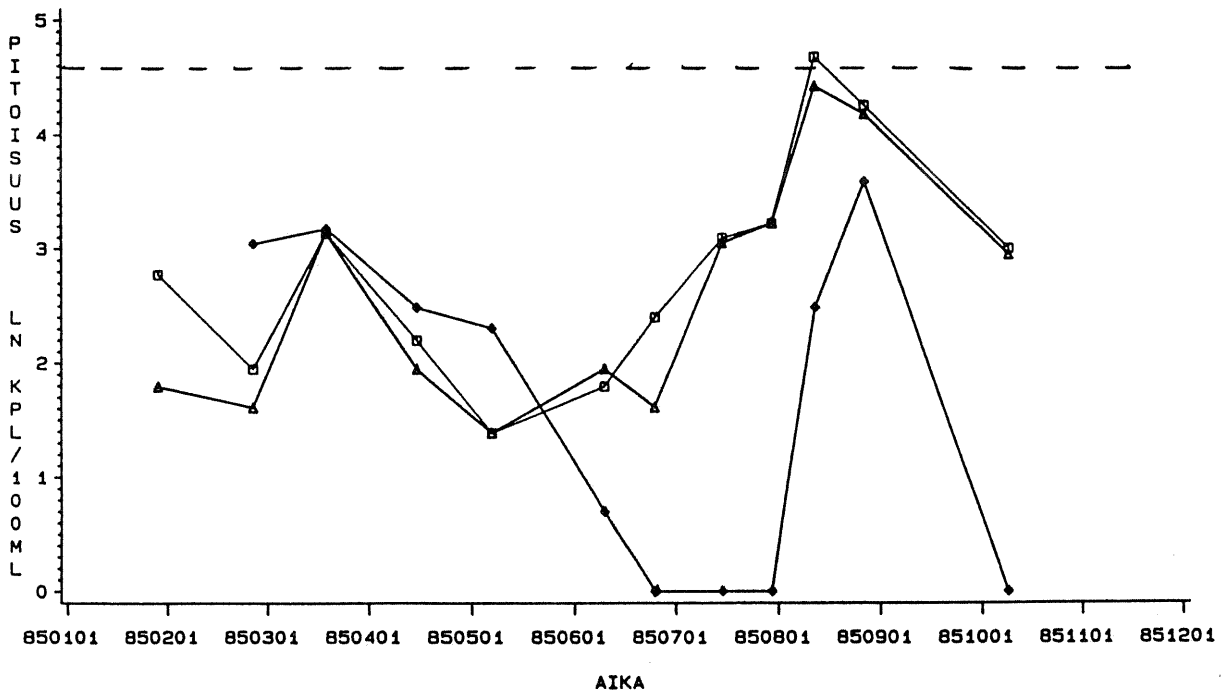
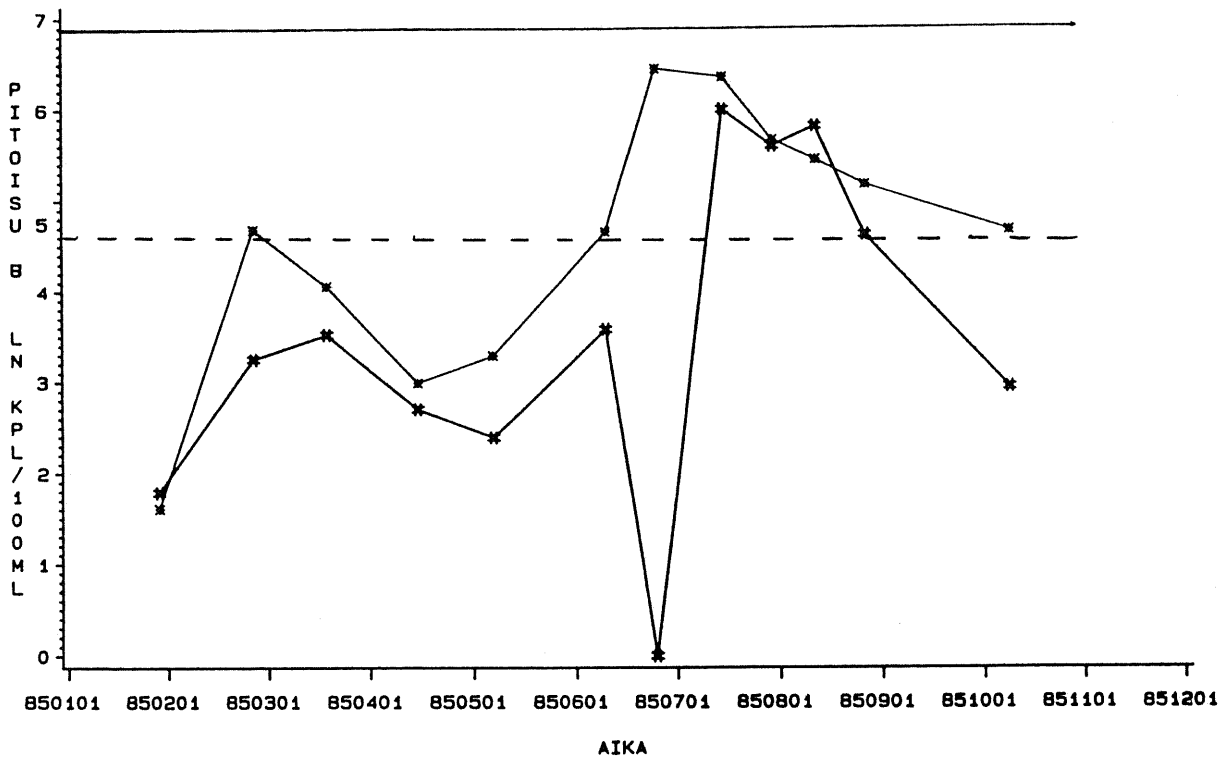


Kuva 6. Kts. kuva 2.



