Alueelliset ympäristöjulkaisut

10

Kirsti Krogerus, Ämer Bilaletdin, Raini Kiukas,
Ritva Saxen ja Marita Karling

Vesijärven kuormitusselvitys

Kangasala

HELSINKI 1996

HÄMEEN YMPÄRISTÖKESKUS

ISBN 952-11-0040-0
ISSN 1238-8610

Taitto: Maija-Liisa Lehtonen
Sisus: Suomen ympäristökeskuksen monistamo
Kannet: Oy Edita Ab
Helsinki 1996

Sisällys

1 Johdanto 5

2 Tutkimusalueen kuvaus 6

3 Tutkimusmenetelmät 8

3.1 Vedenlaatu- ja virtaamamittaukset 8
3.2 Raskasmetalli- ja PCB- sekä radioaktiivisuusmittaukset 8
3.3 Kuormituksen laskenta 9
3.4 Vesijärven ainetaseiden laskenta 12

4 Vesistön tila 14

4.1 Veden laatu ja sen kehittyminen 14
4.2 Kalojen raskasmetalli- ja PCB-pitoisuudet 22
4.3 Radioaktiivisuus 22

5 Valuma-alueselvitys 25

5.1 Pistekuormitus 25
5.2 Haja-asutuksen kuormitus 28
5.3 Maatalous 29
5.4 Metsätalous 31
5.5 Perushuuhtouma ja laskeuma 32

6 Kuormitus- ja ainetaselaskelmat 33

6.1 Pienten osavaluma-alueiden ravinnekuormitukset vuonna 1993 33
6.2 Kuormitus valuma-alueilta kuormituslähteittäin vuonna 1993 34
6.3 Ainetaseet 40
6.4 Kuormituksen vähentämisen vaikutus veden laatuun 41

LIITE 1. Vesijärven ja siihen laskevien purojen suojakaistat 47

LIITE 2. Vesijärven valuma-alueen metsien lannoitus- ja ojitusalat vuosittain. 53

LIITE 3. Vuosien 1976-86 metsien lannoitemäärät (t a-1) ja lannoitusalat (ha a-1) sekä käytetyt lannoitteet (kg) Vesijärven valuma-alueella 54

LIITE 4. Ravinnekuormitus valuma-alueilta kuormituslähteittäin vuonna 1993 55

Kuvailulehdet 57

Johdanto

Kangasalan Vesijärvi tunnetaan hyvänä kalavetenä; sieltä on voinut kalastaa niin muikkua kuin kuhaakin. Järvi saarineen on myös monen laulun innoituksen aihe. Viime vuosina järvi on kuitenkin saanut kokea takaiskuja rehevöitymiskehityksen kiihdyttyä ja sinilevien ilmaannuttua lähes pysyviksi vieraiksi. Järven virkistysarvo on laskenut ja rehevöityminen saattaa uhata myös Kangasalan kunnan vedenottoa.

Kangasalan ympäristönsuojelulautakunnan teettämässä Vesijärven tarkkailututkimuksessa vuonna 1989 todettiin, että järven vedenlaatu on hyvä, mutta ei enää erinomainen. Rehevöityminen todettiin toimenpiteitä vaativaksi ongelmaksi. Längelmäveden reitin vesiensuojelututkimus, johon kerättiin runsaasti tietoa valuma-alueilta, valmistui vuonna 1992. Vesijärvi jäi tutkimuksessa kuitenkin vähälle huomiolle. Vesijärven tutkimusta on kiirehditty, koska rehevöityminen on selvästi voimakkaampaa Vesijärvessä kuin Längelmävedellä. Myös Salon (1991), Granbergin ym. (1992) ja Meriläisen ym. (1994) tutkimukset osoittavat rehevöitymisen Vesijärven ongelmaksi.

Vesijärvi-projektissa selvitettiin Vesijärven tila ja järveen tuleva kuormitus. Selvityksessä laskettiin järven osa-altaiden ainetaseet ja mallitarkastelulla arvioitiin toimenpiteiden tarvetta.

Projekti alkoi 1993 ja jatkuu tämän raportin laatimisen jälkeenkin toimenpiteiden suunnitteluna. Sen on rahoittanut pääasiassa Kangasalan kunta, mutta myös Tampereen vesi- ja ympäristöpiiri (nyk. Hämeen ympäristökeskus) ja Oriveden kaupunki ovat osallistuneet kustannuksiin. Projektille asetettuun ohjausryhmään kuuluivat seuraavat kuntien sekä vesi- ja ympäristöhallinnon edustajat:

Jukka Mäkelä, Kangasalan kunta, kunnanjohtaja
Raini Kiukas, Kangasalan kunta, ympäristönsuojelusihteeri
Raimo Kouhia, Kangasalan kunta, ympäristölautakunnan pj.
Mikko Ilkka, Kangasalan kunta, ympäristöosasto
Paavo Nikkanen, Kangasalan kunta, tekninen osasto
Markku Mäkelä, Kangasalan kunta, maataloussihteeri
Tarja Viteli, Oriveden seudun kansanterveystyön kuntayhtymä, ympäristönsuojelusihteeri
Esko Ahola, Oriveden kaupunki, maataloussihteeri
Jorma Laurila, Kangasalan maataloustuottajain yhdistys
Esko Pohjala, Maataloustuottajain Oriveden yhdistys
Kirsti Krogerus, Hämeen ympäristökeskus
Hannu Wirola, Hämeen ympäristökeskus
Maija-Liisa Rantala, Kangasalan seudun terveyskeskuskuntayhtymä, terveystarkastaja
Reijo Mäntymaa, Kangasalan seudun terveyskeskuskuntayhtymä, terveystarkastaja
Saara Köppä, Vihtiälän-Suomatkan ranta-asukasyhdistys
Aki Hakkari, Vesijärven kalastushoitoyhdistys ry
Esa Majava, Kangasalan seudun 4H-yhdistys
Risto Arvonen, Kangasalan seudun 4H-yhdistys

Tämän raportin ovat kirjoittaneet Ämer Bilaletdin, Marita Karling ja Kirsti Krogerus Hämeen ympäristökeskuksesta, Raini Kiukas Kangasalan kunnasta sekä Ritva Saxen säteilyturvakeskuksesta.

