

67

Matti Verta, Jorma Koponen, Juha Sarkkula, Minna Kuusisto,

Juha Haapamäki ja Arto Inkala

Lievestuoreen Lipeälammen vaikutus
pääkaupunkiseudun vedenottoon matemaattisella
virtaus- ja kulkeutumismallilla tarkasteltuna

Matti Verta¹, Jorma Koponen², Juha Sarkkula¹, Minna Kuusisto¹,
Juha Haapamäki¹ ja Arto Inkala²

Lievestuoreen Lipeälammen vaikutus
pääkaupunkiseudun vedenottoon matemaattisella
virtaus- ja kulkeutumismallilla tarkasteltuna

¹Suomen Ympäristökeskus
PL 250
00251 Helsinki
puh. (09) 403 000
faksi (09) 4030 0190
sähköposti: matti.verta@vyh.fi

²Suomen Ympäristövaikutusten Arviointikeskus Oy
Tekniikantie 17 B
02150 Espoo
puh. (09) 7001 8680
faksi (09) 7001 8682
sähköposti: koponen.@eia.fi

Painopaikka:
Oy Edita Ab
Helsinki

SISÄLLYS

1. TUTKIMUKSEN TAUSTA JA TAVOITTEET	2
2. TUTKIMUSALUEEN KUVAUS	3
2.1 MALLISOVELLUSALUEET	5
2.2 PÄIJÄNTEEN VEDEN LAATU VUONNA 1995	6
3. LIPEÄLAMMEN VESIEN KEMIALLINEN JA BIOLOGINEN KARAKTERISOINTI.....	7
3.1 VESINÄYTTEIDEN ANALYYSIMENETELMÄT	7
3.2 ANALYYSITULOKSET	9
3.3 PÄIJÄNTEESEEN KOHDISTUVA KUORMITUS.....	11
4. VIRTAUS- JA VEDENLAATUMALLI	11
4.1 VIRTAUSTEN MÄÄRÄYTYMINEN	11
4.2 VEDENLAADUN MÄÄRÄYTYMINEN	11
4.3 TEHTÄVÄN RATKAISU TIETOKONEELLA	12
4.4 MALLIN SOVELTAMINEN PÄIJÄNTEELLE	12
5. LASKENTATULOKSET.....	14
5.1 MALLIN KALIBROINTI.....	14
5.2 LIPEÄLAMMEN VAIKUTUS PÄIJÄNTEEN PITOISUUKSIIN	15
5.3 ONNETTOMUUSTILANTEIDEN VAIKUTUS PÄÄKAUPUNKISEUDUN VEDENOTTOON.....	19
6. JOHTOPÄÄTÖKSET LIPEÄLAMMEN PÄÄSTÖN MERKITYKSESTÄ PÄÄKAUPUNKISEUDUN VEDENOTTOON	19
KIRJALLISUUS	21

1. TUTKIMUKSEN TAUSTA JA TAVOITTEET

Keski-Suomen ympäristökeskus on hakenut vesioikeudelta lupaa Lievestuoreen Lipeälammen tyhjentämiseksi ja sen vesien johtamiseksi Päijänteeseen. Lipeälammen alueen kunnostustöiden aikana johdetaan vesistöön lammen tyhjentämisestä peräisin olevan jäteveden lisäksi maaperän käsittelyssä syntyvää jätevettä. Vesioikeuden päätöksen mukaan lammen ja maaperän vedet on puhdistettava COD:n osalta 50 %:n ja BHK:n osalta 90 % teholla. Puhdistuksen jälkeen jätevedet johdetaan viemäriputkea pitkin Vaajakosken vesivoimalaitoksen yläkanavaan Kymijoen vesistön päävirtaukseen Äänekosken reitille. Johdettava jätevesimäärä on arviolta noin 400 000 m³ ja se jakautuu 3 - 5 vuodelle. Tästä varsinaisen lammen vettä on 85 000m³.

Keski-Suomen ympäristökeskus on suorittanut vuonna 1996 tutkimuksen, jossa on tarkasteltu Lievestuoreen Lipeälammen vedenlaatua ja suunnitellun tyhjennyksen vaikutuksia Päijänteen veden laatuun (Granberg 1996). Tutkimuksen päätuloksena oli, että Lipeälammen veden johtaminen Pohjois-Päijänteeseen ei aiheuttaisi merkitseviä muutoksia Pohjois-Päijänteen luonnontaloudessa.

Tässä raportissa käsitellään Pääkaupunkiseudun vesi Oy:n teettämää tutkimusta Lievestuoreen Lipeälammen suunnitellun tyhjentämisen vaikutuksista pääkaupunkiseudun vedenottoon. Tutkimuksessa on mitattu Lipeälammen kemiallista koostumusta sekä sen sisältämän veden toksisuutta. Näin saatujen kuormitustietojen pohjalta on laskettu matemaattisella mallilla haitta-aineiden kulkeutuminen Päijänteessä ja niiden vaikutukset pääkaupunkiseudun vedenottoon. Koska mallia mahdollisesti tullaan jatkossa käyttämään onnettomuustilanteissa on mallin operatiivista hyödyntämistä tarkasteltu muutamien esimerkein.

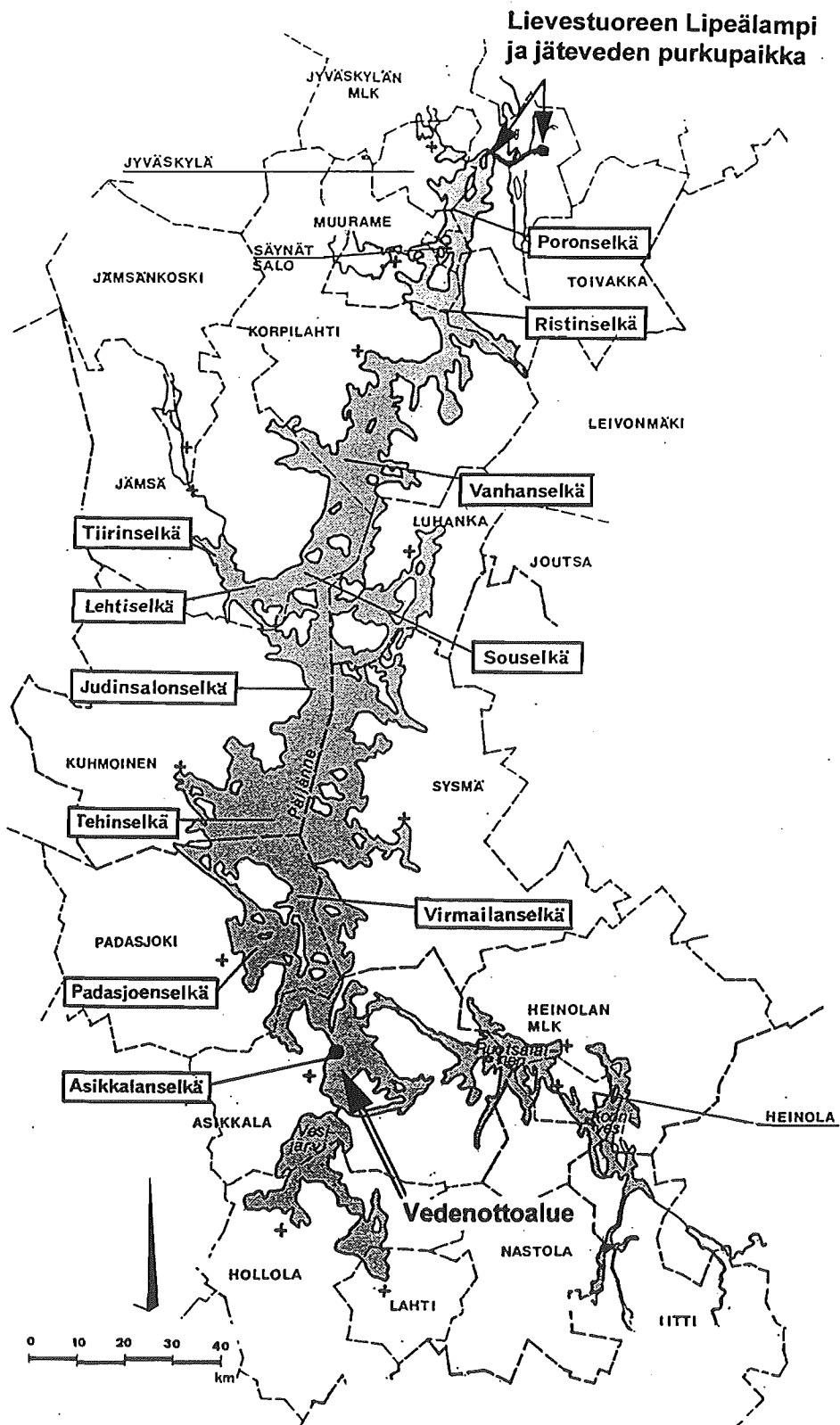
2. TUTKIMUSALUEEN KUVAUS

Pääkaupunkiseudun vedenottoon nähden Lievestuoreen Lipeälammesta tulevan kuormituksen laimenemialueena on lähes koko Suur-Päijänteen vesialue (Pohjois-, Keski- ja Etelä-Päijänne Pulkkilanharjulle asti). Kuvassa 1 on esitetty tämä tutkimusalue sekä Lipeälammen sijainti ja suunniteltu jätevesien purkupaikka.

Pohjois-Päijänteen selät ovat järjestyksessä pohjoisesta etelään seuraavat: Poronselkä (pinta-ala = 56 km², tilavuus = 708 milj. m³), Hauhonselkä ja Ristiselkä (86 km², 1822 milj. m³). Pohjois-Päijänne saa vetensä pääasiassa Vaajakoskesta (Haapakoski) jonka keskivirtaama vuosina 1961-1990 oli 159 m³/s. Taulukossa 1 on eritelty virtaaman kuukausiarvot. Keskimääräiset yli- ja alivirtaamat olivat 1961-1990 297 m³/s ja 59 m³/s.

Taulukko 1. Vaajakosken virtaaman kuukausikeskiarvot 1961-1990.

KUUKAUSI:	I	II	III	IV	V	VI	VII	VII	IX	X	XI	XII
virtaama (m ³ /s):	148	137	124	141	234	218	171	149	138	133	150	158



Kuva 1. Tutkimusalue. Lievestuoreen Lipeälampi ja suunniteltu jätevesien purkupaikka ovat kartan yläosassa.

Keski-Päijänne ulottuu Tiirinselältä Souselälle. Tiirinselkä ja Lehtiselkä ovat yhteydessä Runko-Päijänteeseen kapeiden salmien kautta. Tiirinselän vesipinta-ala on 17 km², tilavuus 184 milj. m³ ja keskisyyvyys 10,8 m. Tiirinselälle laskee Jämsänjoki, jonka keskivirtaama vuosina 1961-1990 oli 13,6 m³. Pohjois-Päijänteeltä tulevan kuormituksen lisäksi Keski-Päijännettä kuormittavat Jämsänkosken ja Kaipolan metsäteollisuus sekä Jämsän, Jämsänkosken ja Kaipolan asumajätevedet. Nämä kuormittajat purkavat jätevetensä Tiirinselälle. Lehtiselän vesipinta-ala on 26 km², tilavuus 486 milj. m³ ja keskisyyvyys 17,6 m. Lehtiselälle laskee Arvajan reitti, jonka keskimääräinen virtaama on 3,4 m³/s. Souselän pinta-ala on 32,4 km², tilavuus 786 milj. m³ ja keskisyyvyys 24,3 m.

Etelä-Päijänne on pinta-alaltaan ja tilavuudeltaan selvästi suurempi kuin Pohjois- ja Keski-Päijänne. Etelä-Päijänne rajautuu Judinsalonselältä hieman Pulkkilanharjun eteläpuolelle Asikkalanselän pohjoisreunalle. Tällä välillä sijaitsevat selät järjestyksessä etelästä pohjoiseen: Judinsalonselkä, Tehinselkä, Virmailanselkä ja Hinttolanselkä. Virmailanselän länsipuolella saarten rajaamana sijaitsee Padasjoonselkä. Pulkkilanharjussa on kolme läpivirtausaukkoa, joiden kautta pohjoisesta virtaavat vedet virtaavat Asikkalanselän pohjoisosassa sijaitsevalle vedenottoalueelle.