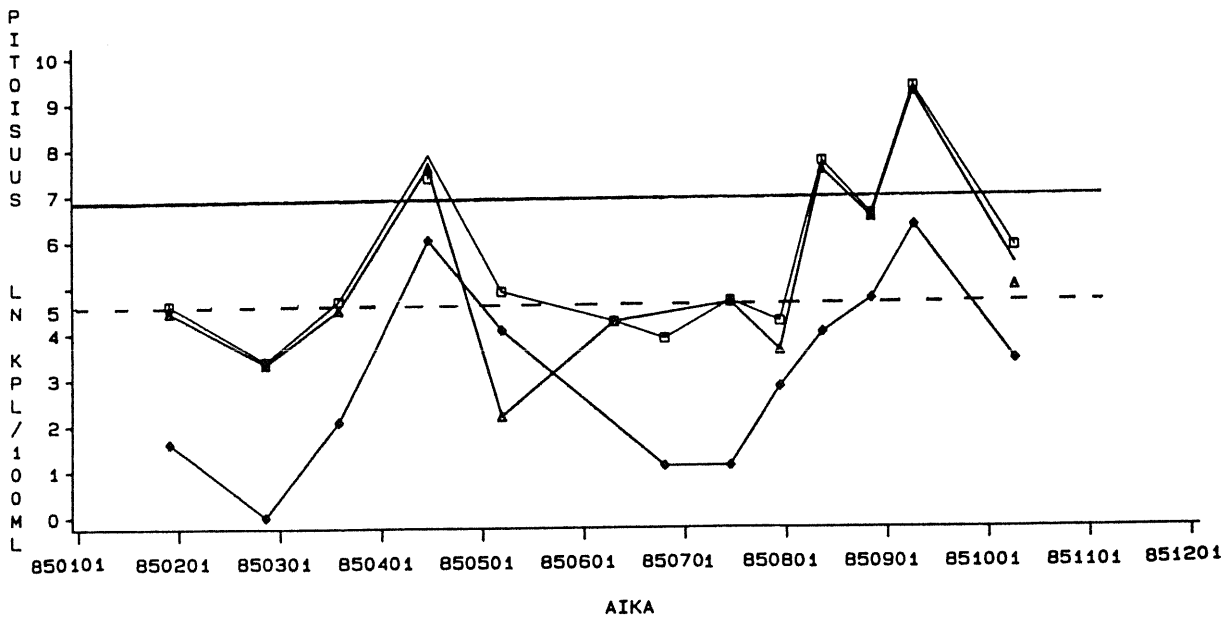
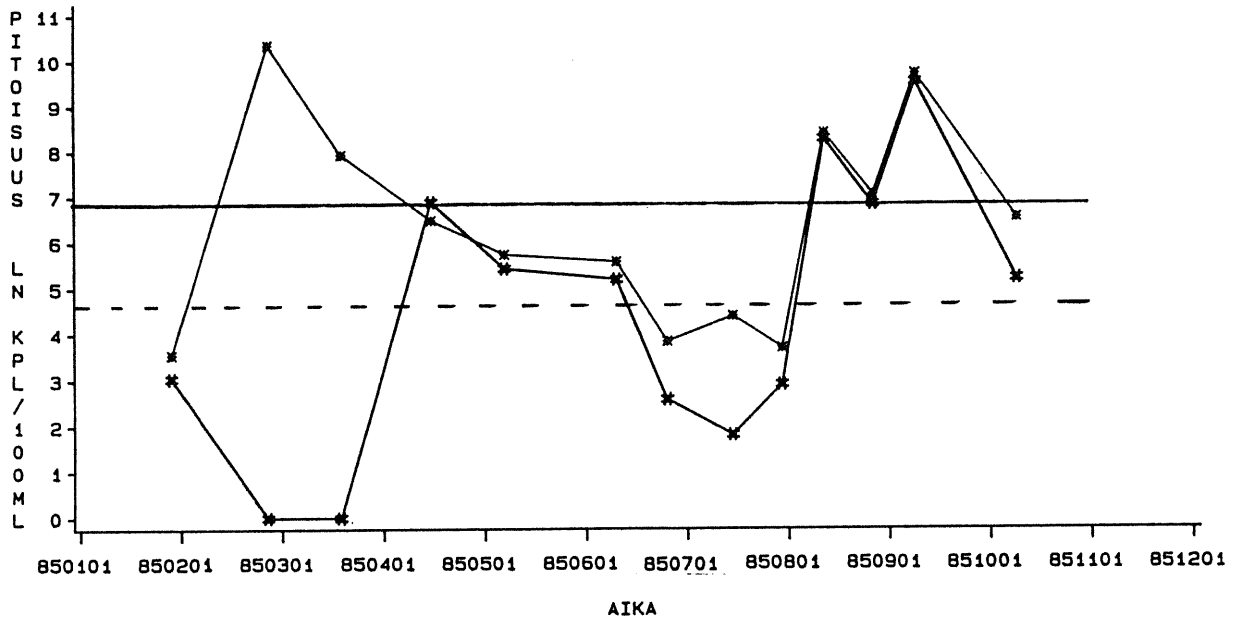
Kuva 7. Kts. kuva 2.

KERAVANJOKI K62

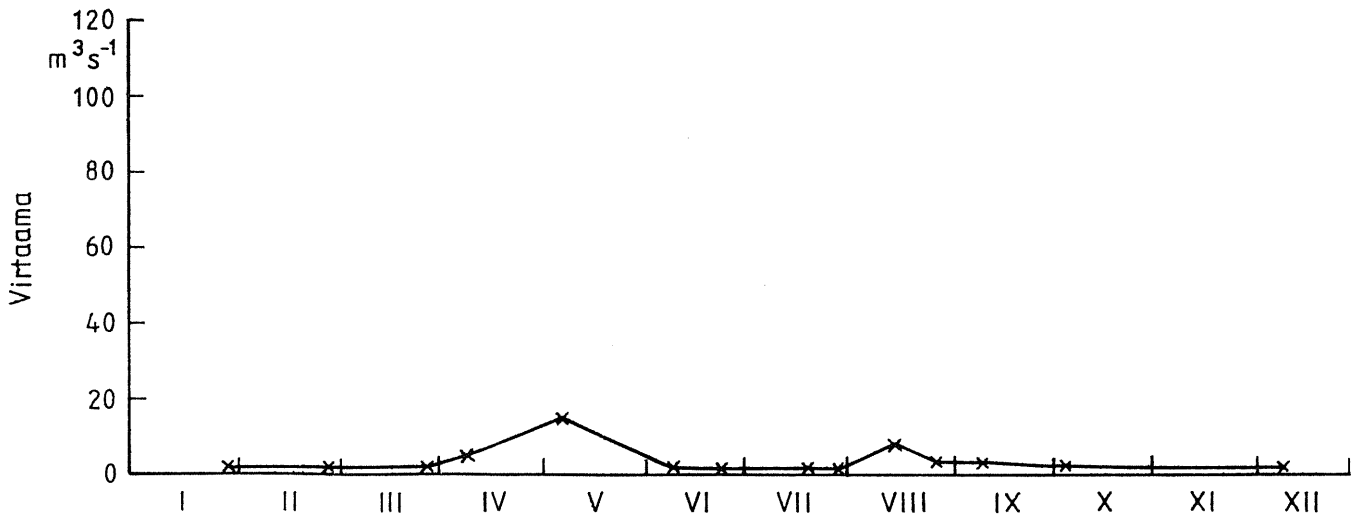
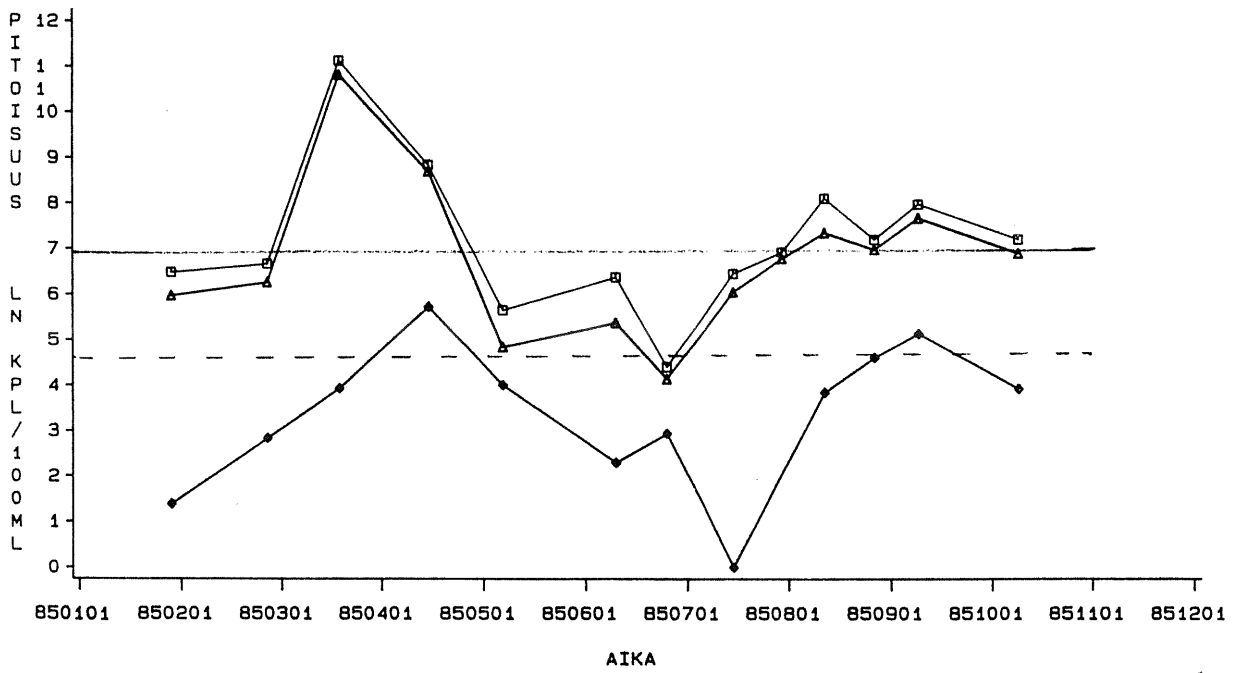
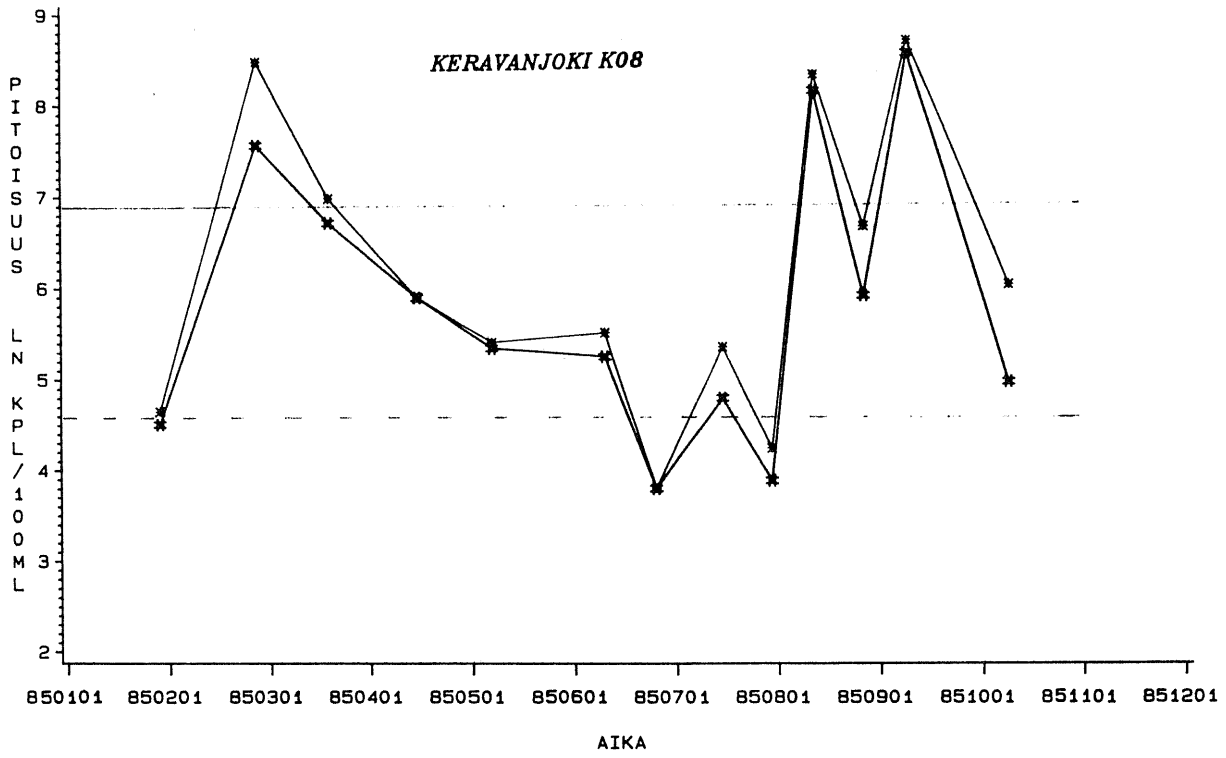