2 Tutkimusalueen kuvaus

Vesijärvi kuuluu Kokemäenjoen vesistön Längelmäveden reittiin. Vesijärven valuma-alueen kokonaispinta-ala on 221 neliökilometriä (km^2) ja järvisyys 20 %. Järven vedet virtaavat Vääksynjoen kautta Längelmäveden Villikanlahteen. Vääksynjoen keskivirtaama on 1,8 kuutiometriä sekunnissa (m^3 s^{-1}) (kuva 1).

Vesijärvi saa pääasiassa vetensä järven pohjoisosaan laskevista puroista. Lisävesiä tulee laajalta alueelta Myllyjärven kautta Vanhankylänlahteen. Veden laatuun vaikuttavia valumavesiä laskee myös Taipaleenlahteen, Havisevanlahteen ja Saappaanpohjanlahteen. Lisäksi valumavesiä järveen tulee laajoilta peltoalueilta mm. Tursolan ja Rikun alueilta. Vesijärven pinta-ala on 40,18 km^2 ja viipymä poikkeuksellisen pitkä; noin viisi vuotta. Suurin osa Vesijärveä on Kangasalan kunnan alueella ja pieni osa pohjoisesta Oriveden kaupungin alueella.

Vesijärvi jakautuu morfometrialtaan ja veden laadultaan kahteen osaan. Pohjoisosa, Mutikonsalmesta pohjoiseen, on matala, karikkoinen ja sokkeloinen (taulukko 1). Järven pääallas on järven eteläosassa ja järven syvin kohta (39 m) on Pikonlinnan sairaalan edustalla. Järven keskisyvyys on noin 6,3 m. Tässä tutkimuksessa tarkastelualue on jaettu pohjois- ja eteläosan valuma-alueisiin (kuva 1). Lisäksi Köyränojan, Pihtiojan ja Mustijärvenojan valuma-alueita on tarkasteltu erikseen. Pihtioja edustaa metsävaltaista, Köyränoja peltovaltaista aluetta sekä Mustijärvenoja haja-asutusaluetta (taulukko 2). Kaikki kolme aluetta kuuluvat pohjoisosan valuma-alueeseen.

Vesijärven valuma-alueella on vähän soita, joten vesi on varsin kirkasta. Maatalousmaata on suhteellisesti runsaimmin järven pohjoispäässä, mutta myös eteläosaa reunustavat laajahkot pellot.

Taulukko 1. Vesijärven jakautuminen osa-altaisiin.

Järvi	Pinta-ala km^2	Tilavuus m^3 10^6	Viipymä a
Eteläosa	24,65	193,5	3,4
Pohjoisosa	15,53	56,1	1,6
Koko järvi	40,18	249,6	5,0

Taulukko 2. Tutkimusalueen jakautuminen valuma-alueisiin.

Valuma-alue	Pinta-ala km^2	Järvi %	Pelto %
Eteläosa	60,1	0,4	15,4
Pohjoisosa	120,5	3,0	7,9
Köyränoja	3,25	0	43,7
Pihtioja	2,75	1,2	0
Mustijärvenoja	2,75	4,1	0

Kuva 1. Vesijärvi ja sen valuma-alue.

3 Tutkimusmenetelmät

3.1 Vedenlaatu- ja virtaamamittaukset

Vesijärven veden laatua tutkittiin kaikkiaan kahdeksasta havaintopaikasta otetuin näyttein vuonna 1993 (kuva 1, taulukko 3). Järven veden laatua tutkittiin kolmelta ja järveen tulevan veden laatua niin ikään kolmelta havaintopaikalta. Vesijärvestä lähtevän veden laatua tutkittiin Vääksynjoesta. Laskeuma mitattiin Oriveden valtakunnallisen sääaseman tuloksista ja vertailuna käytettiin Rikun vedenpuhdistamolle sijoitetun keräimen tuloksia. Näytteenotosta vastasivat alueen kunnat ja Tampereen vesi- ja ympäristöpiiri. Näytteet analysoitiin Tampereen vesi- ja ympäristöpiirissä.

Taulukko 3. Vedenlaatumittaukset.

Asema	Havaintoja	Koordinaatit
Köyränoja	22	682754-251192
Pihtioja	24	683325-251515
Mustijärvenoja	22	682599-250398
Vääksynoja	30	681653-250645
Hautasaari	41	682799-251012
Mutikonsalmi	14	682573-250740
Pikonlinnan edusta	37	682105-250524

3.2 Raskasmetalli- ja PCB- sekä radioaktiivisuusmittaukset

Vesijärvi-projektin aikana Vesijärven etelä- ja pohjoisaltaan hauista tutkittiin lyijy-, kadmium- ja elohopeapitoisuudet sekä eteläaltaan hauista myös PCB-pitoisuudet. Kalojen raskasmetallipitoisuudet analysoitiin Tampereen kaupungin elintarviketutkimuslaitoksella sekä PCB-pitoisuudet VTT:n elintarvikelaboratoriossa.

Säteilyturvakeskus on mitannut Vesijärven kalojen ja vesinäytteiden radioaktiivisuutta vuosittain Tshernobylin onnettomuuden jälkeen.

Kangasalan Vesijärven kalanäytteiden ^{137}Cs-pitoisuuksia on analysoitu vuodesta 1987 alkaen. Näytteitä on saatu ahvenesta, hauesta, kuhasta, lahnasta, mateesta, siiasta ja särjestä. Ennen määrityksiä kalat perattiin kuten kotitaloudessa; isot kalat fileoitiin, pienistä kaloista poistettiin päät ja sisälmykset. Tavoitteena oli analysoida kalan syötäviä osia. Peratut kalat pilkottiin ja pakattiin Marinelli-astioihin, joiden tilavuus on 560 ml, gammaspektrometristä analyysiä

varten. Osa näytteistä analysoitiin kuivattuina pienemmässä, 30 ml:n mittausastiassa. Määritykset tehtiin alhaistaustaisella gammaspektrometrillä (Rantavaara ym. 1994).