2.1 Mallisovellusalueet

Kuormituksen sekoittumisen ja kulkeutumisen laskentaan oli käytettävissä Pohjois-Päijänteen ja Keski-Päijänteen kolmiulotteiset (3D) virtaus- ja vedenlaatumallit (Lehtinen ym. 1993a, 1993b). Tutkimuksessa laadittiin virtaus- ja vedenlaatumalli Etelä-Päijänteelle. Taulukossa 2 on esitetty mallialueiden tunnuslukuja.

Taulukko 2. Eri mallialueiden tunnuslukuja.

	Tilavuus (km ³)	Pinta-ala (km ²)	K- syv. (m)	teoreettinen viipymä (d)	mallin viipymä (d)
Pohjois-Päijänne	4.28	216	19.8	311	217
Keski-Päijänne	2.85	145	19.6	207	165
Etelä-Päijänne	7.02	498	14.1	511	223

Taulukosta havaitaan, että mallin laskemat viipymät ovat selvästi pienempiä kuin teoreettiset. Tämä johtuu tietenkin siitä, että läpivirtaus ei jakaannu tasaisesti koko vesistöalueelle. Viipymään vaikuttaa myös vesistön kerrostuneisuuden voimakkuus, joten absoluuttisia malliarvoja ei voida antaa. Suur-Päijänteen teoreettinen viipymä on yhteensä noin 2.8 vuotta ja mallilla laskettu viipymä noin 1.7 vuotta.

Mallilla laskettu Etelä-Päijänteen viipymä pitenee noin 4 kuukautta, jos laskennassa on tuuli mukana. Tuulen aiheuttama virtaus jakaa Etelä-Päijänteellä kulkeutuvan aineksen alueille, joissa läpivirtaus ei pääse vaikuttamaan siihen. Pohjois- ja Keski-Päijänteellä ei tuulen vaikutus viipymiin ole kovin merkittävä.

2.2 Päijänteen veden laatu vuonna 1995

(Tekstin tiedot: Päijänneraportti vuodelta 1995 /Seppo Ylikarjanmaa Keski-Suomen Ympäristökeskus)

Pohjois-Päijänteen merkittävimmät kuormittajat ovat Äänekosken reitin kautta Äänekosken metsäteollisuus, Jyväskylässä sijaitseva Kankaan kartonkitehdas sekä Jyväskylän asumajätevesiä (ja nykyisin myös Kankaan tehtaan jätevesiä) puhdistava Nenäniemen jäteveden puhdistuslaitos.

Metsäteollisuuden puhdistamojen ansiosta oli vuonna 1995 orgaanisen kuormituksen merkitys vähäinen ja fosfori on tärkein kuormitustekijä. Suurin kuormittaja oli Äänekosken teollisuus. Jyväskylän seudun ja Jämsänjokilaakson kuormitukset olivat noin kolmasosa siitä ja ne alenivat vähän edellisvuosista.

Äänekosken reitin yläosalla fosforipitoisuus indikoi rehevyyttä. Rautalammin reitin lisävedet paransivat tilannetta alajuoksulla, mutta sielläkin aiheutui kohtalaista rehevöitymistä. Alueen veden laatu oli tyydyttävä.

Pohjois-Päijänteen suora kuormitus ei ole kovin suuri, mutta alueella vaikuttaa myös Äänekosken seudun ravinnekuormitus Äänekosken reittiä tulevien vesien kautta. Poronselän vedenlaatu oli alkukesällä kevättulvien vaikutuksesta lähes rehevä. Loppukesällä fosforipitoisuudet olivat suhteellisen alhaisia. Vanhaselällä rehevöityminen oli melko melko vähäistä. Alueen vedenlaatu oli Poronselällä tyydyttävää, Ristin- ja Vanhaselällä se oli hyvä.

Keski-Päijänteellä Tiirinselälle tulee myös runsaasti hajakuormitusta. Siellä oli fosforipitoisuus kesällä edellisvuotta alempi, mutta alueen vedet olivat edelleen reheviä. Lehtiselän alue oli lievästi rehevöitynyttä. Edempänä Päijänteen runko-osalla vaikutukset olivat vähäisiä. Tiirinselkä oli laadultaan pääosin tyydyttävää, Lehti- ja Souselkä olivat laadultaan hyviä. Alueen eteläosassa vedenlaatu oli jo erinomaista.

Etelä-Päijänteen alueen pienet kuormitukset eivät vaikuta runko-osan vedenlaatuun. Vedenlaatu Etelä-Päijänteellä Pulkkilanharjun pohjoispuolella (Tehinselkä lähialueineen) oli vielä 1980 laatuluokituksestaan hyvä. Vesiensuojelutoimenpiteiden ansiosta alueen vesien käyttökelpoisuuden laatuluokitus on nykyään erinomainen (kokonaisfosfori n. 6 µg, kokonaistyyppi n. 480 µg ja veden väri n. 480 mgPt/l). Asikkalanselän (Pulkkilanharjun eteläpuoli) vedenlaatu on ollut jatkuvasti erinomainen. Vuonna 1995 Pohjois- ja Keski-Päijänteen kuormitusvaikutukset eivät vaikuttaneet oleellisesti Etelä-Päijänteen veden laatuun. Taulukossa 3 on esitetty Etelä-Päijänteen velvoitetarkkailusta saatuja vedenlaadun tunnuslukuja.

Taulukko 3. Etelä-Päijänteen vedenlaatutietoja (Velvoitetarkkailu 1992)

	TEHINSELKÄ	ASIKKALANSELKÄ
happi-%, 1.7. - 31.8. keskiarvo	90	90.5
klorofylli (mg/l), 1.7. - 31.8. keskiarvo	3.5	2.6
kokonaisfosfori ($\mu\text{g/l}$), vuosikeskiarvo	7.1	6.5
Näkösyvyys (m), vuosikeskiarvo	4.6	4.5
sameus, vuosikeskiarvo	0.3	0.3
väri (mgPt/l), vuosikeskiarvo	29.3	24.3

3. LIPEÄLAMMEN VESIEN KEMIALLINEN JA BIOLOGINEN KARAKTERISOINTI

3.1 Vesinäytteiden analyysimenetelmät

Marraskuun alussa (6.11) otettiin vesinäytteet Lipeälammesta (kokoomanäytteet 0-1,5 m ja 1,5-2,8 m), altaasta suotautuvasta vedestä (takaisinpumppausvesi) sekä lammesta purkautuvasta myrkkyojasta. Samalla kerättiin lammessa olevista turve ja maalautoista turvenäytteet, joista otettiin vesinäytteet kahdella eri tavalla. Ensivaiheessa annettiin turpeesta valua vesi suodatinharson läpi ja toisessa vaiheessa puristettiin turvetta ja kerättiin vesi jälleen suodatinharson läpi. Jälkimmäisellä tavalla pyrittiin saamaan jääkerroksen puristava vaikutus näkyviin.

Näytteistä tehtiin seuraavat analyysit:

Perusanalyysit: sähkönjohtokyky, pH, väri, COD_{Mn} , COD_{Cr} , BOD_7 , kok.N, kok.P, kiintoaine, TOC, DOC, AOX, NaLS.

Analyysit suoritettiin standardimenetelmillä Uudenmaan ympäristökeskuksessa paitsi NaLS, joka tehtiin Kesi-Suomen ympäristökeskuksen laboratoriossa.

Metallit: Na, Ca, K, Mg, Al, Fe, Mn, Ti, Ba, Pb, U, Mo, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Cd, Hg.

Na, Ca, K ja Mg analysoitiin Uudenmaan ympäristökeskuksessa standardimenetelmin. Muut metallit liuotettiin typpihappoon mikropolttaen ja pitoisuudet määritettiin ICP-MS tekniikalla käyttäen referenssinä kanadalaista SLRS-3 kontrolliliuosta.

Elohopea- ja metyylielohopeamääritykset tehtiin Ruotsissa (Institutet för Luft- och Vattenforskning, IVL).

Orgaaniset analyysit: kokonaisfenolit, klooratut fenolit, hartsihapot, rasvahapot, metyylielohopea. Orgaaniset analyysit tehtiin Suomen ympäristökeskuksen laboratoriossa seuraavasti.

Kokonaisfenolit. Fenolit erotettiin tislaamalla häiritsevistä orgaanisista aineista. Fenoli muodostaa 4- aminoantipyriinin kanssa kaliumferrisyaniidin läsnäollessa yhdisteen, jonka absorbanssi mitattiin spektrofotometrisesti (SFS 3011).

Hartsi- ja rasvahapot uutettiin petroolieetteriin. Metyloidut hapot analysoitiin kaasukromatografisesti (GC-FID).

Vesinäytteiden *kloorifenolit* asetyloitiin etikkahappoanhydridillä kaliumkarbonaatin läsnäollessa. Kloorifenolien asetyyli johdannaiset uutettiin heksaaniin ja analysoitiin kaasukromatografisesti ECD-detektoria käyttäen (Starck ym. 1985).

Toksisuustestit: levätesti (*Selenastrum capricornutum*, SFS 5072, ISO 8692), vesikirpputesti (*Daphnia magna*, ISO 6341), valobakteeritesti (*Vibrio fisheri*, ISO/CD 11438). Testit tehtiin Suomen ympäristökeskuksen ekotoksikologian laboratoriossa.

Valobakteeritesti perustuu *Vibrio fisheri*- bakteerin valontuoton vähenemiseen, kun bakteerit altistuvat haitallisille aineille. Nämä bakteerit vastaavat aineenvaihdunnaltaan muita ympäristön heterotrofisia bakteereita paitsi ne tuottavat normaalin aineenvaihduntansa osana valoa näkyvällä aallonpituudella. Valontuoton inhibitio kertoo häiriöistä bakteerin energia-aineenvaihdunnassa. Tulokset on laskettu EC50-pitoisuutena (% Lipeälammen vettä), jossa valontuotto on puolet kontrollista.

Vesinäytteiden pH mitattiin ja säädettiin 7:ksi ennen testausta. Näytteet testattiin ISO/DIS 11348 Teil 34 standardiehdotuksen mukaisesti (vastaava kuin Microtox^R -menetelmä) käyttäen kylmäkuivattua *V. fisheri*- bakteerikantaa DSM 7151 (vastaa NRRL B-1117 kantaa). Näytteet testattiin sekä tuoreina että pakastuksen jälkeen.

Levätesti perustuu *Selenastrum capricornutum*- viherlevän (nyk. *Raphidocelis subcapitata*) kasvun estymiseen sen altistuessa haitallisille aineille. Näytteet testattiin pääsääntöisesti standardin ISO 8692 mukaan. Pakastetut näytteet suodatettiin sulatuksen jälkeen (0,2 um:n suodatin) kilpailevan bakteerikasvun ehkäisemiseksi. Näytteiden pH säädettiin 7:ksi. Levänkasvu mitattiin fluorometrisesti (aallonpituudet: 440 eksitaatio, 665 emissio) 72 tunnin kasvatuksen kuluessa. Tulokset on ilmoitettu EC50-arvona (% Lipeälammen vettä), joka ilmoittaa 50 % inhibition levien kasvussa verrattuna kontrolliin.

Vesikirpputesti. Näytteiden akuutti myrkyllisyys *Daphnia magna*- vesikirpuille testattiin standardin ISO 6341 mukaan. Testissä näytteiden laimennosarjan kuhunkin koeastiaan pipetoitiin viisi alle vuorokauden ikäistä vesikirppua, joiden hengissäpysyminen todettiin vuorokauden kuluttua. Tulokset on ilmoitettu EC50-arvona (% Lipeälammen vettä), joka ilmoittaa pitoisuuden, jossa puolet eläimistä on liikuntakyvyttömiä.