Kuva 8. Kts. kuva 2.

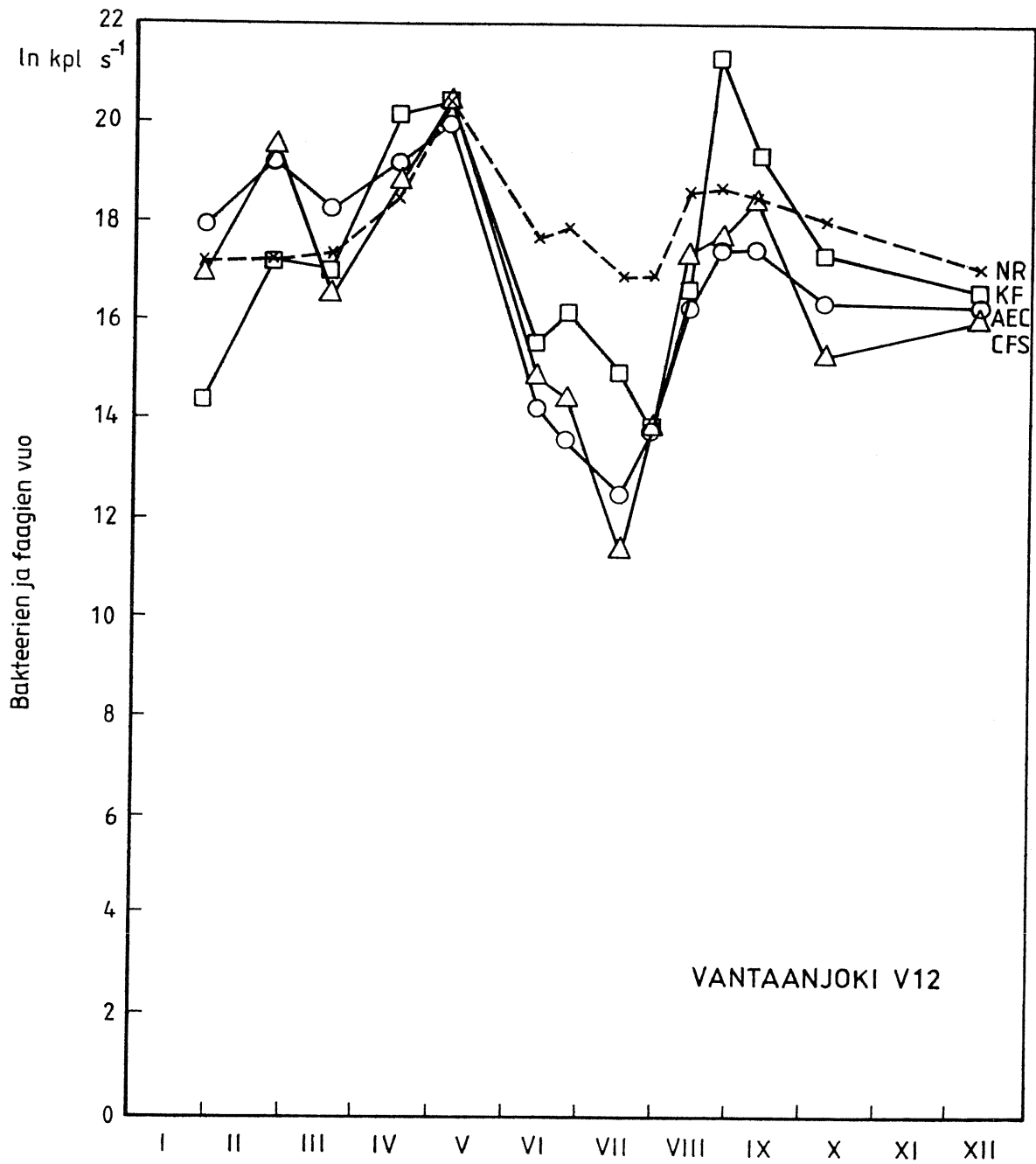
KERAVANJOKI K24



Kuva 9. Kts. kuva 2.



Kuva 10. Kts. kuva 2.