Vesijärvestä otettiin yksi vesinäyte ja Rikun vedenottamon käsittelemättömästä porakaivovedestä otettiin kaksi näytettä. Näytteet konsentroitiin haihduttamalla ja analysoitiin gammaspektrometrisesti.

3.3 Kuormituksen laskenta

Ravinteiden ainevirtaaman ja kuormituksen arvioinnissa käytettiin virtaama- ja vedenlaatuhavaintoja sekä laskennallisia menetelmiä. Laskennallisia menetelmiä tarvitaan, koska suuri osa kuormituksesta tulee vesistöön lähivaluma-alueilta eikä se sisälly jokien ainevirtaamaan. Laskennallisilla menetelmillä on mahdollista jakaa kokonaiskuormitus osatekijöihin menetelmän sisältämän kuormitusjaon mukaisesti.

Ainevirtaamalla tarkoitetaan joen tietyssä kohdassa virtaavan aineen määrää aikayksikössä. Ainevirtaama lasketaan virtaaman ja pitoisuuden tulona, yksikkönä esimerkiksi kiloa vuorokaudessa. Käytettävissä olivat päivittäiset virtaamamittaukset, mutta pitoisuusmittauksia tehtiin harvemmin. Tietyn jakson (esim. vuoden) ainevirtaamat lasketaan kertomalla pitoisuuksien virtaamapainotettu keskiarvo jakson keskivirtaamalla (Frisk ja Kylä-Harakka 1981).

Valuma-alueelta vesistöön tuleva kokonaiskuormitus jaettiin seuraaviin kuormituslähteisiin:

- pistekuormitus
- haja- ja loma-asutuksen kuormitus
- maatalouden kuormitus
- metsätalouden kuormitus
- perushuuhtouma ja laskeuma

Lisäksi sateen mukana suoraan järveen tulevat ravinteet arvioitiin sadantatietojen ja laatumittausten avulla. Valuma-alueelle tuleva ilmakuormitus on mukana perushuuhtoumassa.

Tilastolliset mallit, joiden avulla voidaan arvioida valuma-alueelta tulevaa fosfori- ja typpikuormitusta, on esitetty Längelmäveden reitin ja Kyrösjärven vesistöalueen vesiensuojelututkimuksissa (Bilaletdin ym. 1992, Krogerus ja Bilaletdin 1994).

Pistekuormittajia koskevat kuormitustiedot saatiin kuntien ympäristönsuojelusihteereiltä sekä velvoitetarkkailutuloksista (kuva 2).

Haja-asutuksen kuormituksen arvioinnissa lähtökohtana on ollut viemäriverkostojen ulkopuolisten kiinteistöjen sijoittuminen vesistöön nähden ja kirjallisuudesta saadut ominaiskuormitusarvot. Längelmävesi-tutkimuksessa arvioitiin, että jokaisessa taloudessa on keskimäärin 2,7 asukasta (Bilaletdin ym. 1992). Tässä työssä selvitettiin Mustijärvenojan valuma-alueen kiinteistöjen asukasmäärät ja saatiin sama 2,7 asukasta taloutta kohden.

Myönnetyistä vesikäymälärakennusluvista sekä Kangasalan kunnan tätä työtä varten tekemästä kyselyselvityksestä on arvioitu jätevesien käsittelymenetelmiä. Jos jätevesien käsittelymenetelmistä ei ollut tarkkaa tietoa, on oletettu Längelmävesi-tutkimuksen tapaan (Bilaletdin ym. 1992), että 50 % talouksista ei kuormita eli talouksilla on esimerkiksi umpikaivot, jotka tyhjennetään. Muilla kiinteistöillä oletettiin olevan sakokaivot. Jos talouksien pesuvedet, niin sanotut harmaat vedet, imeytettiin, niin kuormitus on 25 % sakokaivojärjestelmästä. Kiinteistöjen sijainti rantaviivaan nähden otettiin huomioon (taulukko 3). Niistä

kiinteistöistä, joiden sijainnista ei ollut tarpeeksi tietoa, käytettiin samaa sijaintijakaumaa kuin Längelmävesi-tutkimuksessa (taulukko 4, Bilaletdin ym. 1992). Laskentamenetelmässä kuormitus laskettiin vuoden ajalle.

Loma-asuntojen kuormituksen arvioimiseksi laskettiin valuma-alueen mökit, joiden sijainti on alle sata metriä vesistöstä. Niiden kuormitus on 60 % vakituisen asutuksen kuormituksesta. Siten fosforikuormitus on keskimäärin 0,2 kg loma-asuntoa kohden vuodessa ja typpikuormitus 4,9 kg, kun kesämökeillä oletetaan asuttavan yhteensä 150 henkilövuorokautta vuodessa.

Maatalouden kuormitusta varten selvitettiin valuma-alueen peltopinta-alat ja karjamäärät. Peltoalat planimetroitiin kartoilta. Peltojen kaltevuudet laskettiin kartoilta ja suojakaistoista Kangasalan kunta teetti erillisen selvityksen Kangasalan 4H-yhdistyksellä ajalla 31.5. - 28.7.1993. Karjamäärät saatiin kuntien maaseutusihteereiltä.

Längelmäveden kuormitusselvityksen yhteydessä kehitettiin tilastolliset mallit valuma-alueelta tulevan fosfori- ja typpikuormituksen arvioimiseksi. Maatalouden aiheuttama kuormitus otetaan huomioon yhdistämällä peltoviljelyn ja karjatalouden vaikutus niin sanotuksi maataloustekijäksi, joka lasketaan valuma-alueen peltoprosentin ja lantaa tuottavien yksiköiden määrän lineaarisena yhdistelmänä. Lantaa tuottavien yksiköiden määrä on muuttuja, jossa eri kotieläimet on tehty kuormitusvaikutukseltaan yhteismitallisiksi.