3.2 Analyysitulokset

Perusanalyysit

Näytteenottoajankohtana Lipeälammen pintaveden ja altaasta lähtevän Myrkkyojan laatu vastasi hakemusasiakirjoissa (0996Y0028, Lievestuoreen Lipeälammen puhdistettujen jätevesien johtaminen Päijänteeseen) ilmoitettua veden laatua pintaveden osalta (0-1,5 m, Liite 1). Sensijaan, vastoin hakemusasiakirjoja, Lipeälammen alusvesi (1,5 - 2,8 m, Liite 1) oli huomattavasti pintavettä väkevämpää lähes kaikkien mitattujen laatusuureiden osalta. Alusveden laatu vastasi altaasta suotautuvan, takaisinpumpattavan veden laatua varsin tarkoin sekä hapenkulutuksen, orgaanisten yhdisteiden kokonaismäärän että NaLSn suhteen. Alusveden ja suotautuvan veden pH-arvot (pH 4,2, pH 4,5) olivat huomattavasti pintaveden pH arvoa 6,6 alhaisemmat.

Lipeälammen pintaveden laatu oli COD_{Mn:n}, BOD_n, TOC_n ja ravinteiden osalta verrattavissa nykyaikaisen sellutehtaan valkaisuvaiheen puhdistamattomiin jätevesiin. Alusveden ja suotautuvan veden pitoisuudet olivat tätä selvästi väkevempiä. AOX-pitoisuudet olivat alhaiset ja verrattavissa nykyaikaisen kloorittoman sellunkeiton (TCF) jätevesien AOX-pitoisuuksiin (Verta ym. 1994).

Turpeesta valutettu ja puristettu vesi oli verrattavissa Lipeälammen pintaveden laatuun muiden kuin ravinteiden osalta, joiden pitoisuudet olivat selvästi muita näytteitä korkeammat. On ilmeistä, että pintaturpeeseen aikanaan sitoutuneet yhdisteet ovat vuosien mittaan pääosin lienneet Lipeälammen veteen ja nykyisin alusvedessä mitatut suuret pitoisuudet johtuvat sekä altaan pohjamaasta suoraan altaaseen liukenevista ja suotautuvista aineista että takaisinpumpattavasta suotovedestä.

Metallit

Päämetalleista Lipeälammen vesi sisältää Ca huomattavasti enemmän ja Na vähemmän kuin nykyaikaiset sellujätevedet (Liite 1). Yli 1 mg l⁻¹-pitoisuuksina esiintyvistä muista metalleista (Al, Fe, Mn, Ti) Al-, Fe- ja Ti-pitoisuudet olivat selvästi (yli 10 kertaa) nykyaikaisen sellujäteveden pitoisuuksia korkeampia (Liite 2). Mikrogrammaa litrassa tasoa olevista metalleista As, Co ja U olivat jossain määrin (alle 10 kertaa) nykyaikaisen sellujäteveden tasoa korkeampia. Sensijaan myrkyllisimmät metallit Cd, Pb ja Zn olivat nykyisiä sellujätevesiä alhaisemmalla tasolla (Verta ym. 1994). Muut mitatut metallit (Sr, Ba, Ni, Cu, Cr, V, Mo) olivat sellujätevesien tasoa (Liite 2).

Elohopeaa ja metyylielohopeaa ei ole mitattu nykyaikaisista sellujätevesistä Suomessa. Verrattuna luonnossa esiintyviin pitoisuuksiin (Verta ym. 1995), pitoisuudet olivat vain lievästi (alle 10 kertaa) metsä- ja suovaltaisten alueiden valumavesien pitoisuuksia korkeammat.

Orgaaniset yhdisteet

Kloorifenoleja ei Lipeälammen näytteistä esiintynyt analyysirajan 0,02 mg l⁻¹ ylittävinä pitoisuuksina (Liite 3). Myös kokonaisfenolien määrä (alle 3 mg l⁻¹) oli alhainen verrattuna puhdistamattomiin sellun valkaisu-jätevesiin (9-90 mg l⁻¹) tai biologisesti

puhdistettuihin sellujätevesiin (1-30 mg l⁻¹) (Verta ym. 1994). Samoin mitatut rasva- ja hartsihappojen kokonaispitoisuudet Lipeälammen vedessä ja suotautuvassa vedessä olivat alhaiset. Sensijaan turpeesta valutetun ja puristetun veden pitoisuudet vastasivat biologisesti puhdistettujen sellujätevesien pitoisuuksia, mutta olivat puhdistamattomia alhaisemmat.

Lipeälammen vesien myrkyllisyys

Lipeälammen vesien myrkyllisyys (EC50- arvona) vaihteli ei toksisesta suhteellisen toksiseen, jossa 5 % laimennos oli toksinen (Liite 4). Kemiallisten analyysitulosten mukaisesti selvästi eniten toksisia olivat Lipeälammen alusvesi ja altaasta suotautuva vesi. Valobakteeri- ja levätestien mukaan 5-19 % laimennos oli näillä vesillä toksinen. Turpeesta valutettu ja puristettu vesi olivat lievästi vähemmän toksisia (20-32 %). Vähiten toksinen oli myrkkyyoja (ei toksinen - 19 %). Aikaisempien kokemusten mukaisesti vesikirpputesti vähiten herkkänä testinä ei osoittanut yhtä selvää myrkyllisyyttä (50-100 %) eikä yhtä selviä eroja eri vesien välillä.

Näytteiden myrkyllisyys tehtiin sekä tuoreista että pakastetuista näytteistä. Pakastaminen ei vaikuttanut myrkyllisyyteen.

Lipeälammen vesien myrkyllisyys oli samaa suuruusluokkaa kuin puhdistamattomilla sellujätevesillä. Vertan ym. 1994 mukaan puhdistamattomien valkaisu- ja jätevesien myrkyllisyys valobakteeri- ja levätesteillä vaihteli välillä 2-45 % kahdessa nykyaikaisissa sellutehtaassa.

Vertan ym. 1994 mukaan sellujätevesien myrkyllisyyttä parhaiten kuvasi jätevesien orgaanisten aineiden yhteismäärä mitattuna COD:na tai BOD:na. Yksittäisistä yhdisteryhmistä parhaiten myrkkyyvaikutuksia kuvasivat fenoliset yhdisteet. Yhdessä fenolit, rasvahapot ja hartsihapot selittivät sellujätevesien myrkyllisyydestä noin 80 % Vertan ym. tutkimuksessa. Kyseisten yhdisteiden pitoisuudet Lipeälammen vesissä olivat kuitenkin alhaiset. Silti myrkyllisyys oli samaa luokkaa kuin nykyaikaisen tehtaan puhdistamattomilla valkaisu- ja jätevesillä.

Tulosten perusteella on ilmeistä, että Lipeälammen vesien myrkyllisyyden aiheuttavat eri yhdisteet kuin nykyaikaisen sellutehtaan jätevesissä. Tämä on ymmärrettävää tehdasprosessien erilaisuudesta sekä Lipeälammessa esiintyvien yhdisteiden pitkistä viipymästä johtuen. Suhteellisen helposti hajoavat orgaaniset yhdisteet, kuten monet fenoliset yhdisteet ja hartsii- ja rasvahapot, ovat ehtineet pilkkoutua pienemmiksi yhdisteiksi vuosien mittaan.

Verrattaessa Lipeälammen vesien raskasmetallipitoisuuksia metalleille ilmoitettuihin toksisuusarvoihin ei ole luultavaa, että ne selittäisivät lammen vesien myrkyllisyyden, vaikkakin erityisesti raudan ja myös alumiinin pitoisuudet olivat korkeat. Lammen veden erittäin korkea orgaanisen aineen määrä on riittävä sitomaan metallit.

3.3 Päijänteeseen kohdistuva kuormitus

Liitteessä 5 on arvioitu Lipeälammen tyhjennyksestä Päijänteeseen kohdistuva kuormitus eräiden tärkeiden kuormitusmuuttujien osalta. Arviossa on otettu huomioon hakemusasiakirjoissa esitetty puhdistustavoite 50 % CODn ja kokonaisfenolien suhteen ja 90 % BODn suhteen. NaLS:lle on arvioitu hieman alhaisempi puhdistusaste kuin COD:lle yhdisteiden pysyvistä luonteesta johtuen.

Haitallisista metalleista raudan kuormitus tulee olemaan luokkaa 50 kg d⁻¹ ja alumiinin kuormitus luokkaa 5-10 kg d⁻¹.

4. VIRTAUS- JA VEDENLAATUMALLI

4.1 Virtausten määräytyminen

Luonnossa vesistön virtauksiin vaikuttavat

- tuulet ja tulovirtaamat
- vedenkorkeus-, -tiheys- ja ilmanpaine-erot
- maan pyörimisliike
- veden sisäinen kitka ja liikemäärän kulkeutuminen
- veden häviämättömyys ja kokoonpuristumattomuus
- pohjan ja rantojen muodot.

Näiden fysikaalisten tekijöiden vaikutukset ja syy-yhteydet ovat yksityiskohtaisesti tunnettuja. Tältä pohjalta vesialueen virtaukset ja niiden vaihtelut saadaan lasketuiksi halutulla erotustarkkuudella eri tuuli- ja virtaamatilanteissa, kun syvyydet, jääpeitteen esiintyminen, jokivirtaamat ja avovesikauden tuulet tunnetaan.

Paine saadaan pinnankorkeudesta, ilmanpaineesta ja nesteen sisäisestä tiheydestä. Nesteen panevat liikkeelle reunaehdot. Mallissa on käytetty tuuli- ja pohjakitkalle neliöllisiä lausekkeita.

4.2 Vedenlaadun määräytyminen

Veden ominaisuudet ja pitoisuudet kulkeutuvat virtausten mukana. Samalla viereisten vesimassojen ominaisuudet sekoittuvat keskenään vesistön pyörteiden ja nopeuserojen vaikutuksesta. Kulkeutumisen ohella pitoisuuksiin usein vaikuttavat monet fysikaaliset, kemialliset ja biologiset tekijät.

Tavallisimpia vuorovaikutuksia ovat vajoaminen ja sedimentoituminen, vaikutuksen heikkeneminen/kasvaminen ajan mukana sekä ilmastuminen ja muut pinnan, pohjan ja kasvillisuuden välittömät vaikutukset veteen. Vaikutusten voimakkuus ja vaikutusnopeudet voivat riippua mm. veden lämpötilasta, valaistuksesta, eri pitoisuuksista,

happamuudesta, suolaisuudesta, jääpeitteestä, pohjan laadusta ja monista muista tekijöistä.

Kun vesistön virtaukset ja kuormitukset kullakin hetkellä ovat selvillä, saadaan myös pitoisuuksien ja veden muiden ominaisuuksien aika- ja paikkavaihtelut lasketuiksi jatkuvasti. Seuraavasta yhtälö:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\mathbf{u} \cdot \nabla c + D_h \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + D_h \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + D_v \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} + S(c) + L(c)$$

jossa c on pitoisuus, D_h ja D_v horisontaalinen ja vertikaalinen pyörrediffuusiokerroin, $S(c)$ on vuorovaikutuksia kuvaava funktio ja $L(c)$ kuormitusfunktio. Tässä sovelluksessa laskettiin aineen kulkeutumista ja hajoamista.

4.3 Tehtävän ratkaisu tietokoneella

Erilaisista veden laatuun vaikuttavista prosesseista muodostuu monimutkainen kokonaisuus, vaikka yksittäiset prosessit olisivatkin helposti kuvattavia. Tarvittavien laskutoimitusten määrä nousee tällöin niin suureksi, ettei laskennasta yleensä selvitä ilman tietokonetta.

Ratkaisua varten tarkastelualue jaetaan osa-alueisiin eli hilaruutuihin. Hilaruudun leveys ja pituus muodostavat laskennan erotustarkkuuden. Kunkin hilaruudun syvyydet arvioidaan karttatiedon pohjalta. Syvyys suunnassa vesistö jaetaan halutun paksuisiin kerroksiin.