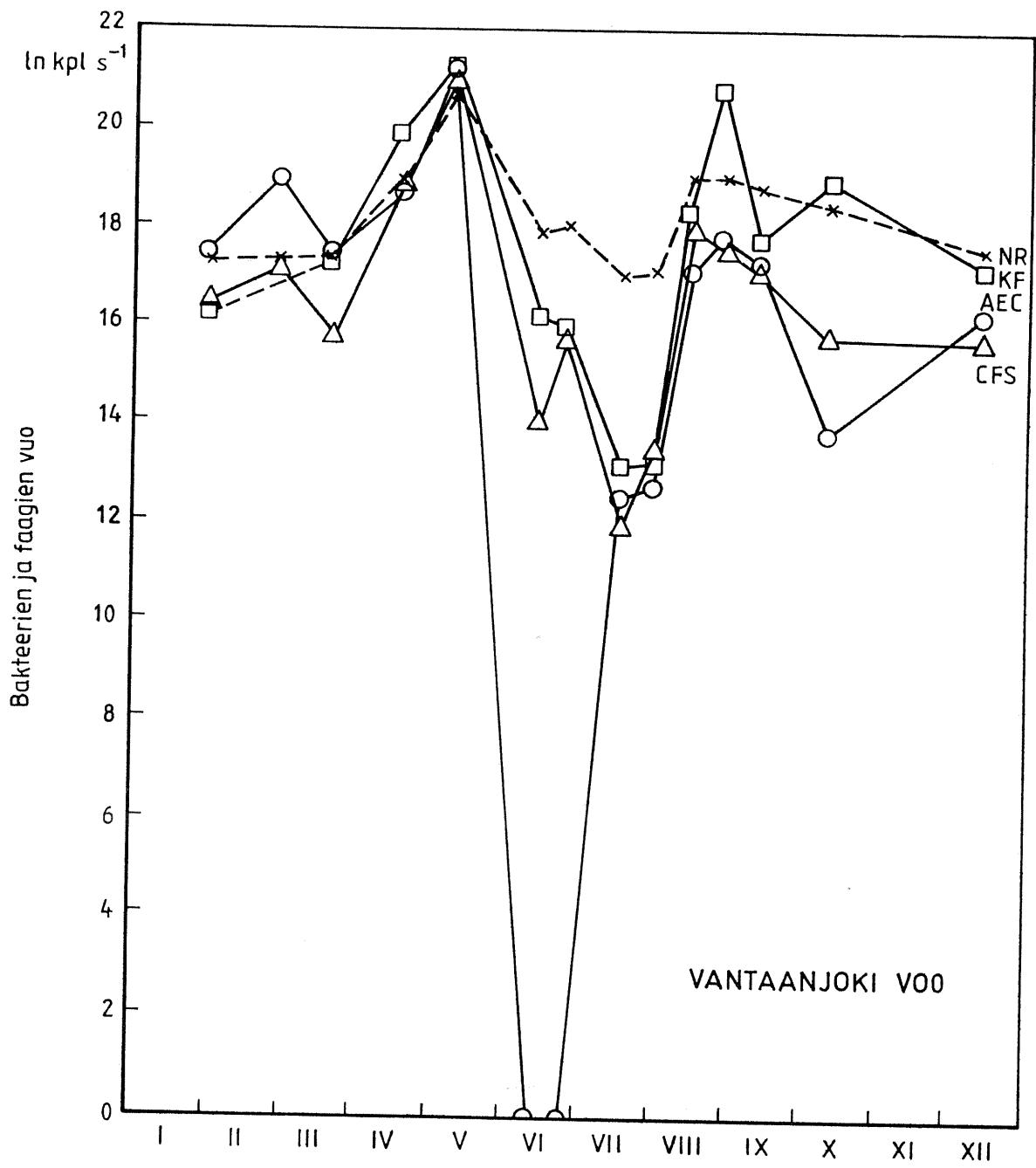
Kuvat 11 - 13. Bakteerien ja faagien vuot (= konsentraatio kertaa virtaama) havaintopaikoissa V12, V00 ja K08.

X - - - X = Normiraja 1000 kpl 100 ml⁻¹ (NR)

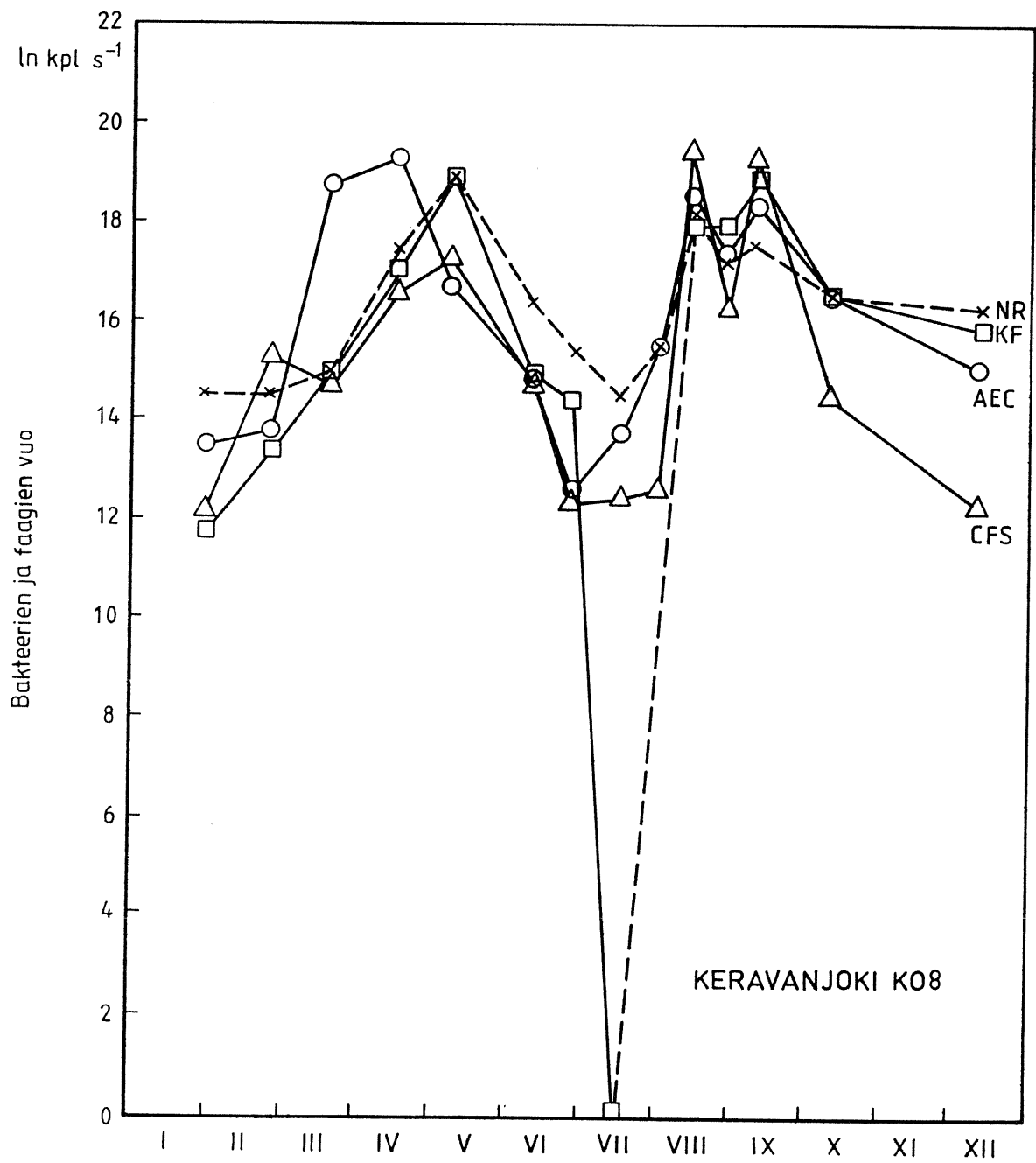
□ - □ = *E. coli* C:n faagit (KF)

○ - ○ = Alustava *E. coli* (AEC)