Metsätalouden kuormituksen arvioimiseksi selvitettiin osa-alueittain ojituksen määrät vuosina 1987-93 sekä lannoitusalat ja lannoitemäärät sekä -laadut vuosina 1975-93. Vuoden 1986 jälkeen alueella ei ollut lannoitettu metsiä. Kuntien ympäristönsuojelusihteerit keräsivät tiedot Pirkka-Hämeen metsälautakunnan arkistoista.

Metsätalouden kuormitus aiheutuu ensisijassa metsän ojittamisesta. Fosforikuormituksen on todettu pysyvän tasolla 0,2 kilogrammaa hehtaaria kohti vuodessa (kg ha^{-1} a^{-1}) kuusi vuotta ojituksen jälkeen (Ahtiainen 1990, Ahtiainen ym. 1993 ja Ahtiainen, suull.ilm.). Tässä tutkimuksessa ojituksen kuormitusvaikutuksen on arvioitu kestävän viisi vuotta. Typpeä huuhtoutuu 1,5 kg ha^{-1} a^{1} ensimmäisen kolmen vuoden aikana ja 0,5 kg ha^{-1} a^{1}, kun ojituksesta on kulunut 4-5 vuotta.

Lannoitteista otettiin kuormituslaskelmissa huomioon ainoastaan turvemaiden PK-lannoitukset. Niiden aiheuttama fosforihuuhtouma on laskettu kaavalla $L_P(kg\ km^{-2}) = 290 - e^{-0,24\,T}$ (Saura 1990).

Taulukko 3. Haja-asutuksen aiheuttama kuormitus kiinteistön sijainnin mukaan (Bilaletdin ym. 1992).

Etäisyys, m	Fosfori, kg $as^{-1}a^{-1}$	Typpi, kg as^{-1} a^{-1}
0-100	0,7	4,9
100-200	0,5	3,7
200-500	0,3	1,8
yli 500	0,1	0,6

Kuva 2. Pistekuormittajien sijainti.

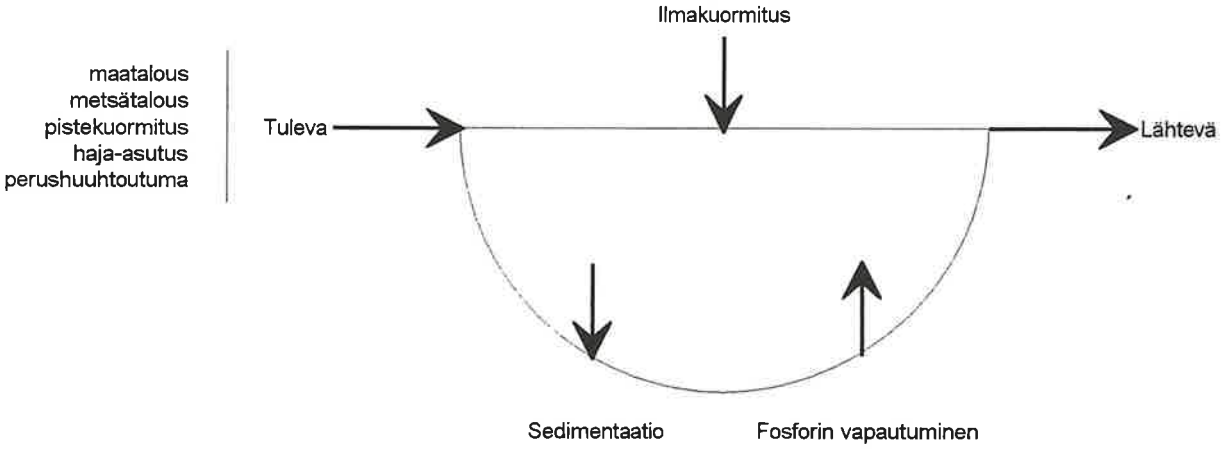
Taulukko 4. Haja-asutuskiinteistöjen etäisyys vesistöstä.

Etäisyys vesistöstä, m	Osuus, %
0-100	31
100-200	12
200-500	19
500-1000	18
> 1000	20