Kunkin hilaruudun ja vesikerroksen virtausnopeudet ratkaistaan tarkastelujaksolla vaihtelevissa tuuli-, jääpeite-, kerrostumis-, ja virtaamatilanteissa. Veden laadun kehitystä lasketaan kulkeutumisen rinnalla kaikille ruuduille ja syvyyksille läpi tarkastelujakson.

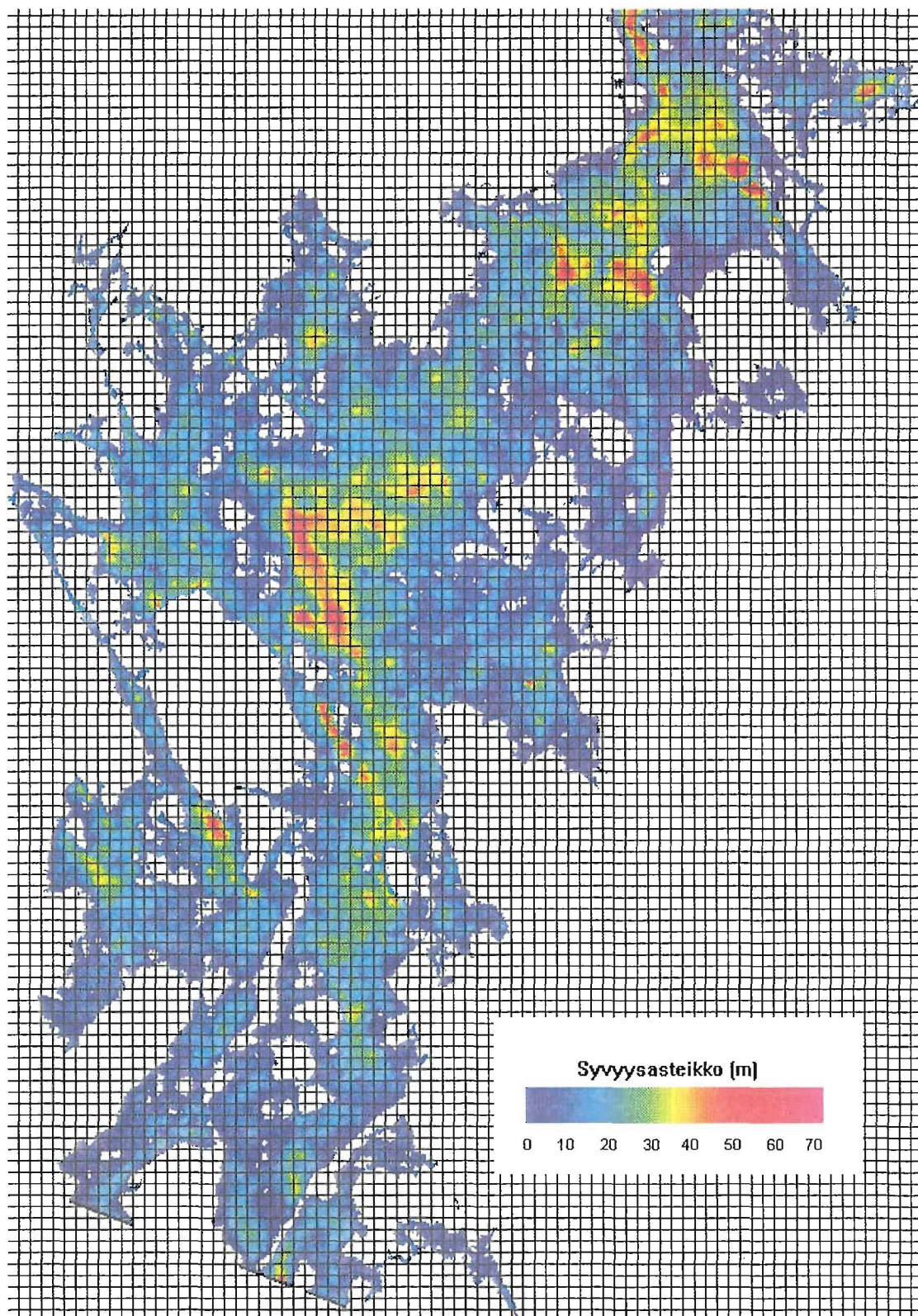
4.4 Mallin soveltaminen Päijänteelle

Pohjois- ja Keski-Päijänteelle on aiemmin sovellettu virtaus- ja vedenlaatumallia. Mallilla on tarkasteltu fosforikuormituksen vesistövaikutuksia (Lehtinen ja Virtanen 1993 sekä Lehtinen, Koponen ja Frisk 1993). Malleissa muutettiin laskentamuuttujat vastaamaan Lipeälammen kuormitusvaikutuksia ja mallit päivitettiin kaikilta osiltaan uusinta laskentatekniikkaa vastaaviksi.

Etelä-Päijänteelle ei ole laadittu aiemmin mallia. Projektin aikana digitoitiin alueen syvyydet ja rantaviivat, laadittiin laskentahila sekä laskettiin virtaukset ja kulkeutuminen. Kuvassa 2 on esitetty mallissa käytetyt syvyydet sekä mallin hilaverkko. Hilaverkon koko on 81x116 kappaletta horisontaalisuunnassa. Käytetty hilaväli on 400 m. Syvyys suunnassa on vesialue jaettu 10:een kerrokseen. 14 metriin asti kerrosten paksuus on 2 metriä.

Kolme mallialuetta yhdistettiin antamalla aina pohjoisemman mallialueen eteläreunalta poistuva ainevirta kuormituksena eteläisemmän alueen pohjoisreunalle. Näin

Lipeälammen kuormituksen kulkeutumista seurataan kolmessa vaiheessa. Veden vaihdossa eri alueiden välillä on otettu huomioon ainoastaan läpivirtaama. Näin ollen tuulten aiheuttama aineen vaihto eri mallialueiden välillä jää tarkastelun ulkopuolelle.

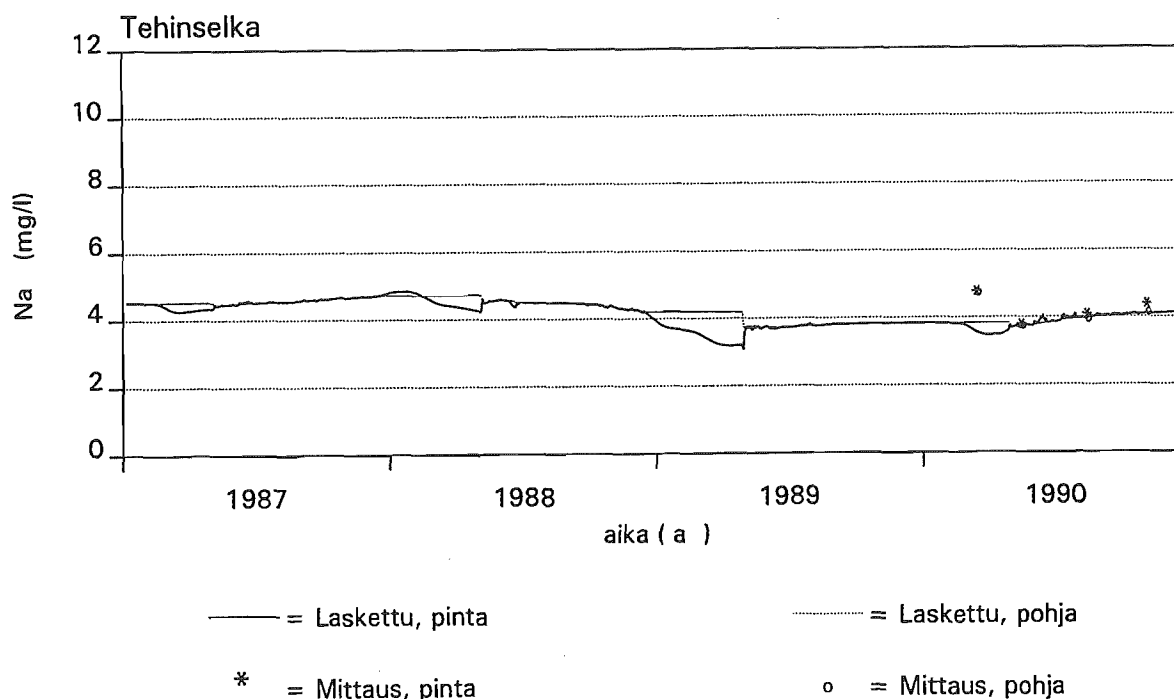


Kuva 2. Etelä-Päijänteen mallialue sekä hilaruudukko. Hilaväli on 400 m.

5. LASKENTATULOKSET

5.1 Mallin kalibrointi

Virtaus- ja vedenlaatumallin toiminta testattiin laskemalla kaikilla kolmella mallialueella natriumin kulkeutumista neljän vuoden laskentajaksolla 1987-1990. Viimeisen laskentavuoden 1990 pitoisuuksia järven eri pisteissä verrattiin mitattuihin natriumpitoisuuksiin. Natrium laskettiin konservatiivisena suurena ilman sedimentaatiota ja hajoamista. Pohjois-Päijänteeseen natriumkuormitus annettiin kolmesta lähteestä: Äänekosken metsäteollisuudesta, Jyväskylän Kankaan tehtaasta sekä Jyväskylän Nenäniemen jätevedenpuhdistamosta. Näistä kuormituslähteistä Äänekosken tehtaiden kuormitus on selvästi suurin. Lisäksi Haapakosken tulovirtaamalle annettiin pieni natriumpitoisuus vastaamaan luonnollista taustapitoisuutta. Keski-Päijännettä kuormittavat Yhtyneet Paperitehtaat Oy:n Kaipolan ja Jämsänkosken tehtaat sekä Jämsän, Jämsänkosken ja Kaipolan yhdyskuntien yhteispuhdistamo, jonka vaikutus kuitenkin on melko pieni. Lisäksi Pohjois-Päijänteeseen mallialueelta kulkeutuu kuormitusta Keski-Päijänteelle. Etelä-Päijänteellä ei ole muuta kuormitusta kuin Keski-Päijänteeltä virtausten mukana kulkeutuva natrium. Kalibroinnissa käytettiin Vaajakosken ja Jämsänjoen todellisia virtaama-arvoja neljänä laskentavuotena.