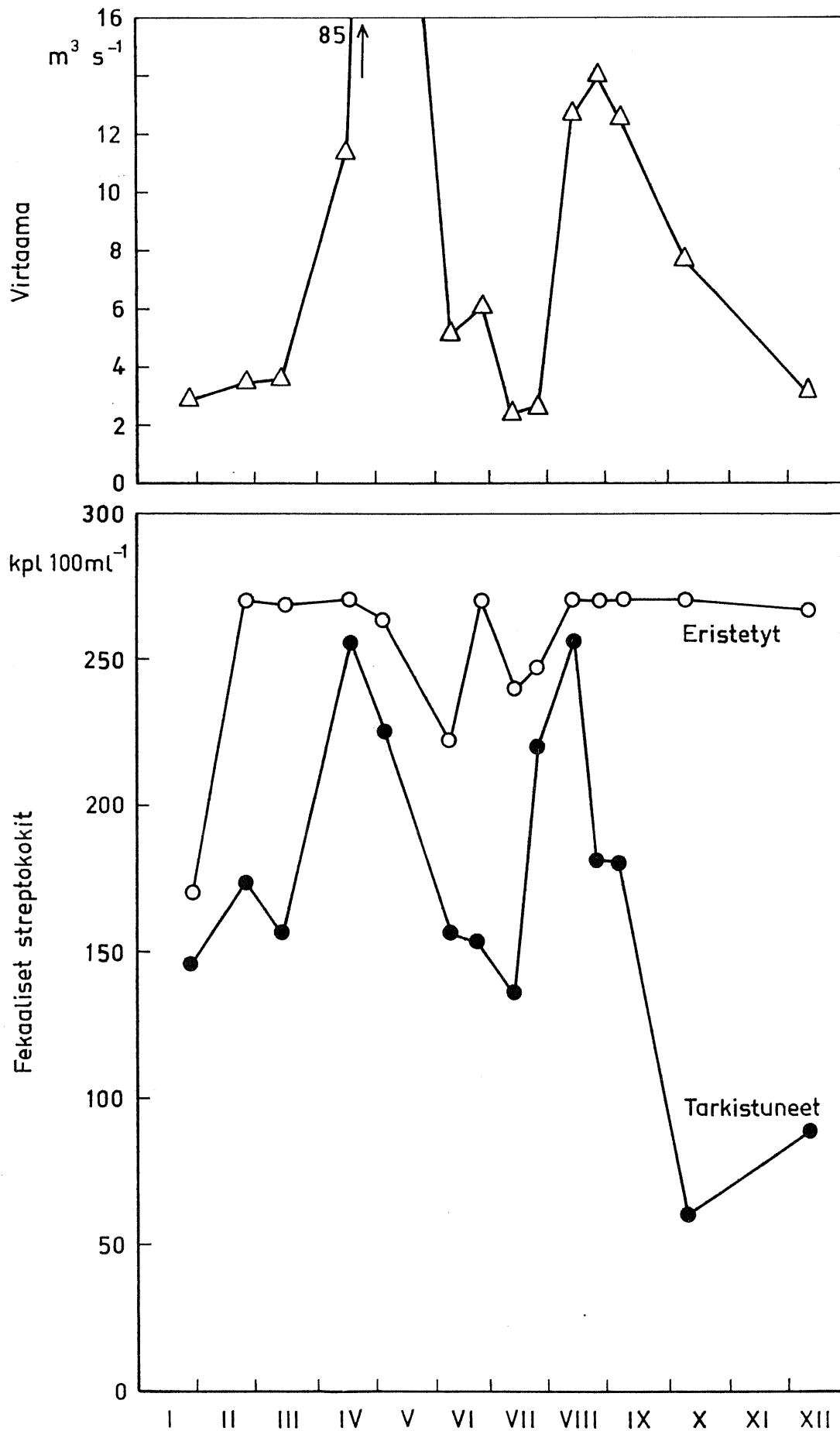
△ - △ = Tarkistuneet fekaaliset streptokokit (CFS)



Kuva 12. Kts. kuva 11.



Kuva 13. Kts. kuva 11.



Kuva 14. Virtaamat sekä tarkistuneiden fekaalisten streptokokkien osuus eristetyistä.

TAULUKKO 1. Keravanjoesta ja Vantaanjoesta vuonna 1985 koottu hygieniaindikaattoriaineisto havainto-
paikoittain ja näytteenottopäivämäärittäin lajiteltuna, FC = fekaaliset koliformiset bak-
teerit, FCLRAJ \pm 95 %:n luotettavuusraja, AEC = alustava E.coli, FS = fekaaliset strep-
tokokit ja FSLRAJ niiden \pm 95 %:n luotettavuusraja, CFS = tarkistuneet fekaaliset strep-
tokokit, KF = kolifaagit ja KFLRAJ niiden \pm 95 %:n luotettavuusraja. Pitoisuudet ilmoitettu
kappaleina sataa millilitraa kohden.

Havainnon nro	Havainto- paikka	pvm vv kk pp	FC	FCLRAJ	AEC	FS	FSLRAJ	CFS	KF	KFLRAJ
1	KO8	85 01 29	650	109	390	105	46	90	3	2
2	KO8	85 02 25	781	122	520	4833	1269	1933	16	6
3	KO8	85 03 19	68000	11662	49865	1081	143	829	50	10
4	KO8	85 04 15	6900	1175	5980	365	85	365	305	78
5	KO8	85 05 07	285	75	126	225	67	210	54	10
6	KO8	85 06 10	590	109	216	250	71	192	9	4
7	KO8	85 06 25	81	39	62	45	9	44	18	6
8	KO8	85 07 15	636	108	424	214	62	121	0	.
9	KO8	85 07 30	1023	136	886	70	11	48	.	.
10	KO8	85 08 12	3350	819	1570	4273	881	3559	46	13
11	KO8	85 08 27	1359	157	1087	805	121	375	100	45
12	KO8	85 09 09	2955	733	2167	6273	1068	5436	170	58
13	KO8	85 10 09	1364	498	1002	425	92	146	50	10
14	KO8	85 12 09	409	86	314	49	9	18	35	8
15	K24	85 01 29	100	45	86	35	26	20	4	3
16	K24	85 02 25	29	8	27	31000	7874	0	0	.
17	K24	85 03 19	109	14	90	2733	302	0	7	4
18	K24	85 04 15	2650	297	2032	650	114	650	415	91
19	K24	85 05 07	135	52	8	310	79	227	58	11
20	K24	85 06 10	70	37	70	264	69	178	.	.
21	K24	85 06 25	48	30	.	46	9	12	2	2
22	K24	85 07 15	110	14	106	80	40	5	2	2
23	K24	85 07 30	70	11	37	40	28	17	16	5
24	K24	85 08 12	2300	678	1917	4350	933	3823	55	14
25	K24	85 08 27	732	115	683	1150	145	920	115	48
26	K24	85 09 09	11682	1457	10514	16136	1713	13445	570	107
27	K24	85 10 09	359	81	251	673	111	179	30	7
28	K24	85 12 09	318	76	276	459	91	168	13	5
29	K62	85 01 29	15	17	5	5	10	5	.	.
30	K62	85 02 25	6	3	4	108	14	25	20	9
31	K62	85 03 19	22	7	22	58	11	33	23	7
32	K62	85 04 15	8	3	6	20	4	14	11	5
33	K62	85 05 07	3	2	3	27	7	10	9	4
34	K62	85 06 10	5	3	6	106	14	35	1	1
35	K62	85 06 25	10	6	4	636	11	0	0	.
36	K62	85 07 15	21	6	20	582	103	407	0	.
37	K62	85 07 30	24	7	24	290	23	271	0	.
38	K62	85 08 12	106	14	82	234	21	338	11	6
39	K62	85 08 27	69	11	64	178	18	101	35	26
40	K62	85 10 09	19	6	18	107	14	18	0	.
41	K62	85 12 09	15	5	7	175	18	6	6	5
42	VOO	85 01 28	968	133	871	432	89	318	16	6
43	VOO	85 02 26	5200	1020	4854	855	125	769	.	.
44	VOO	85 03 18	1143	148	973	270	73	180	41	9
45	VOO	85 04 16	1000	135	800	973	188	973	130	15
46	VOO	85 05 06	2200	663	1320	1181	150	1102	82	12
47	VOO	85 06 11	0	.	0	25	22	20	9	4
48	VOO	85 06 24	8	5	.	131	15	96	6	3
49	VOO	85 07 16	15	5	11	20	6	6	1	.
50	VOO	85 07 29	20	6	13	34	8	27	1	.
51	VOO	85 08 13	264	69	132	355	80	343	22	6
52	VOO	85 08 26	350	80	303	300	74	220	300	77
53	VOO	85 09 10	314	76	199	286	74	190	17	6
54	VOO	85 10 08	99	13	10	250	67	75	83	12
55	VOO	85 12 10	341	79	273	432	89	160	33	8