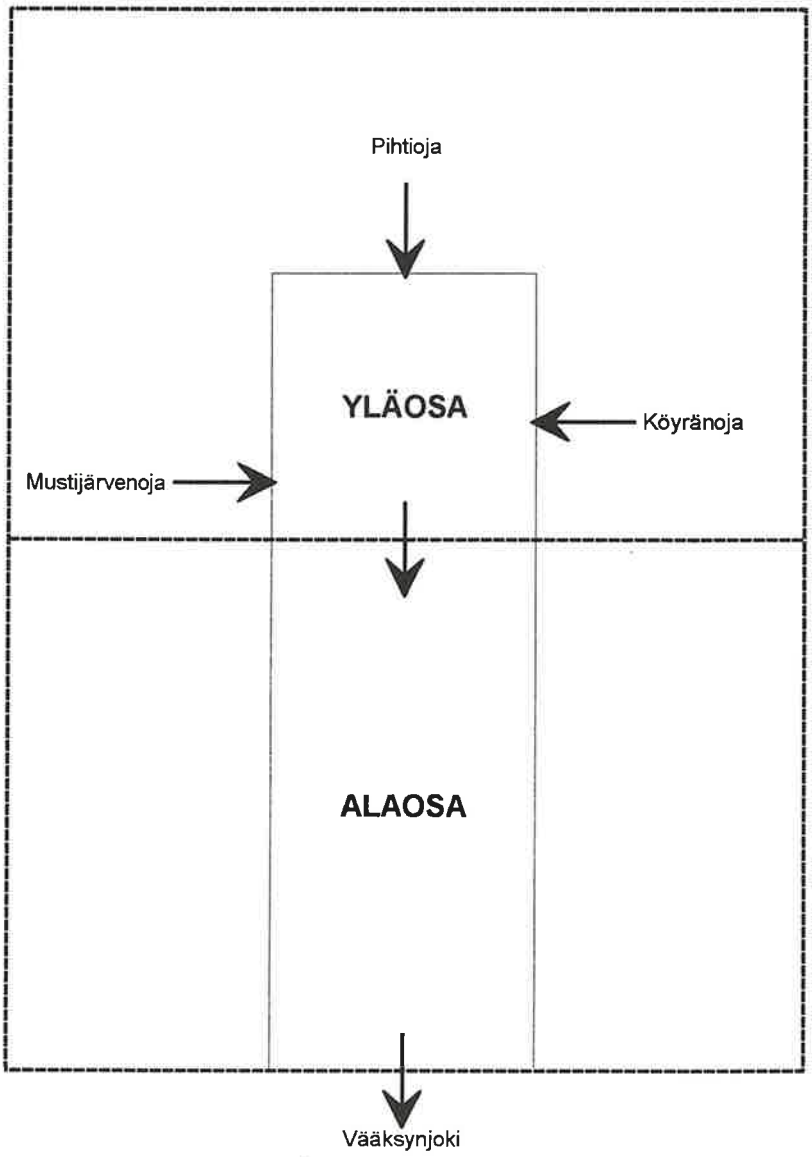
3.4 Vesijärven ainetaseiden laskenta

Monet ihmisen toiminnot sekä vesien- ja maankäyttömuodot, kuten asutus, maa- ja metsätalous, teollisuus, maankäytön tehostuminen ja kalankasvatus kuormittavat vesistöjä. Vesijärven keskeisin ongelma on ravinnekuormituksesta seurannut rehevöityminen lukuisine haittoineen. Jotta vesiensuojelutoimenpiteitä kyettäisiin kohdentamaan tehokkaasti, on tunnettava ravinnekuormituksen aiheuttavat kuormituslähteet sekä ravinnekuormituksen ja vesistön tilan välinen riippuvuus.

Järven rehevöityminen tapahtuu yleensä pitkän ajan kuluessa. Myös kokonaisfosforin keskipitoisuuden muutokset tapahtuvat vähitellen. Rehevöitymisongelmat ovat suurimmaksi osaksi johtuneet fosforipitoisuuden kasvusta. Vesistön rehevyystason ennustamiseksi muuttuvassa kuormitustilanteessa on kehitetty yksinkertaisia fosfori- ja typpimalleja. Lähtökohtana näissä ainetasemalleissa on massatasapainoyhtälö, jossa tarkastellaan järveen tai tiettyyn vesistönosaan tulevia ja siitä lähteviä ainevirtaamia sekä aineen sedimentoitumista tai jotain muuta vesistön sisäistä prosessia (kuva 3). Yksinkertaisimmissa malleissa on mukana vain yksi tilamuuttuja, esimerkiksi kokonaisfosfori, ja yksi prosessi, fosforin sedimentoituminen. Tällaisilla malleilla voidaan ennustaa keskimääräistä fosforipitoisuutta vakiintuneissa kuormitusoloissa. Ainetaselaskenta on esitetty Kyrösjärven vesistöalueen tutkimuksessa (Krogerus ja Bilaletdin 1994). Vesijärven valuma-alue jaettiin kahteen osa-altaaseen sekä kolmeen osavaluma-alueeseen ainetase-tarkastelua varten (kuva 4). Kukin osakokonaisuus kalibroitiin erikseen.



Kuva 3. Tasapainotilan ainetasekaavio fosforille altaassa.



Kuva 4. Vesijärven vesistöalueen jako osakokonaisuuksiin.

4 Vesistön tila

4.1 Veden laatu ja sen kehittyminen

Granberg ym. (1992) totesivat tutkimuksissaan, että järven mataluus ja alusveden pieni osuus kokonaistilavuudesta tekevät järvestä erittäin herkän rehevöitymiselle. Vesijärven tuottava kerros on paksu, sillä vesi on kirkasta. Toisaalta mataluuden takia alusvesi, jossa järven tuotanto hajoaa bakteeritoiminnan ansiosta, jää tilavuudeltaan pieneksi. Koska tuottavan ja hajottavan vesitilavuuden suhde on suuri, tilavuudeltaan pienen alusveden happivarat kuluvat nopeasti kerrostuneisuuskausien aikana, lopputalvella ja elokuussa. Ennen ihmisen vaikutusta Vesijärvi on ollut ultraoligotrofinen, kirkasvetinen järvi.

Meriläisen ym. (1994) tekemien sedimenttitutkimusten mukaan Pikonlinnan syvänteestä otettujen vuosilustojen paksuus on poikkeuksellisen suuri järven kokoon nähden. Eroosion lisääntyminen ajoitettiin 1950-luvulle, jolloin myös yleinen maankäytön tehostuminen on alkanut. Järven kyky kestää kuormitusta on kuitenkin vähentynyt jo 1800-luvun pinnanlaskun yhteydessä. Pinnanlasku pienentää alusveden tilavuutta, ja mitä pienempi tilavuus on, sitä pienemmät ovat alusveden happivarat. Alusveden osuus (15 m syvemmät alueet) järven kokonaistilavuudesta oli jo ennen pinnanlaskua pieni, noin 2,9 %, kun nykyinen osuus on vain 1,6 %.

Vesijärven pohjoisosa oli 1970-luvulla veden laadultaan hyvä ja eteläosa erinomainen. Pohjoisosan vesi sisälsi jonkin verran enemmän humusaineita kuin eteläaltaan vesi. Eteläpää oli lievästi likaantunut, muun muassa Pikonlinnan sairaalan edustalla.