Kuva 3. Laskettu ja mitattu natriumpitoisuus Tehinselällä Etelä-Päijänteellä

Mallilla laskettu natriumpitoisuus Etelä-Päijänteeseen Tehinselällä vuonna 1990 vastaa kohtuullisesti mittaustuloksia (Kuva 3). Vastaavat tulokset yhteensä yhdeksällä Pohjois-, Keski- ja Etelä-Päijänteeseen pisteellä ovat liitteissä 6-8. Tuloksista voidaan todeta mallin kuvaavan melko hyvin natriumin pitoisuutta varsinkin kesäaikaan. Talviajan pitoisuuksissa on eroja, mitkä johtunevat lähinnä talviajan virtausten laskennan

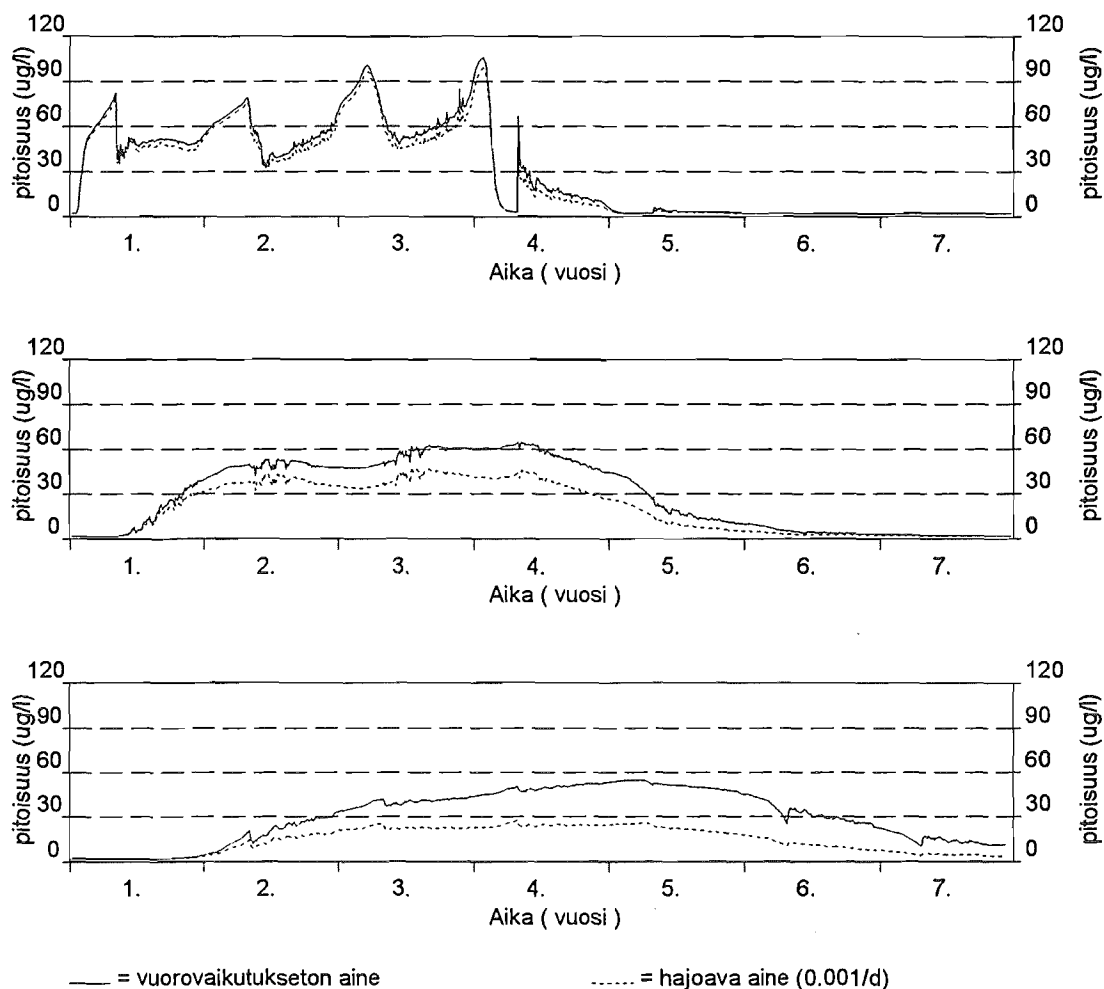
epätarkkuudesta. Työn aikana ei ole ollut mahdollisuutta tarkentaa virtausten laskentaa Pohjois- ja Keski-Päijänteen mallien osalta.

5.2 Lipeälammen vaikutus Päijänteen pitoisuuksiin

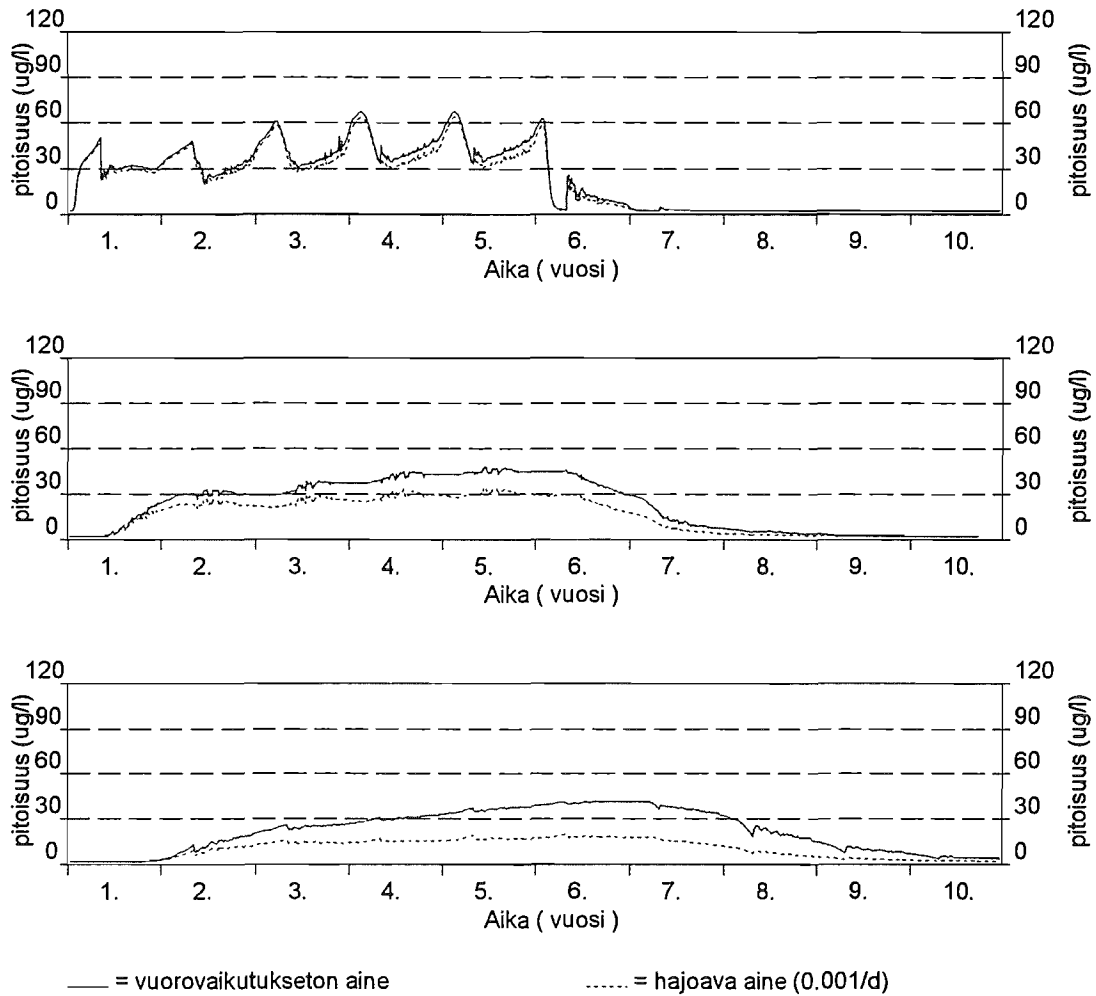
Lipeälammen kuormituksen johtamista Päijänteseen simuloitiin antamalla Vaajakoskelle suunniteltuun jäteveden purkupaikkaan kolme vuotta kestävä vakiokuormitus ja seuraamalla kuormituksen leviämistä etelään. Kuormitus oli suuruudeltaan 1000 kg päivässä kolmen ensimmäisen laskentavuoden ajan, minkä jälkeen laskentaa jatkettiin ilman kuormitusta vielä neljän vuoden ajan pitoisuuksien tasaantumisen seuraamiseksi. Kuormitus 1000 kg/päivä vastaa Lipeälammen arvioitua NaLS- ja COD-kuormaa. Kulkeutuminen laskettiin sekä täysin konservatiivisella aineella, joka ei hajoa eikä sedimentoidu, että vertailun vuoksi aineella, joka hajooa 0.1 % vuorokaudessa. Aineen alkupitoisuus on nolla ja muita kuormituksia ei ole, joten tulokset vastaavat Lipeälammesta tulevan kuormituksen aiheuttamaa pitoisuuslisäystä. Laskentatulokset tuhannen kilon yksikkökuormalla voidaan suhteuttaa todellisiin, eri aineiden pitoisuuksiin, kun tunnetaan niiden määrä Päijänteseen laskettavassa Lipeälammen vedessä.

Aineen pitoisuus kolmella eri pisteellä seitsemän vuoden laskenta-aikana näkyy kuvassa 4. Ylin piste on Pohjois-Päijänteen Ristiselällä, keskimäinen Keski-Päijänteen Sauselällä ja alin Etelä-Päijänteellä heti Pulkkilanharjun pohjoispuolella. Pohjois-Päijänteellä näkyy Vaajakosken virtaaman vaihtelu pitoisuuden vaihteluna, mikä kuitenkin tasoittuu etelään päin mentäessä. Pohjois-Päijänteellä konservatiivisen aineen pitoisuus kohoaa kolmen kuormitusvuoden lopussa maksimissaan arvoon 100 ug/l, mutta laskee nopeasti muutaman kuukauden aikana kuormituksen loputtua. Keski-Päijänteellä sekä pitoisuuden kasvu, että sen laskeminen on hitaampaa. Pitoisuus saavuttaa huippunsa vasta lähes puoli vuotta kuormituksen loppumisen jälkeen ja pitoisuuden laskeminen lähelle nolaa kestää yli vuoden. Huippupitoisuudet jäävät yli kolmanneksen pienemmiksi kuin Pohjois-Päijänteen tarkkailupisteellä. Etelä-Päijänteen eteläosassa Vaajakoskelle laskettu kuormitus alkaa näkyä vasta yli vuoden kuormituksen alkamisen jälkeen. Pitoisuudet ovat konservatiivisella aineella kohonneella tasolla vielä neljä vuotta kuormituksen loppumisen jälkeen. Suurimmat pitoisuudet jäävät alhaisemmiksi kuin Keski-Päijänteellä. Kuormittavan aineen promillen suuruinen hajoaminen päivässä puolittaa aineen Etelä-Päijänteen eteläosiin kulkeutuvan pitoisuuden. Hajoamiskertoimen vaikutus on luonnollisesti etelässä suurempaa kuin järven pohjoisosissa, sillä aine ehtii hajota pitemmän kulkeutumisen aikana.

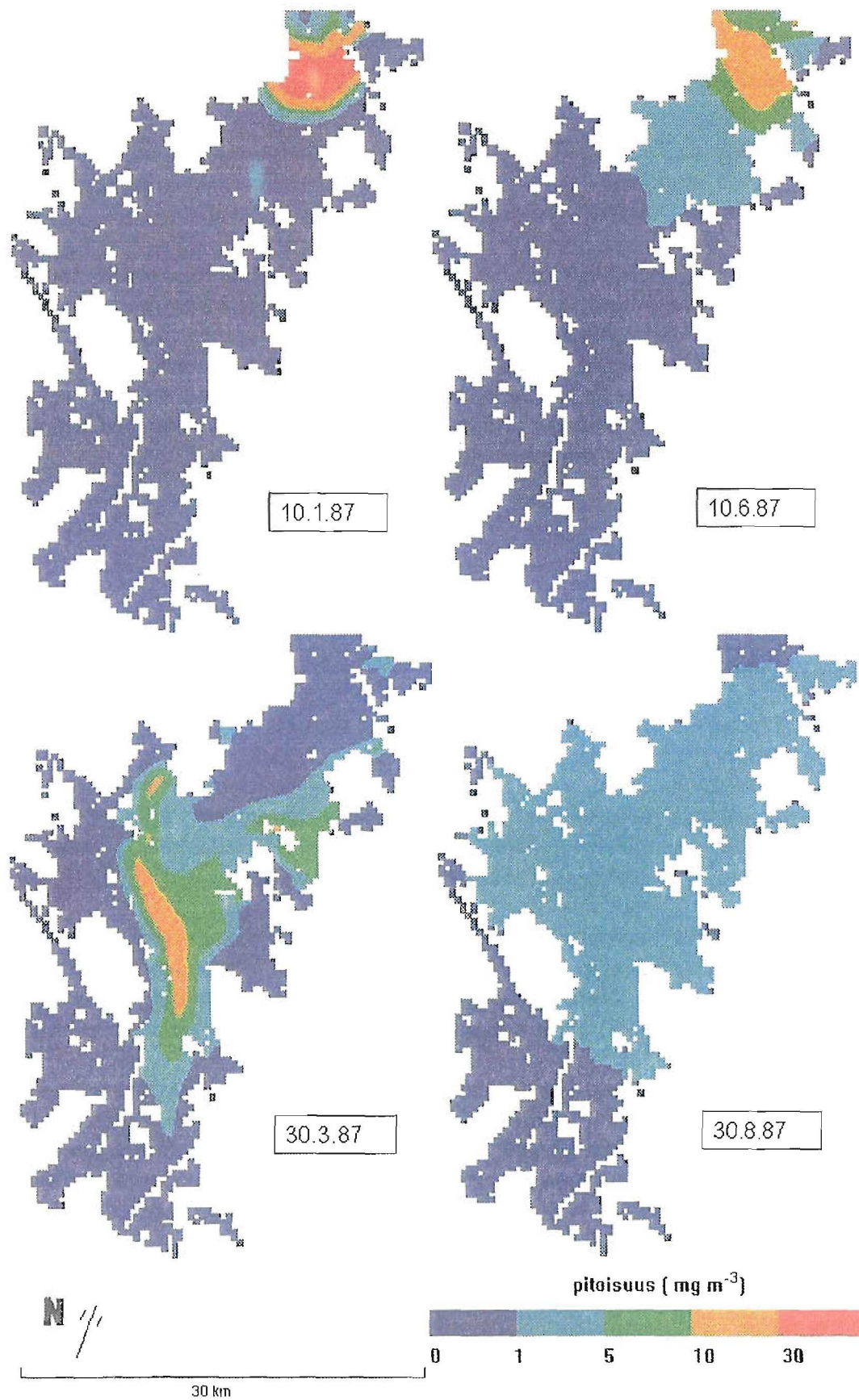
Kuvassa 5 on esitetty laskentatilanne, jossa Lipeälammen vettä päästetään vesistöön 5 vuotta (kuvassa 4 päästöaika on 3 vuotta). Luonnollisesti pitoisuudet jäävät tällöin jonkin verran pienemmiksi kuin nopeamassa kuormitustilanteessa. Pääkaupunkiseudun vedenoton pitoisuudet kohoavat hitaasti 6 vuotta. Sen jälkeen ne vähenevät kolmen vuoden aikana matalalle tasolle.