Havainnon nro	Havainto- paikka	pvm vv kk pp	FC	FCLRAJ	AEC	FS	FSLRAJ	CFS	KP	KFCRAJ
56	V12	85 01 28	3227	766	2420	1123	143	795	3	2
57	V12	85 02 26	7500	1178	7425	1123	185	1045	46	13
58	V12	85 03 18	2950	768	2655	490	99	457	36	8
59	V12	85 04 16	3350	819	2234	1495	165	1495	270	73
60	V12	85 05 06	1073	198	572	886	190	827	45	9
61	V12	85 06 11	62	34	33	57	33	38	6	3
62	V12	85 06 24	33	8	13	40	9	33	9	4
63	V12	85 07 16	44	9	13	25	7	4	7	4
64	V12	85 07 29	46	9	34	42	9	42	2	2
65	V12	85 08 13	173	56	98	291	73	291	7	4
66	V12	85 08 26	527	98	281	445	90	371	745	122
67	V12	85 09 10	673	111	336	1477	164	906	110	50
68	V12	85 10 08	427	88	171	332	78	66	24	7
69	V12	85 12 10	923	130	461	1559	168	312	31	7
70	V24	85 01 28	767	160	434	1064	139	1018	.	.
71	V24	85 02 26	1482	164	1482	3900	883	3770	48	10
72	V24	85 03 18	785	125	654	1223	149	245	33	8
73	V24	85 04 16	2850	755	1615	2333	283	2333	420	92
74	V24	85 05 06	1650	547	990	759	117	701	61	11
75	V24	85 06 11	50	30	33	115	48	52	9	4
76	V24	85 06 24	48	9	34	43	9	23	3	2
77	V24	85 07 16	26	7	19	26	7	14	3	2
78	V24	85 07 29	167	17	128	103	14	103	5	3
79	V24	85 08 13	455	91	349	440	90	440	39	8
80	V24	85 08 26	1045	138	453	3682	818	1350	510	101
81	V24	85 09 10	3363	782	1570	3864	838	3220	165	57
82	V24	85 10 08	741	116	321	541	99	126	22	6
83	V24	85 12 10	992	182	983	2600	721	1209	35	8
84	V55	85 01 28	618	106	552	441	90	394	.	.
85	V55	85 02 26	1950	624	977	795	120	769	23	7
86	V55	85 03 18	1664	174	1262	3400	825	170	39	9
87	V55	85 04 16	7600	1233	5065	2775	304	2400	320	80
88	V55	85 05 06	4500	95	2250	1364	157	1273	21	6
89	V55	85 06 11	140	53	105	490	99	490	18	6
90	V55	85 06 24	832	123	832	214	62	185	5	3
91	V55	85 07 16	162	56	124	76	38	40	6	3
92	V55	85 07 29	102	14	58	207	19	193	24	7
93	V55	85 08 13	3095	768	2500	982	13	949	95	13
94	V55	85 08 26	2809	732	2154	3350	819	1705	750	122
95	V55	85 09 10	5500	1000	3667	4227	877	4086	255	71
96	V55	85 10 08	777	119	697	1373	158	137	21	6
97	V55	85 12 10	2500	674	2083	5955	1041	2779	30	7
98	V84	85 01 28	5182	971	2073	1825	.	1825	74	12
99	V84	85 02 26	26500	7280	17650	197500	25658	13825	210	65
100	V84	85 03 18	10955	1411	6938	4500	949	3450	53	10
101	V84	85 04 16	33500	8185	24550	5350	1034	4994	25	7
102	V84	85 05 06	7818	1192	6795	1877	185	1815	35	8
103	V84	85 06 11	1800	600	1620	1691	175	1691	40	9
104	V84	85 06 24	800	400	648	9455	1311	1260	1	.
105	V84	85 07 16	23500	6860	18800	2591	686	2504	18	6
106	V84	85 07 29	5700	1068	3300	300000	.	300000	40	9
107	V84	85 08 13	17500	5916	14700	3864	838	3864	70	11
108	V84	85 08 26	140000	16733	121335	94500	13748	88200	2130	206
109	V84	85 09 10	4136	867	2895	5773	1024	5003	79	12
110	V84	85 10 08	1173	146	860	873	126	232	38	8
111	V84	85 12 10	3773	828	3270	8000	1206	6132	106	14

Havainnon nro	Havainto- paikka	pvm vv kk pp	FC	FCLRAJ	AEC	FS	FSLRAJ	CFS	KF	KFCRAJ
112	V95	85 01 28	727	115	629	33	25	33	0	.
113	V95	85 02 26	386	84	158	536	99	475	0	.
114	V95	85 03 18	485	98	162	135	52	127	1	1
115	V95	85 04 16	1982	190	1850	830	129	775	12	5
116	V95	85 05 06	65	36	57	130	51	114	2	2
117	V95	85 06 11	155	56	149	235	69	212	0	.
118	V95	85 06 24	230	65	217	83	12	66	1	.
119	V95	85 07 16	677	111	677	94	13	94	0	.
120	V95	85 07 29	280	75	216	1190	154	1150	.	.
121	V95	85 08 13	230	68	205	477	93	477	57	10
122	V95	85 08 26	1445	162	1349	13636	1575	11364	165	57
123	V95	85 09 10	167	17	156	4136	867	2206	18	6
124	V95	85 10 08	382	83	267	464	92	77	1	.
125	V95	85 12 10	99	13	92	3682	818	614	1	1

Taulukko 2. Vantaanjoen vesistön lämpökestoisten koliformisten bakteerien jakautuminen varmistus-
 testeissä havaintopaikoittain (14 ajankohdan havainnot).

Havainto- paikka	1 ¹⁾ 2 ²⁾ 3 ³⁾ 4 ⁴⁾				1 2 3 4				1 2 3 4				1 2 3 4				1 2 3 4				Yhteensä
	kpl	%	kpl	%	kpl	%	kpl	%	kpl	%	kpl	%	kpl	%	kpl	%	kpl	%	kpl	%	
V95	291	75	13	3,4	56	15	10	2,6	3	0,8	2	0,5	11	2,8	2	0,5	23	5,8	7	1,8	386
V84	274	69	22	5,6	41	10	24	6,1	4	1,0	4	1,0	23	5,8	7	1,8	395				
V55	292	72	26	6,4	52	13	9	2,2	4	1,0	17	4,2	6	1,5	406						
V24	241	60	24	6,0	89	22	15	3,8	0	0,0	30	7,5	1	0,3	400						
V12	210	54	22	5,6	88	22	13	3,3	3	0,8	46	12	10	2,6	392						
V00	244	66	14	3,8	63	17	14	3,8	0	0,0	14	3,8	21	5,7	370						
K62	251	80	18	5,7	34	11	6	1,9	4	1,3	2	0,6	0	0,0	315						
K24	284	77	20	5,4	43	12	11	3,0	2	0,5	10	2,7	0	0,0	370						
K08	257	63	21	5,2	84	21	18	4,4	5	1,2	14	3,4	8	2,0	407						
Yhteensä	2344	68	180	5,2	550	16	120	3,5	25	0,7	158	4,6	64	1,9	3441						

1) oksidaasi

2) indoli 44,5°C (SFS 4088 2. painos)

3) kaasu laktoosista 44,5°C 1 d (SFS 4088 2. painos)

4) " " 2 d (" ")

Taulukko 3. Vantaanjoen vesistön lämpökestoisten koliformisten bakteerien jakautuminen varmistus-
testeissä eri ajankohtina (9 havaintopaikan tulokset).