Pikonlinnan edustalla olevassa syvänteessä on valtakunnallinen syvännehavaintopaikka, josta on jatkuvaa tulosaineistoa 1960-luvulta lähtien. Fosforianalyysejä ei kuitenkaan vielä 1960-luvulla tehty, vaan vasta 1970-luvulta alkaen. Syvänteen alusvesi on kärsinyt joinakin vuosina varsin tuntuvasta happivajeesta (kuva 5). Talvisin syvänteen pohja on ollut jopa hapeton. Nimenomaan talvitulokset kertovat järven tilan huonontumisesta. Myös vuonna 1993 helmikuussa pohja oli lähes hapeton. Kesätulosten mukaan fosforipitoisuudet ovat olleet hie noisessa nousussa (taulukko 5, kuva 5).

Vuonna 1993 elokuussa alusveden fosforipitoisuus oli 32 mikrogrammaa litrassa ($\mu g\ l^{-1}$) (taulukko 6). A-klorofyllin keskiarvo oli 8,9 $\mu g\ l^{-1}$. Eteläaltaan vesi oli vuonna 1993 laadultaan hyvää. Vesijärven pohjoisaltaan, Hautasaaren syvänteen, alusvedessä esiintyi elokuussa hapettomuutta ja typpipitoisuus oli korkea (taulukko 7). Kasvukauden a-klorofyllin keskiarvo oli 8,6 $\mu g\ l^{-1}$. Altaan vesi oli laadultaan hyvän ja tyydyttävän rajalla.

Taulukko 5. Vesijärven fosforipitoisuudet Pikonlinnan edustan syvänteessä.

Vuosi	Päällysvesi $\mu g\ l^{-1}$	Pohja (+ 1 m) $\mu g\ l^{-1}$
1970-79	12,5	37
1980-84	14,3	47 (1980-luku)
1985-89	14,4	
1990-93	12,0	50

Taulukko 6. Vesijärven veden laatu Pikonlinnan syvänteessä elokuussa 1993.

Syvyys m	Happi %	Sameus FTU	pH	Väri mg PT l^{-1}	Kok-N $\mu g\ l^{-1}$	Kok-P $\mu g\ l^{-1}$	Rauta $\mu g\ l^{-1}$	A-klorof. $\mu g\ l^{-1}$
1	93	1,5	7,2	15	300	12	65	6,0
5	94	1,6	7,2	15	320	14	64	
20	43	2,7	6,3	15	450	21	100	
38	28	3,5	6,2	35	610	32	170	

Taulukko 7. Vesijärven veden laatu Hautasaaren havaintopaikalla elokuussa 1993.

Syvyys m	Happi %	Kok-N $\mu g\ l^{-1}$	Kok-P $\mu g\ l^{-1}$	A-klorofylli $\mu g\ l^{-1}$
1	96	400	27	17,0
5	95	400	27	
10	95	420	24	
15,4	0	1200	94	

Vesijärven pohjois- ja eteläosaa erottaa Mutikonsalmi, jossa myös havainnoitiin veden ravinnepitoisuuksia (kuva 6). Näytteet on otettu pintavedestä (1 m). Mutikonsalmessa pintavesi sisälsi vähemmän fosforia kuin Hautasaaressa. Typpi oli suunnilleen samalla tasolla. Mutikonsalmen ravinnepitoisuudet olivat suurempia kuin Vesijärven eteläosassa Pikonlinnan edustalla.

Rehevöitymisen oireita Vesijärvessä on myös vesikasvillisuuden ja levänkasvun voimistuminen. Levänkasvu havaitaan verkkojen ja rantakivien limoittumisena, veden samentumisena ja sinilevien massaesiintymisten yleistymisenä. Leväkukintoja on havaittu järvessä myös talvisin ja keväisin. Sinilevien esiintymiseen on useita syitä. Typen ollessa kasviplanktontuotannon minimitekijänä, sinileviä voi esiintyä runsaasti, koska lukuisat sinilevät kykenevät käyttämään ilmakehän typpeä hyväksi. Sinilevät vaativat fosforia tullakseen toimeen kuten muutkin levät, joten fosforin runsaus lisää sinileväkukintojen todennäköisyyttä. Voimakkaan yhteyttämisen seurauksena pintavedestä kuluu hiilidioksidia, mikä