Kuva 4. Aineen pitoisuuden vaihtelu kolmessa eri pisteessä seitsemän vuoden laskenta-aikana, kun päästö kestää 3 vuotta. Ylin piste on Pohjois-Päijänteen Ristiselällä, keskimäinen Keski-Päijänteen Sauselällä ja alin Etelä-Päijänteellä heti Pulkkilanharjun pohjoispuolella. Päästö määrä on 1000 kg päivässä.



Kuva 5. Aineen pitoisuuden vaihtelu kolmessa eri pisteessä kymmenen vuoden laskenta-aikana, kun päästö kestää 5 vuotta. Ylin piste on Pohjois-Päijänteen Ristiselällä, keskimäinen Keski-Päijänteen Sauselällä ja alin Etelä-Päijänteellä heti Pulkkilanharjun pohjoispuolella. Päästö määrä on 600 kg päivässä.



Kuva 6. Äkillisen päästön leviäminen talvi- (vasemmalla) ja kesä (oikealla) tilanteissa. Päästö on tapahtunut alueen pohjoisreunalla. Ylärivin kuvat on tulostettu 10 päivää ja alarivin kuvat kolme kuukautta päästön jälkeen.

5.3 Onnettomuustilanteiden vaikutus pääkaupunkiseudun vedenottoon

Tehtyä mallia voidaan jatkossa käyttää onnettomuustilanteiden laskentaan. Jos vesistöön joutuu myrkyllistä ainetta tai esimerkiksi myrkyllinen levä kasvaa haitallisessa määrin, voidaan vaikutukset vedenottoon ennustaa mallin avulla.

Kuvassa 6 on esitetty Etelä-Päijänteen mallin pohjoisreunalla tapahtuvan äkillisen päästön leviämistä ja sekoittumista. Esimerkitapauksessa päästö oli 10000 kg ja se tapahtui yhden päivän aikana. Kuvissa on esitetty tilanteet kymmenen päivän ja kolmen kuukauden kuluttua päästön tapahtumisesta. Kuvan vasemmalla puolella on jääpeitteisen kauden tilanne ja oikealla avovesikausi, jolloin tuuli pääsee sekoittamaan vettä tehokkaasti. Vastaavalla tavalla voidaan laskea minkä tahansa vesistön päästön varo-ajat ja odotettavissa olevat pitoisuudet juomavedessä.

6. JOHTOPÄÄTÖKSET LIPEÄLAMMEN PÄÄSTÖN MERKITYKSESTÄ PÄÄKAUPUNKISEUDUN VEDENOTTOON

Lipeälammen vesien kemiallinen ja biologinen karakterisointi osoitti lammesta johdettavan veden olevan pitkälle verrattavissa nykyaikaisen sellutehtaan puhdistamattomiin valkaisu-jätevesiin, joissa valkaisu on käytetty joko kokonaan klooritonta tai osin klooridioksidivalkaisua. Kuitenkin biologisilta ominaisuuksiltaan eniten myrkyllisten yhdisteiden pitoisuudet Lipeälammen vesissä olivat lähinnä verrattavissa biologisesti puhdistettuihin sellujätevesiin.

Akuutti myrkyllisyys Lipeälammessa vastasi puhdistamattomia valkaisu-jätevesiä. Sekä pilottimittakaavassa että laitosmittakaavassa saatujen kokemusten mukaan, hakemusasiakirjoissa esitetyn puhdistuksen jälkeen myrkyllisyys poistuu (mm. Verta ym. 1994, Priha 1995). Päijänteeseen johdettavat vedet eivät ole akuutisti myrkyllisiä.

Viime vuosina on tehty useita tutkimuksia sellujätevesien mahdollisista pitkäaikaisista vaikutuksista (mm. Lehtinen ym. 1993, Sangfors ym. 1994) sekä kirjallisuuskatsauksia (mm. Tana ja Lehtinen 1996). Toteutetut tutkimukset on yleensä tehty pitkäaikaisina (3-6 kk) malliekosysteemi-altistuksina, jolloin vaikutuksia on mitattu useissa kymmenissä ekosysteemin eri osissa pitäen sisällään eläin- ja kasviplanktoniin, pohjaeläimiin, kasvistoon ja kaloihin liittyviä tutkimuksia. Tutkimusten mukaan nykyaikasten sellujätevesien, riippumatta valkaisu-menelmästä, mitatut vaikutukset toksisuuteen ja ekosysteemien toimintojen estymiseen malliekosysteemeissä ovat olleet vähäiset käytettäessä laimennussuhteita 1/400 ja 1/2000 (mm. Sangfors ym. 1994).

Vaikutukset malliekosysteemitutkimuksissa ovat olleet lähinnä rehevöittäviä. Todetut pitkäaikaiset vaikutukset eivät ole oleellisesti poikenneet puhdistamattomilla ja puhdistetuilla jätevesillä. Toisaalta korostetaan, että kukin tehdas ja vastaanottava vesistö ovat ainutlaatuisia, ja tulosten yleistettävyyden on siksi ongelma. Malliekosysteemitutkimukset eivät ole paljastaneet laajamittaisia vaikutuksia yksilötasolla, mutta tutkimusten tulosten tulkinta esim. populaatiotason vaikutusten osalta on vaikeaa (Tana ja Lehtinen 1996).

Lipeälammen vesien laimentumisaste Vaajakoskessa on noin 1/20 000 eli kertaluokkaa suurempaa kuin mitä malliekosysteemikokeissa on käytetty. Tutkimuksessa arvioitiin päästön laimeneminen, sekoittuminen ja kulkeutuminen luonnon vaihtelevissa olosuhteissa Etelä-Päijänteelle. Ennustettu pitoisuuden kohoaminen Etelä-Päijänteellä esim. NaLS:lle on luokkaa 30-60 $\mu\text{g l}^{-1}$, mikä jää analyysin epäherkkyydestä johtuvan vaihtelun alle. Olemassaolevan tiedon perusteella ei voida olettaa Lipeälammen vesien juoksutuksen aiheuttavan mitattavissa olevaa vaikutusta Etelä-Päijänteen veden laadulle tai ekosysteemin toiminnalle.

Mallituloksen mukaan Lipeälammen päästöstä aiheutavat haitta-aineet alkavat näkyä vedenotossa noin vuoden sisällä päästön aloittamisesta. Pitoisuudet kohoavat hitaasti 3 - 5 vuoden aikana päästön kestosta riippuen. Sen jälkeen pitoisuudet laskevat kolmen vuoden aikana matalalle tasolle. Pohjois-Päijänteen virtaamista ja kuormituksen muutoksista johtuvat vaihtelut tasoittuvat lähes kokonaan vedenottoon tultaessa.

Matemaattisen mallin käyttö antaa lisäarvona pelkkään laimenemistarkasteluun verrattuna päästön ajallisen ja paikallisen käyttäytymisen. Tällä on erittäin suuri merkitys tarkasteltaessa onnettomuustilanteita tai vesistön jossain osassa tapahtuvaa muuta vedenlaadun heikkenemistä. Esimerkiksi kemikaalionnettomuuden tai myrkyllisen leväkukinnan varoajat ja odotettavissa olevat vaikutukset voidaan arvioida mallin avulla.

KIRJALLISUUS

Granberg, K. 1996. Lipeälammen eri jätevesijakeiden johtaminen Pohjois-Päijänteeseen erilaisilla puhdistusvaihtoehdoilla. Keski-Suomen ympäristökeskus, moniste.

Lehtinen, K., Virtanen, M. 1993. Pohjois-Päijänteen virtaus- ja vedenlaatumallisovellus: eri kuormittajien vaikutukset alueen fosforipitoisuuksiin. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja Nro 525.

Lehtinen, K., Koponen, J., Frisk, T. 1993. Keski-Päijänteen virtaus- ja vedenlaatumallisovellus: fosforikuormittajien vesistövaikutusten arviointi. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja Nro 464.

Lehtinen, K.-J., Tana, J., Mattson, K., Härdig, J., Karlsson, K., Hemming, C., Engström, C. & Hemming, J. 1993. Ecological impact of pulp mill effluents. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja, Sarja A, Helsinki 1993.

Priha, M. 1995. Ecotoxicological impacts of pulp mill effluents in Finland. Teoksessa: Environmental Fate and Effects of Bleached Pulp Mill Effluents. 637-650.

Sangfors, O., Tana, J., Härdig, J. & Grotell C. 1994. Happikemikaalien käyttöön perustuvan massanvalkaisun ympäristövaikutuksia. Osa III. Malliekosysteemitutkimus ECF- ja TCF-sulfaattimassan tuotannosta aiheutuvien pilot-käsiteltyjen valkaisimovesien vaikutuksista.

Tana, J. & Lehtinen, K.-J. 1996. Valkaistun massan tuotannosta aiheutuvien jätevesien ympäristövaikutusten arviointi - yleiskatsaus. Suomen ympäristökeskuksen moniste 20.

Starck, B., Bethge, P.O., Gergov, M. and Talka, E. 1985. Determination of chlorinated phenols in pulp mill effluents - An intercalibration study. Paperi ja puu, No. 12, ss. 745-749.

Verta, M., Langi, A., Ahtiainen, J., Nakari, T., Puustinen, J., Talka, E., Silvonen, J., Sannholm, G., Järvinen, O. & Ruoppa, M. 1994. Happikemikaalien käyttöön perustuvan massanvalkaisun ympäristövaikutuksia. Osa II Kemiaallinen ja biologinen karakterisointi. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A 189:39-83.

Verta, M., Porvari, P. & Matilainen, T. 1995. Elohopean metyyloityminen ja kierto borealisessa ekosysteemissä; valuma-alueen merkitys metyylielohopean tuottajana. Teoksessa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2:323-327.