Ajankohta	1 ¹⁾ 2 ²⁾ 3 ³⁾ 4 ⁴⁾				1 2 3 4				1 2 3 4				1 2 3 4				Yhteensä						
	-	+	+	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+		kpl	%	kpl	%	kpl	%
28.-29.1.	131	57	28	12	40	17	4	1,7	4	1,7	5	2,2	15	6,6	6	2,6	229						
25.-26.2.	176	70	13	5,2	39	16	9	3,6	9	3,6	6	2,4	7	2,8	0	0,0	250						
18.-19.3.	183	68	23	8,6	55	20	1	0,4	1	0,4	0	0,0	7	2,6	0	0,0	265						
15.-16.4.	192	71	14	5,2	36	13	8	3,0	8	3,0	2	0,7	17	6,3	1	0,4	270						
6.-7.5.	128	57	23	10	53	24	4	1,8	4	1,8	1	0,4	12	5,3	4	1,8	225						
10.-11.6.	115	73	8	5,1	23	15	6	3,8	6	3,8	0	0,0	6	3,8	0	0,0	158						
24.-25.6.	132	77	1	0,6	5	2,9	19	11	19	11	3	1,8	11	6,4	0	0,0	171						
15.-16.7.	204	76	4	1,5	34	13	20	7,4	20	7,4	0	0,0	8	0,3	0	0,0	270						
29.-30.7.	185	69	10	3,7	36	13	22	8,1	22	8,1	3	1,1	14	5,2	0	0,0	270						
12.-13.8.	177	67	12	4,5	57	22	4	1,5	4	1,5	1	0,4	9	3,4	5	1,9	265						
26.-27.8.	201	74	12	4,4	35	13	6	2,2	6	2,2	2	0,7	3	1,1	11	4,1	270						
9.-10.9.	172	64	21	7,8	52	19	6	2,2	6	2,2	0	0,0	16	5,9	3	1,1	270						
8.-9.10.	168	62	4	1,5	37	14	4	1,5	4	1,5	0	0,0	25	9,3	32	12	270						
10.-11.12.	180	71	7	2,8	48	19	7	2,8	7	2,8	2	0,8	8	3,1	2	0,8	254						
Yhteensä (kts.1)	2344	68	180	5,2	550	16	120	3,5	120	3,5	25	0,7	158	4,6	64	1,9	3441						

1) oksidaasi

2) indoli 44,5°C (SFS 4088 2. painos)

3) kaasu laktoosista 44,5°C 1 d (SFS 4088 2. painos)

4) " " " 2 d (" ")

Taulukko 4. Vantaanjoen vesistön lämpökestoisten koliformisten bakteerien oksidaasi (1), indoli 44,5°C (2), ja kaasun muodostus laktoosista 44,5°C:ssa yhden (3) ja kahden (4) vuorokauden kasvatuksen jälkeen (SFS 4088, 2. painos).

	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	Yhteensä	
	-	+	+	+	-	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-		
kpl	%	kpl	%	kpl	%	kpl	%	kpl	%	kpl	%	kpl	%	kpl	%	kpl	%	kpl	%	kpl	%	
Biotyypin osuus																						
tutkituista	910	66	107	7,8	244	18	29	2,1	14	1,0	62	4,5	11	0,8	1377							
<u>E. coli</u> n osuus																						
identifioituista	242/276*	88	18/19	95	58/60	97	7/12	58	2/6		1/11**				328/384							

* muut kuin E. coli kannat lähinnä tunnistamattomia

** lähinnä klebsielloja

Taulukko 5. Vantaanjoen vesistön fekaalisten streptokokkien tarkistustestit havaintopaikoittain (14 ajankohdan havainnot).

Havainto- paikat	BEA+ kpl	katal.- %	BEA+ kpl	katal.+ %	BEA- kpl	%	Yhteensä kpl
V95	289	74	1		99	25	389
V84	335	80	1		84	20	420
V55	307	77	2		92	23	401
V24	275	67	0		133	33	408
V12	288	71	7		108	27	403
V00	262	69	3		116	30	381
K62	163	42	1		227	58	391
K24	181	50	0		180	50	361
K08	287	69	2		124	30	413
Yhteensä	2387	67	17	0,5	1165	33	3567

Taulukko 6. Alustava E. colin osuus lämpökestoista koliformisista bakteereista ja tarkistuneiden fekaalisten streptokokkien osuus alustavista fekaalisista streptokokeista erilailla kuormitetuissa vesistön osissa. Nelikenttättestissä on yhdistetty kolmen havaintopaikan tulokset. Bakteerit on eristetty 14 ajankohdan näytteistä.

Vertailu	2	
	AEC ¹⁾	CFS ²⁾
Tuore hajakuormitus (V95, K62, K24)		
- pistekuormitus (V84, V55, V24)	24,4 ^{***}	95,8 ^{***}
Tuore hajakuormitus - vanha kuormitus (0, V12, K8)	75,1 ^{***}	52,2 ^{***}
Pistekuormitus		
- vanha kuormitus	6,66 ^{**}	15,7 ^{***}

1) Alustavan E. colin lukumäärä on verrattu muiden lämpökestoisten koliformien lukumääriin eristetyistä 3441 kannasta.

2) Tarkistuneiden fekaalisten streptokokkien lukumäärää on verrattu muiden alustavassa viljelyssä esiintulleiden fekaalisten streptokokkien lukumääriin eristetyistä 3567 kannasta.

*** merkitsevä 0,1 % riskillä

** merkitsevä 1 % riskillä

TAULUKKO 7. Hygieniaindikaattoreiden välisiä korrelaatiokertoimia Vantaanjoen ja Keravanjoen yhdistetyistä havainnoista laskettuna. Kaikki korrelaatiokertoimet ovat tilastollisesti merkitseviä 0,10 %:n riskillä. n = havaintojen lukumäärä. Muuttujien symbolit esitetty taulukossa 1.

Muuttujat	Korrelaatiokerroin	n
FC - AEC	0,98	123
FS	0,71	125
CFS	0,80	125
KF	0,61	118
AEC - FS	0,70	123
CFS	0,79	123
KF	0,57	116
FS - CFS	0,78	125
KF	0,52	118
CFS - KF	0,62	118

TAULUKKO 8. Hygieniaindikaattoreiden (symbolit esitetty taulukossa 1) välisiä korrelaatiokertoimia Vantaanjoessa (Va) ja Keravanjoessa (Ke) laskettuna kausittain seuraavasti: talvi = marraskuu - maaliskuu, kesä = kesäkuu ja heinäkuu ja tulva = huhtikuu ja toukokuu sekä elokuu - lokakuu. Kausiin jakaminen on tehty jokien virtaamien perusteella. Korrelaatiokertoimen arvo tilastollisesti merkitsevä 5 %:n riskillä = *, 1 %:n riskillä = ** ja 0,1 %:n riskillä = ***. Havaintojen lukumäärä annettu suluisissa.

Muuttujat	Korrelaatiokerroin					
	Talvi		Kesä		Tulva	
	Va	Ke	Va	Ke	Va	Ke
FC-AEC	0,97*** (24)	0,99*** (12)	0,99*** (23)	0,98*** (11)	0,98*** (36)	0,97*** (17)
FS	0,53** (24)	0,28 (12)	0,76*** (24)	-0,24 (12)	0,79*** (36)	0,87*** (17)
CFS	0,68*** (24)	0,67* (12)	0,76*** (24)	0,26 (12)	0,80*** (36)	0,88*** (17)
KF	0,67*** (21)	0,41 (12)	0,27 (23)	0,35 (10)	0,48** (36)	0,82*** (17)
AEC-FS	0,53** (24)	0,32 (12)	0,76*** (23)	-0,33 (11)	0,79*** (36)	0,83*** (17)
CFS	0,68*** (24)	0,65* (12)	0,78*** (23)	0,33 (11)	0,81*** (36)	0,84*** (17)
KF	0,71*** (21)	0,41 (11)	0,24 (22)	0,29 (9)	0,42* (36)	0,77*** (17)
FS-CFS	0,78*** (24)	0,02 (12)	0,97*** (24)	0,23 (12)	0,92*** (36)	0,96*** (17)
KF	0,62** (21)	-0,39 (11)	0,45* (23)	-0,71* (10)	0,56*** (36)	0,64** (17)
CFS-KF	0,59** (21)	-0,58 (11)	0,49* (23)	-0,05 (10)	0,59*** (36)	0,73*** (17)

Taulukko 9. Lämpökestoisten koliformisten bakteerien ja fekaalisten streptokokkien välisiä korrelaatiokertoimia Vantaanjoen ja Keravanjoen yhdistetystä, vuosien 1980 - 1985 kesäkuukausien materiaalista (kesä-, heinä- ja elokuun) laskettuna. Aineistolle tehty logaritmitransformaatio (luonnollinen logaritmi). Havaintojen lukumäärä suluissa.