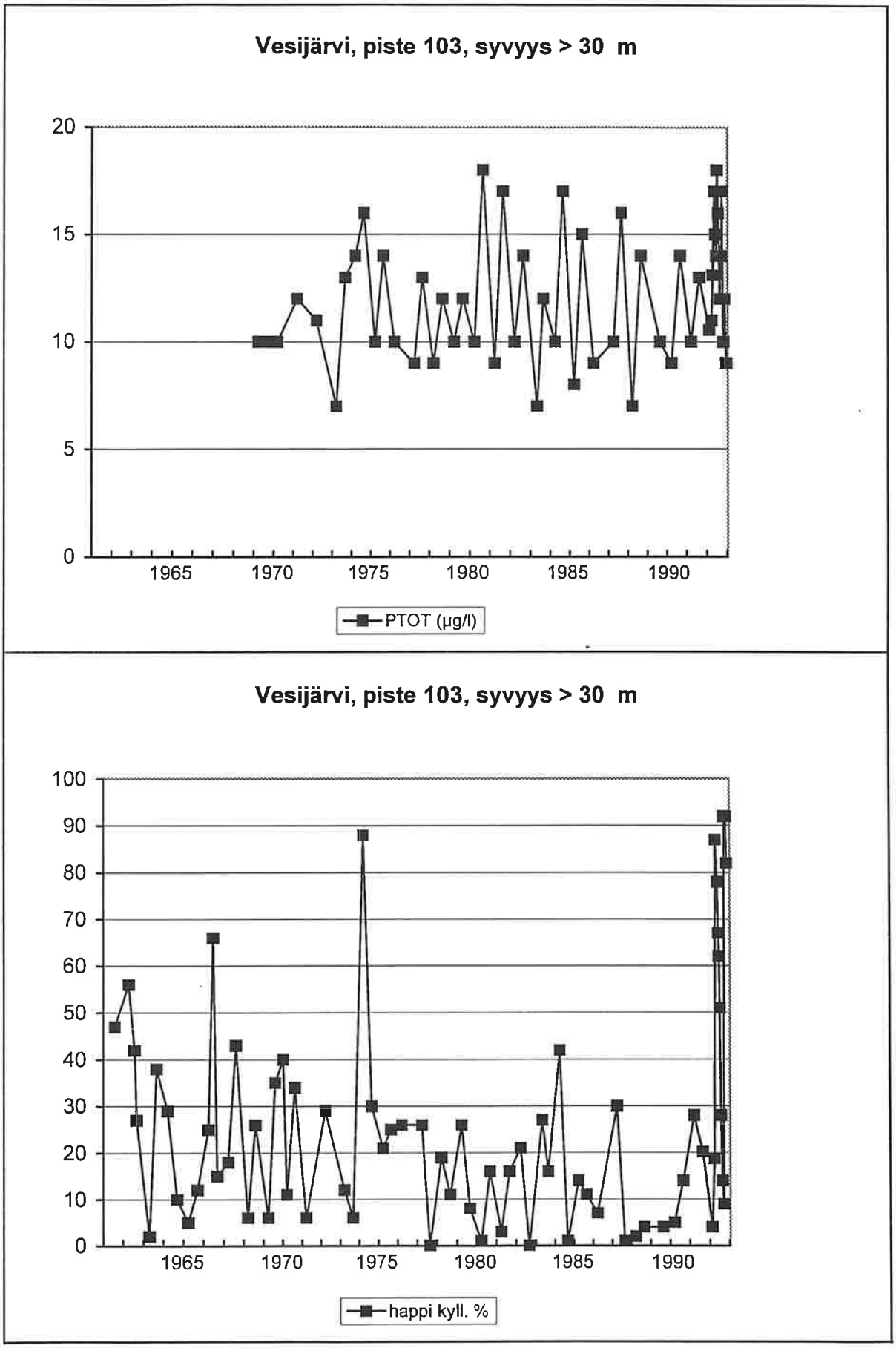
ilmenee mm. pH:n nousuna loppukesällä. Sinilevät puolestaan suosivat korkeaa pH:ta (Grandberg ym. 1992). Sinilevien esiintyminen vaikuttaa myös vesistön veden laatuluokituksen alentumiseen.

Palomäen ym. (1992) tekemän eläinplanktontutkimuksen mukaan rehevöityminen näkyy jossain määrin myös eläinplanktonlajistossa. Jos rehevöityminen etenee, suuret äyriäiset saattavat hävitä kokonaan lajistosta. Tilalle tulee pieniä lajeja, jotka eivät ole yhtä arvokkaita esimerkiksi muikun ravintona (ks. Salo 1991).

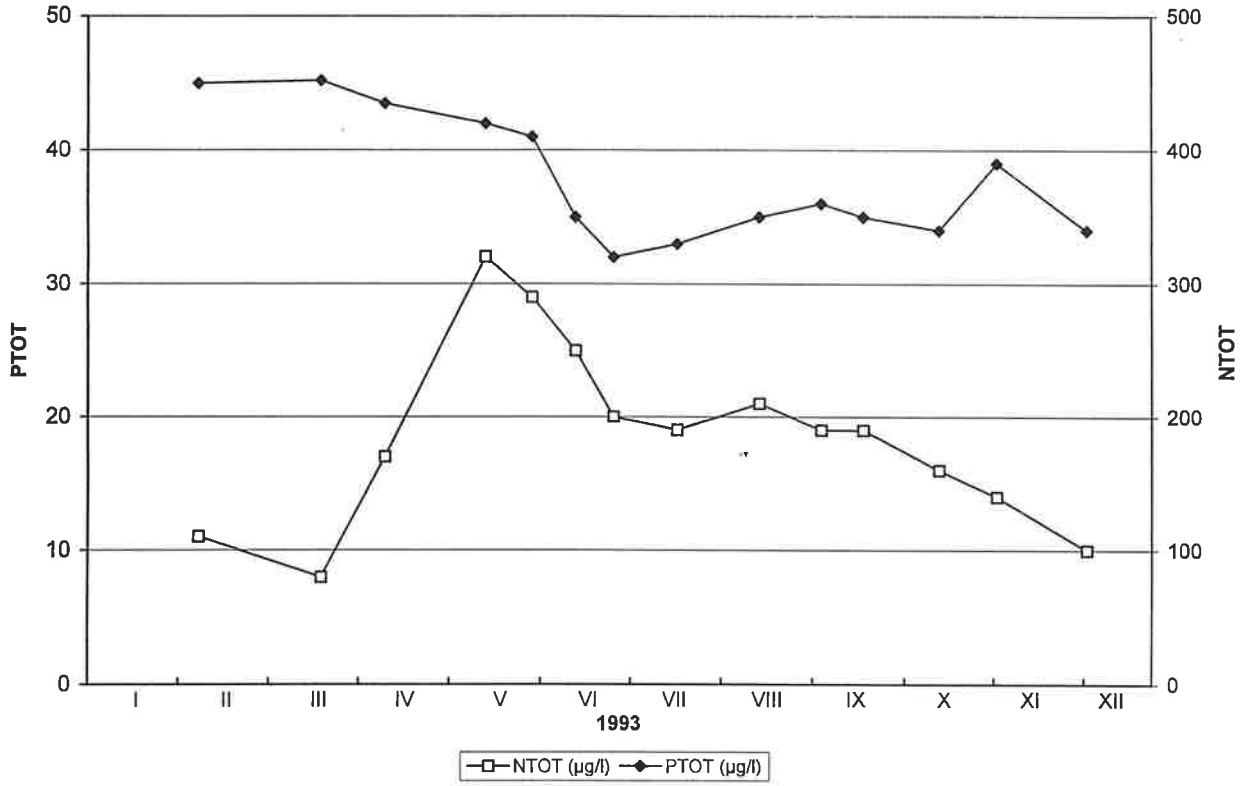
Tutkimuksen aikana vuonna 1993 seurannassa olleiden Vesijärveen laskevien purojen vedenlaatu oli parhainta metsävaltaisella alueella (kuva 7). Pihtiojan sameutta syksyllä lisäsi havaintopaikan yläpuolella tietyömaa, joka sotki syksyn näytteenoton. Muutoin tuloksia olisi voitu pitää suhteellisen luonnontilaisen puron arvoina. Maa-aineksen mukana huuhtoutui tällöin myös fosforia. Muutoin ravinnepitoisuudet olivat alhaisia. Kesäkuukausina Pihtiojassa oli kolimuotoisia bakteereita.