Liite 1. Lipeälammen vesinäytteet 6.11.1996 (perusanalyysit)

	Lipeälampi		Takaisin pumppaus	Myrkkyyoja	Turve	
	0 - 1,5 m	1,5 - 2,8 m			valutettu	puriste
kiintoaine (GFC) (mg l ⁻¹)	9,1	34	35	9,1	1 500	1 400
kiintoaine (GFA) (mg l ⁻¹)	13	30	45	4,4	1 500	1 300
sähkönjoht. (ms/m)	56,2	159	200	25,5	48,1	51,0
pH	6,6	4,2	4,5	6,5	6,8	7,0
väri (mg l ⁻¹)	2 500	3 000	3 000	250	1 000	1 000
COD _{Mn} (mg l ⁻¹)	1 400	4 500	4 500	130	1 700	1 600
COD _{Cr} (mg l ⁻¹)	2 400	9 600	11 800	230	3 200	2 900
BOD ₇ (mg l ⁻¹)	130	2 600	2 900	24	210	260
kok. N (µg l ⁻¹)	4 200	12 500	10 000	9 200	31 000	29 000
kok. P (µg l ⁻¹)	175	750	1 050	210	2 200	2 800
Na (mg l ⁻¹)	7,8	8,2	18,0	15,5	7,1	7,9
K (mg l ⁻¹)	5,8	11,7	16,5	9,4	6,1	6,4
Ca (mg l ⁻¹)	140	430	410	19,7	160	150
Mg (mg l ⁻¹)	12,9	26	38	3,0	13,5	12,5
TOC (mg l ⁻¹)	790	3 490	3 560	76	700	1 220
DOC (mg l ⁻¹)	720	3 330	3 500	78	590	720
AOX (µg l ⁻¹)	37	200	46	75	210	1 200
NaLS (mg l ⁻¹)	760	4 000	4 200	69	610	840

Liite 2. Lipeälammen vesinäytteet 6.11.1996 (metallit)

	Lipeälampi		Takaisin pumppaus	Myrkkyoja	Turve	
	0 - 1,5 m	1,5 - 2,8 m			valutettu	puriste
Al (mg l ⁻¹)	7,7	11,1	34,5	0,68	56,4	16,4
Fe (mg l ⁻¹)	21,7	77,7	250	31,0	189	102
Mn (mg l ⁻¹)	1,9	3,7	4,6	0,17	3,6	1,8
Ti (mg l ⁻¹)	1,98	2,13	5,63	0,066	4,85	2,58
Ba (mg l ⁻¹)	0,86	0,91	0,32	0,034	4,59	1,24
Pb (µg l ⁻¹)	1,02	2,36	4,41	5,62	458	135
U (µg l ⁻¹)	11,9	17,6	48,4	0,64	106	25,9
Mo (µg l ⁻¹)	1	1,9	8	0,4	29	13
V (µg l ⁻¹)	82	78	279	2,5	300	131
Cr (µg l ⁻¹)	44	72	157	3,0	193	66
Co (µg l ⁻¹)	4,9	24	25,7	0,9	33,5	14,4
Ni (µg l ⁻¹)	13,8	37,4	38,9	2,2	71,1	25,2
Cu (µg l ⁻¹)	2,3	8	14,1	3,1	1 180	338
Zn (µg l ⁻¹)	24,7	192	240	18,7	1 910	511
As (µg l ⁻¹)	18,9	27,7	47,3	1,78	78,1	29,3
Sr (µg l ⁻¹)	499	1 250	1 250	77	1 010	540
Cd (µg l ⁻¹)	0,11	0,21	0,34	0,04	11,4	4,15
Hg (ng l ⁻¹)	19,0	25,45	28,0	29,0	360	430
MeHg (ng l ⁻¹)	2,60	1,12	2,75	1,27	12,7	5,21

Liite 3. Lipeälammen vesinäytteet 6.11.1996 (orgaaniset yhdisteet)

	Lipeälampi		Takaisin pumppaus	Myrkkyoja	Turve	
	0 - 1,5 m	1,5 - 2,8 m			valutettu	puriste
Kloorifenolit ($\mu\text{g l}^{-1}$):						
2,4,6-TCP	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
2,3,4,6-TeCP	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
PCP	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Fenoli ($\mu\text{g l}^{-1}$)	340	2 700	1 600	150	180	240
Rasvahapot ($\mu\text{g l}^{-1}$):						
Myristiinihappo	7	13	9	9	58	69
Palmitiinihappo	20	31	38	18,5	129	118
Margariinihappo	<10	<10	<10	<10	15	16
Steariinihappo	8	8	11	10,5	50	45
Oleiinihappo	7	7	45	17	53	41
Linolihappo	<5	5	57	5	54	42
Linoleenihappo	<5	<5	42	<5	12	11
Arakiinihappo	<5	<5	<5	<5	23	21
Eikoseenihappo	<5	<5	<5	<5	7	9
Heneikosaanihappo	<5	<5	<5	<5	12	14
Beheenihappo	<5	<5	<5	<5	58	55
Hartsihapot ($\mu\text{g l}^{-1}$):						
Pimaarihappo	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Levopimaarihappo	<5	18	11	<5	9	11
Palustriinihappo	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Isopimaarihappo	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Abietiinihappo	<10	<10	<10	<10	11	<10
Dehydroab.happo	<10	<10	<10	<10	53	42
Neoabietiinihappo	<10	<10	11	<10	25	21

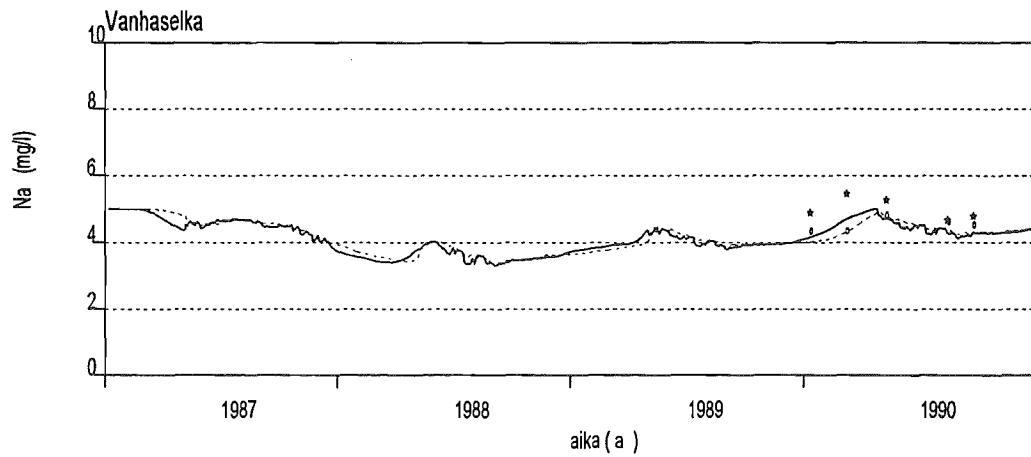
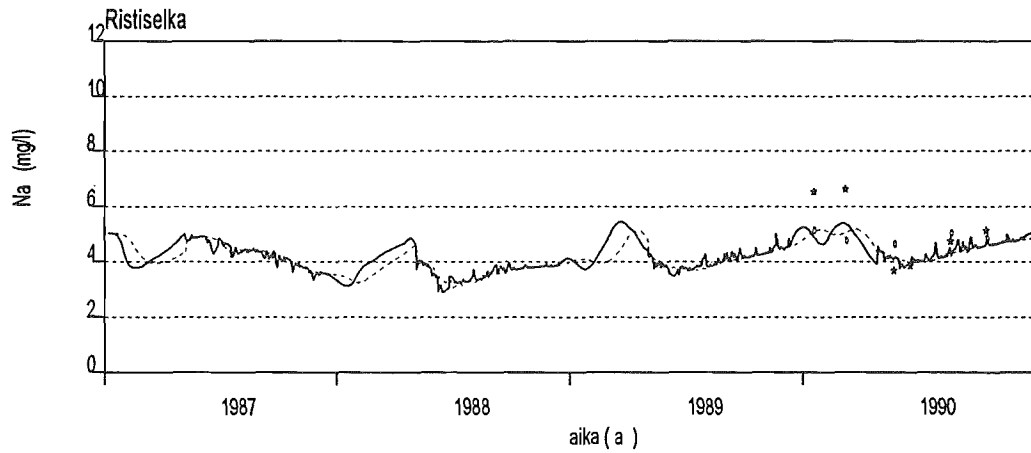
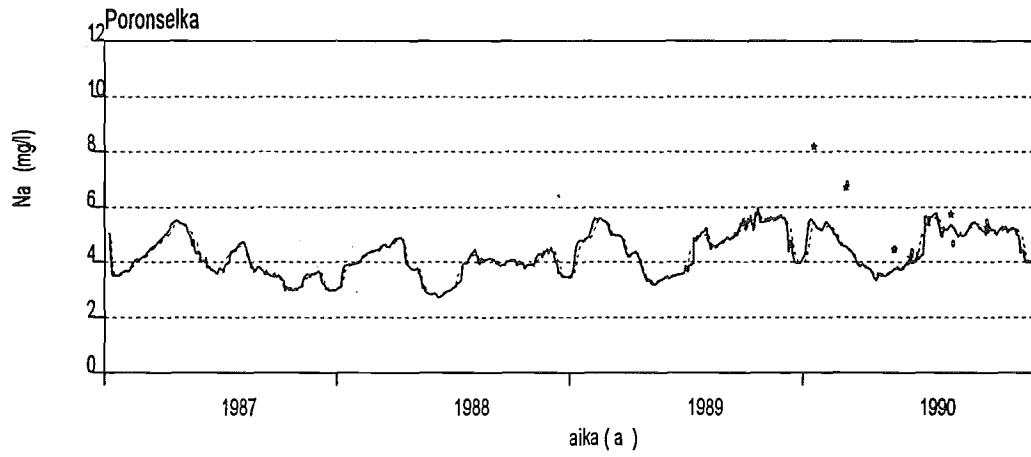
Liite 4. Lipeälammen vesinäytteet 6.11.1996 (toksisuustestit)

näyte	valobakteeritesti		levätesti		vesikirpputesti	
	EC50	TU	EC50	TU	EC50	TU
Turve, valutettu	20	5,0	30	3,3	100	1,0
Turve, puriste	22	4,5	32	3,1	75	1,3
Takaisin pumppaus	8	12,5	5	20	50	2,0
0 - 1,5 m	17	5,9	22	4,6	75	1,3
1,5 - 2,8 m	6	16,7	19	5,3	90	1,1
Myrkkyoja	ei toksinen	0	19	5,3	90	1,1

Liite 5. Lipeälammen tyhjennyksestä aiheutuva kuormitus Päijänteeseen. Arvio perustuu pumppaukseen 700 m³ d⁻¹.

	lähtöpitoisuus	puhdistuksen jälkeen	kuormitus (kg d ⁻¹)
COD _{Mn} (mg l ⁻¹)	2 000 - 3 000	1 000 - 1 500	700 - 1 000
BOD ₇ (mg l ⁻¹)	1 000 - 2 000	100 - 200	70 - 150
NaLS (mg l ⁻¹)	1 000 - 2 000	1 000 - 2 000	700 - 1 500
Fenolit (µg l ⁻¹)	500 - 1 500	250 - 750	0,2 - 0,5

Liite 6. Pohjois-Päijänteen mitatut ja lasketut natriumpitoisuudet.