Vuosi	Korrelaatiokerroin
1980	0,63*** (34)
1981	0,78*** (38)
1982	0,65*** (70)
1983	0,48*** (57)
1984	0,43*** (57)
1985	0,80*** (53)

Taulukko 10. Lämpökestoisten koliformisten bakteerien ja fekaalisten streptokokkien välisiä korrelaatiokertoimia vuosien 1980 - 1985 havaintoaineistolle (luonnollinen logaritmitransformaatio) Vantaan- ja Keravanjoilla havaintopaikoittain sekä koko jokien materiaaleille laskettuna. Havaintojen lukumäärä suluissa.

Havaintopaikka	Korrelaatiokerroin
Vantaanjoki	
V00	0,71*** (32)
V12	0,54*** (36)
V27	0,70*** (36)
V55	0,54** (31)
V84	0,49** (30)
V95	0,03 (35)
Koko Vantaanjoki	0,70 (200)
Keravanjoki	
K08	0,05 (30)
K24	0,34* (49)
K62	0,30 (31)
Koko Keravanjoki	0,34*** (110)

TAULUKKO 11. Hygieniaindikaattoreiden (symbolit esitetty taulukossa 1) ja fysikaalis-kemiallisten vedenlaatuomuttujien (O_2 = happipitoisuus, $O_2\%$ = hapen kyllästysprosentti, Sjoht = sähkönjohtavuus, BOD_7 = biologinen hapenkulutus, KjeldN = Kjeldal-tyyppi, NH_4 = ammoniumtyppi, NO_2 = nitriittityppi, KokP = kokonaisfosfori, PO_4 = fosfaattifosfori) välisiä korrelaatiokertoimia Vantaanjoessa (Va) ja Keravanjoessa (Ke) kausittain. Kaudet on esitetty taulukossa 3. Korrelaatiokertoimen arvo tilastollisesti merkitsevä 5 % riskillä = *, 1 %:n riskillä = ** ja 0,1 %:n riskillä = ***. Havaintojen lukumäärä annettu suluissa.

Fys.kem. muuttuja	Kausi	Hygieniaindikaattori											
		FC		AEC		FS		CFS		KF			
		Va	Ke	Va	Ke	Va	Ke	Va	Ke	Va	Ke		
O_2	Talvi	-0,66** (16)	0,93*** (8)	-0,56* (16)	0,90** (8)	-0,78** (16)	0,18 (8)	-0,69** (16)	-0,77* (8)	-0,67** (13)	0,07 (7)		
	Kesä	-0,57** (22)	0,26 (12)	-0,57** (21)	0,24 (11)	-0,55** (22)	0,07 (12)	-0,49* (22)	0,34 (12)	-0,31 (21)	0,14 (10)		
	Tulva	-0,88*** (12)	0,47 (7)	-0,87*** (12)	0,48 (7)	-0,68* (12)	-0,33 (7)	-0,69* (12)	-0,29 (7)	-0,42 (12)	0,58 (7)		
$O_2\%$	Talvi	-0,65** (16)	0,93*** (8)	-0,56* (16)	0,91** (8)	-0,78*** (16)	0,17 (8)	-0,71** (16)	-0,77* (8)	-0,65** (13)	0,08 (7)		
	Kesä	-0,60** (22)	0,44 (12)	-0,60** (21)	0,44 (11)	-0,63** (22)	-0,02 (12)	-0,60** (22)	0,33 (12)	-0,41 (21)	0,09 (10)		
	Tulva	-0,90*** (12)	-0,58 (7)	-0,89*** (12)	-0,59 (7)	-0,71** (12)	-0,67 (7)	-0,71** (12)	-0,73 (7)	-0,51 (12)	-0,35 (7)		
Sjoht.	Talvi	0,79*** (16)	0,79* (8)	0,73** (16)	0,79* (8)	0,76*** (16)	0,66 (8)	0,67** (16)	0,26 (8)	0,82*** (15)	-0,53 (7)		
	Kesä	0,47* (22)	0,89*** (12)	0,43 (21)	0,87*** (11)	0,52* (22)	-0,55 (12)	0,45 (22)	0,08 (12)	0,58** (21)	0,58 (10)		
	Tulva	0,45 (12)	0,96*** (7)	0,40 (12)	0,97*** (7)	0,24 (12)	0,45 (7)	0,23 (12)	0,39 (7)	0,11 (12)	0,93** (17)		
BOD_7	Talvi	0,47 (16)	-0,56 (8)	0,44 (16)	-0,56 (8)	0,36 (16)	-0,55 (8)	0,38 (16)	-0,70 (8)	0,46 (13)	-0,22 (7)		
	Kesä	0,57** (22)	0,30 (12)	0,55** (21)	0,26 (11)	0,50* (22)	-0,05 (12)	0,49* (22)	-0,37 (12)	0,43* (21)	-0,17 (10)		
	Tulva	0,31 (12)	0,43 (7)	0,26 (12)	0,45 (7)	0,12 (12)	-0,10 (7)	0,11 (12)	0,03 (7)	-0,18 (12)	0,43 (7)		
KjeldN	Talvi	0,78*** (16)	-0,43 (8)	0,73** (16)	-0,48 (8)	0,88*** (16)	-0,11 (8)	0,67** (16)	-0,05 (8)	0,69** (13)	-0,31 (7)		
	Kesä	0,42 (22)	0,67 (11)	0,42 (21)	0,59 (10)	0,34 (22)	-0,05 (11)	0,32 (22)	0,28 (11)	0,40 (21)	0,37 (10)		
	Tulva	-0,13 (12)	0,95*** (7)	-0,14 (12)	0,95** (7)	-0,28 (12)	0,48 (7)	-0,26 (12)	0,46 (7)				
NH_4	Talvi	0,76*** (16)	-0,75* (8)	0,69** (16)	-0,69 (8)	0,87*** (16)	-0,31 (8)	0,64** (16)	-0,23 (8)	0,67* (13)	0,52 (7)		
	Kesä	0,58** (22)	0,21 (11)	0,58** (21)	0,20 (10)	0,33 (22)	0,19 (11)	0,35 (22)	-0,004 (11)	0,28 (21)	-0,23 (10)		
	Tulva	0,58* (12)	0,54 (7)	0,56 (12)	0,56 (7)	0,45 (12)	-0,26 (7)	0,39 (12)	-0,19 (7)	0,53 (12)	0,59 (7)		
NO_2	Talvi	0,48 (16)	-0,22 (8)	0,35 (16)	-0,37 (8)	0,40 (16)	-0,65 (8)	0,34 (16)	0,39 (8)	0,52 (16)	0,55 (7)		
	Kesä	0,64** (16)	0,58 (11)	0,59** (16)	-0,71 (7)	0,75*** (16)	0,09 (8)	0,74** (16)	-0,12 (8)	0,74** (16)	-0,49 (7)		
	Tulva	0,29 (8)	0,94** (5)	0,26 (8)	0,95* (5)	-0,08 (8)	0,60 (5)	-0,14 (8)	0,57 (5)	0,25 (8)	0,91** (5)		
KokP	Talvi	0,84*** (16)	-0,59 (8)	0,80*** (16)	-0,49 (8)	0,88*** (16)	-0,06 (8)	0,78*** (16)	-0,26 (8)	0,82*** (13)	0,39 (7)		
	Kesä	0,53* (22)	0,38 (11)	0,55** (21)	0,38 (10)	0,57** (22)	-0,59* (11)	0,55** (22)	-0,03 (11)	0,58** (21)	0,70* (10)		
	Tulva	-0,17 (12)	0,86* (6)	-0,25 (12)	0,89* (6)	-0,34 (12)	0,73 (6)	-0,37 (12)	0,59 (16)	-0,23 (12)	0,72 (16)		
PO_4	Talvi	0,77*** (16)	-0,37 (8)	0,71** (16)	-0,24 (8)	0,86*** (16)	0,29 (8)	0,70** (16)	-0,15 (8)	0,78** (13)	0,44 (7)		
	Kesä	0,68*** (22)	0,40 (11)	0,67*** (21)	0,43 (10)	0,67*** (22)	-0,25 (11)	0,66*** (22)	-0,16 (11)	0,56** (21)	0,25 (10)		
	Tulva	0,36 (12)	0,82* (7)	0,30 (12)	0,84* (7)	0,11 (12)	0,68 (7)	0,08 (12)	0,64 (7)	-0,03 (12)	0,75 (7)		