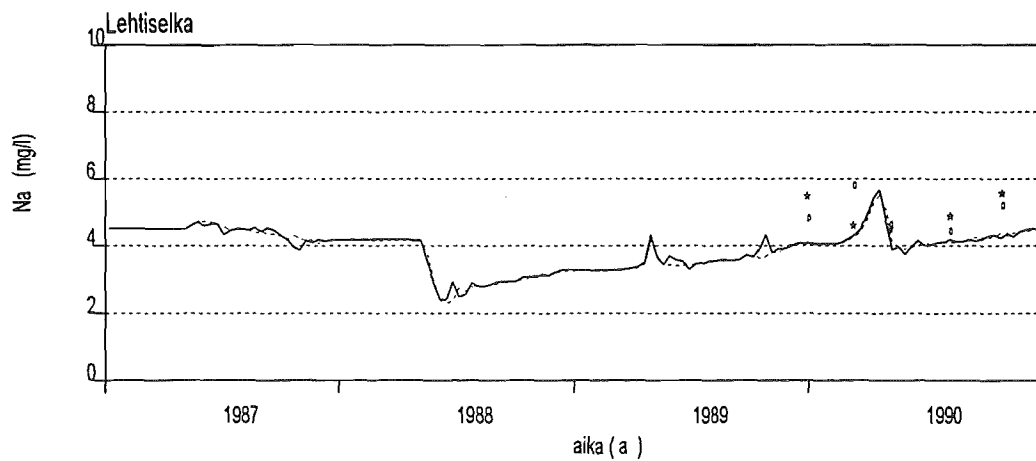
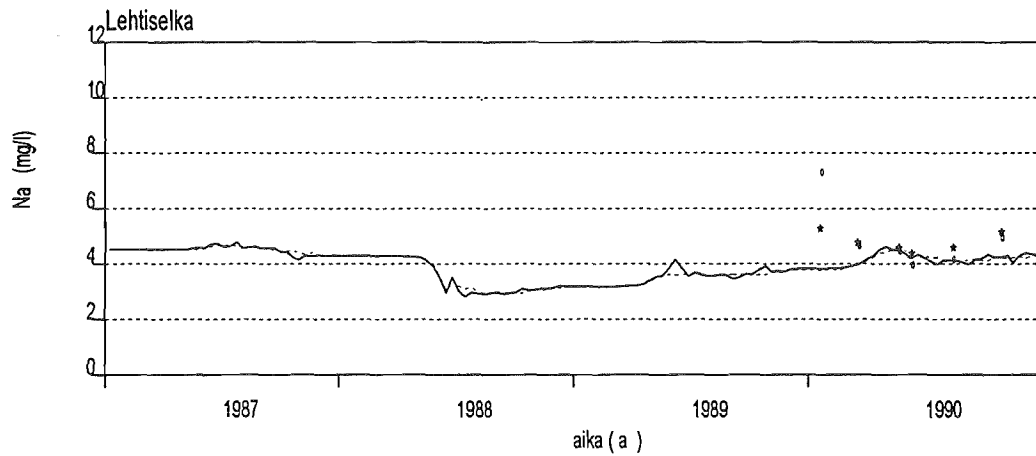
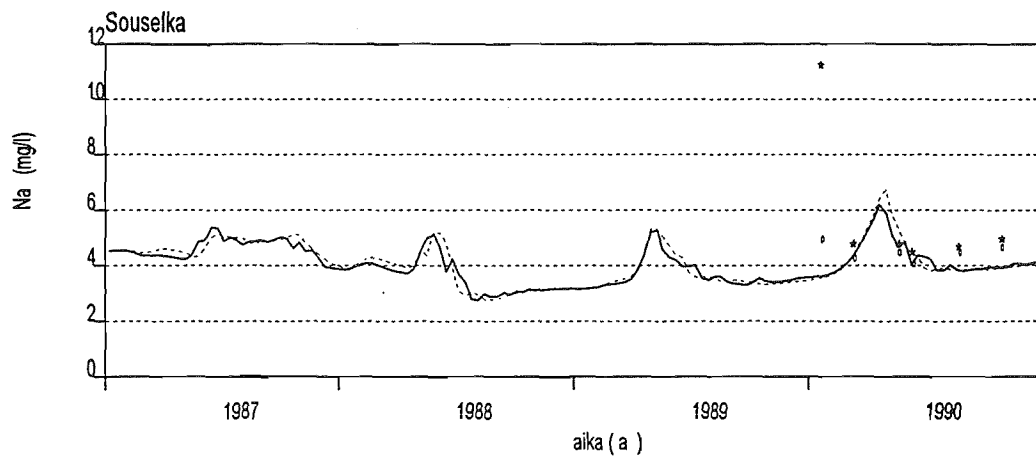
— = Laskettu, pinta

- - - = Laskettu, pohja

* = Mittaus, pinta

o = Mittaus, pohja

Liite 7. Keski-Päijänteen mitatut ja lasketut natriumpitoisuudet.



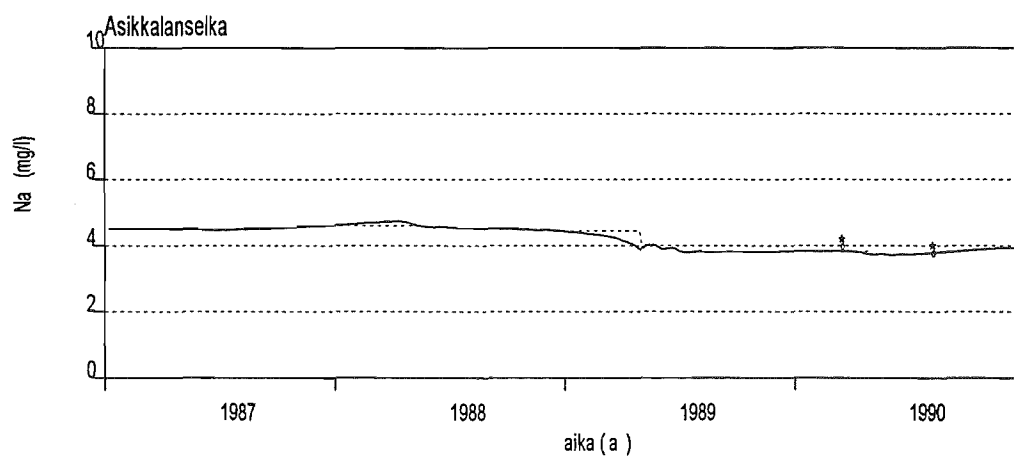
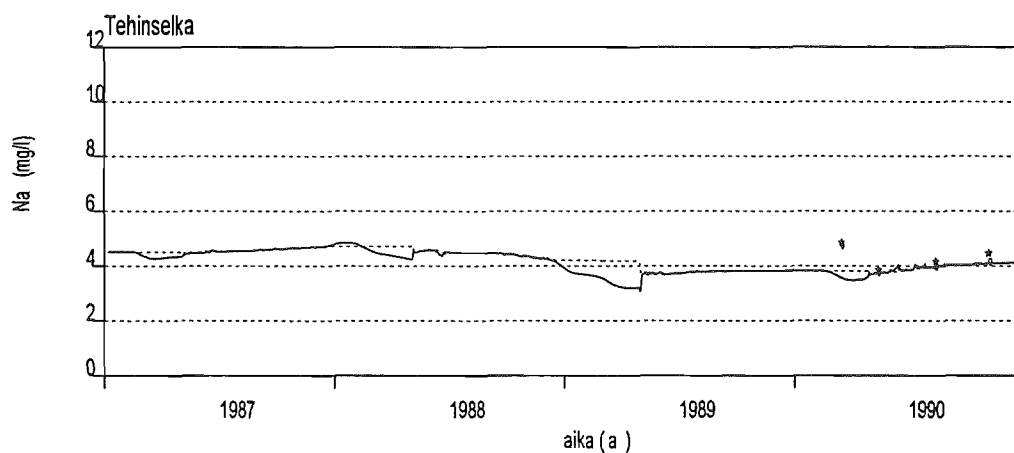
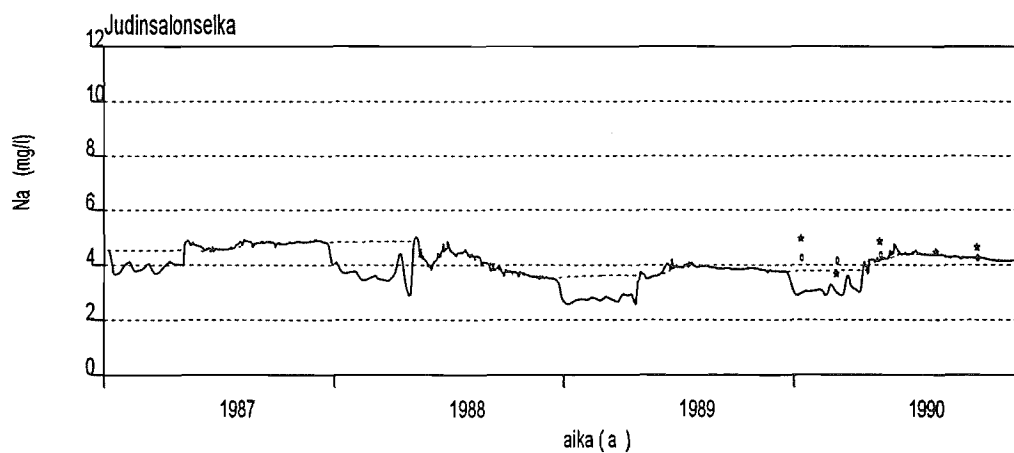
— = Laskettu, pinta

- - - = Laskettu, pohja

* = Mittaus, pinta

o = Mittaus, pohja

Liite 8. Etelä-Päijänteen mitatut ja lasketut natriumpitoisuudet.



— = Laskettu, pinta

- - - = Laskettu, pohja

* = Mittaus, pinta

o = Mittaus, pohja

Julkaisija
Suomen ympäristökeskus

Julkaisun päivämäärä
Maaliskuu 1997

Tekijä(t) (toimielimestä: nimi, puheenjohtaja, sihteeri)

Matti Verta, Jorma Koponen, Juha Sarkkula, Minna Kuusisto, Juha Haapamäki, Arto Inkala

Julkaisun nimi (myös ruotsinkielinen)

Lievestuoreen lipeälammen vaikutus pääkaupunkiseudun vedenottoon matemaattisella virtaus- ja kulkeutumismallilla tarkasteltuna

Julkaisun laji

Tutkimusraportti

Toimeksiantaja

Pääkaupunkiseudun vesi Oy

Toimielimen asettamispvm

Julkaisun osat

Tiivistelmä

Lipeälammen vesien kemiallinen ja biologinen karakterisointi sekä akuutti myrkyllisyys osoitti lammesta johdettavan veden olevan pitkälle verrattavissa nykyaikaisen sellutehtaan puhdistamattomiin valkaisu-jätevesiin. Päijänteeseen johdettavat vedet eivät ole akuutisti myrkyllisiä. Olemassa olevan tiedon perusteella ei voida olettaa Lipeälammen vesien juoksutuksen aiheuttavan mitattavissa olevaa vaikutusta Etelä-Päijänteen veden laadulle tai ekosysteemin toiminnalle.

Mallitulosten mukaan Lipeälammen päästöstä aiheutuvat haitta-aineet alkavat näkyä vedenotossa noin vuoden sisällä päästön aloittamisesta. Pitoisuudet kohoavat hitaasti 3-5 vuoden aikana päästön kestosta riipuen. Sen jälkeen pitoisuudet laskevat kolmen vuoden aikana matalalle tasolle.

Matemaattisen mallin käyttö antaa lisäarvona pelkkään laimenemistarkasteluun verrattuna päästön ajallisen ja paikallisen käyttäytymisen. Tällä on erittäin suuri merkitys tarkasteltaessa onnettomuustilanteita tai vesistön jossain osassa tapahtuvaa muuta vedenlaadun heikkenemistä. Esimerkiksi kemikaalionnettomuuden tai myrkyllisen leväkukinnan varoajat ja odotettavissa olevat vaikutukset voidaan arvioida mallin avulla.

Asiasanat (avainsanat)

Puunjalostusteollisuuden jätevedet, pääkaupunkiseudun vedenotto, myrkyllisyys, vaikutusten arviointi, mallit, kemikaalionnettomuudet, Lievestuore, Päijänne

Muut tiedot

Sarjan nimi ja numero

Suomen ympäristökeskuksen moniste

ISBN

ISSN

Kokonaissivumäärä

30

Kieli

Suomi

Hinta

Luottamuksellisuus

Julkinen

Jakaja

Suomen ympäristökeskus

Asiakaspalvelu

Puh 09-403 00 100

Telefax 09-403 00 190

Kustantaja

Suomen ympäristökeskus

PL 140 00251 HELSINKI