Haja-asutuksen kuormittamassa Mustijärvenojassa kuormitus näkyi etenkin ammoniumtyppipitoisuuksissa ja kolimuotoisten bakteerien runsautena (kuva 8). Fosforipitoisuus oli kesän kuivimpana aikana selvästi korkeampi kuin Pihtiojassa. Sameus vaihteli paljon eri näytteenottokertojen välillä. Sameuden huippuarvot ajoittuivat sulan maan kaudelle. Vuonna 1994 mitattiin myös haja-asutusvaltaisen Rikunojan veden laatua muutamia kertoja Kangasalan kunnan toimesta. Veden laatu ojassa oli huono. Vesi oli ravinteikasta ja sen hygieeninen laatu oli heikko. Tulokset viittaavat jätevesien puutteelliseen käsittelyyn.

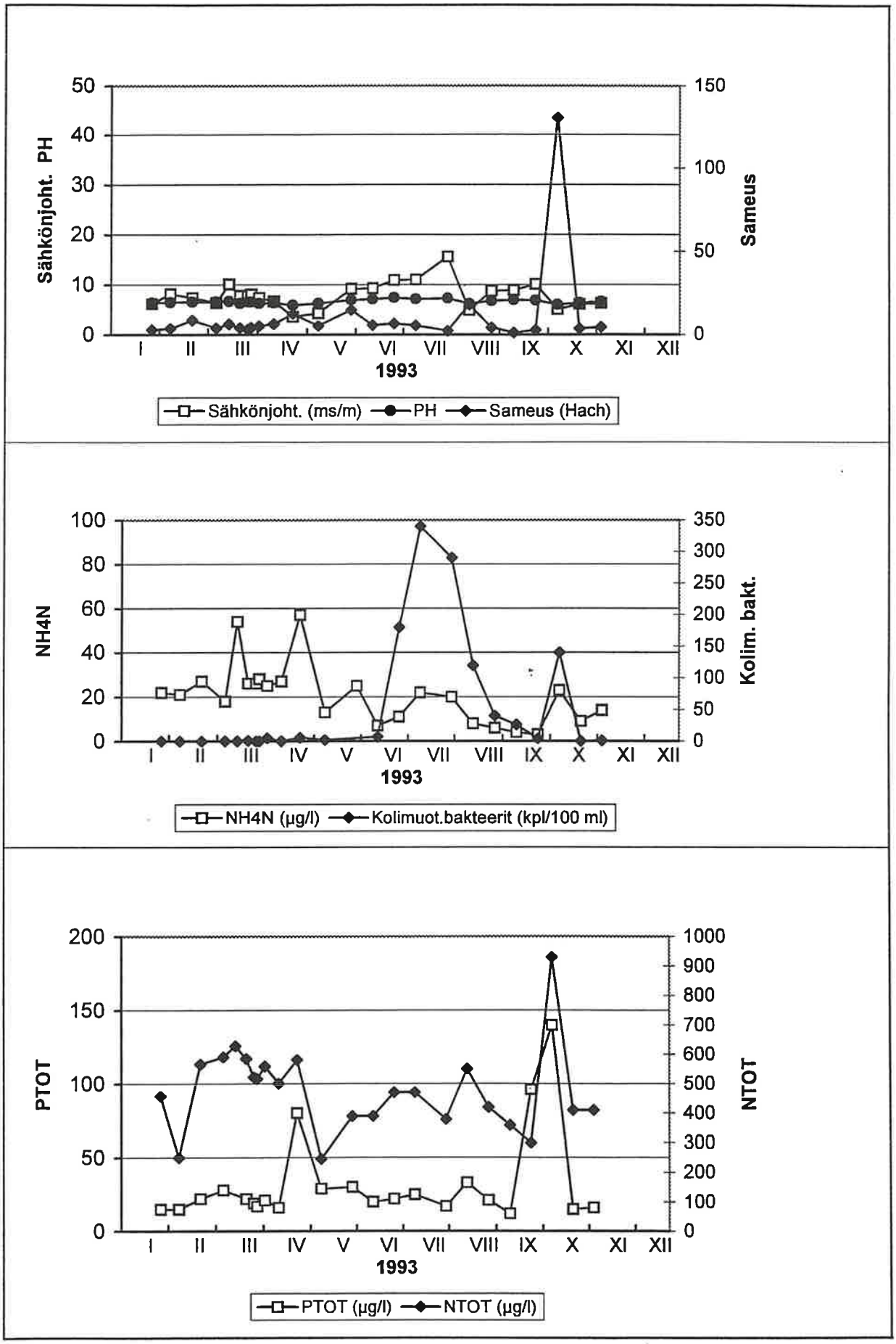
Maatalousvaltaisen Köyränojan sameuden huippuarvot ajoittuivat kevään sulamis- ja maanmuokkauskaudelle (kuva 9). Ammoniumtyppipitoisuus oli huomattavan korkea lopputalvella ja kolimuotoisten bakteerien määrä taas keskikesällä. Fosforin ja typen pitoisuudet olivat selvästi korkeampia kuin Pihtiojassa tai Mustijärvenojassa.



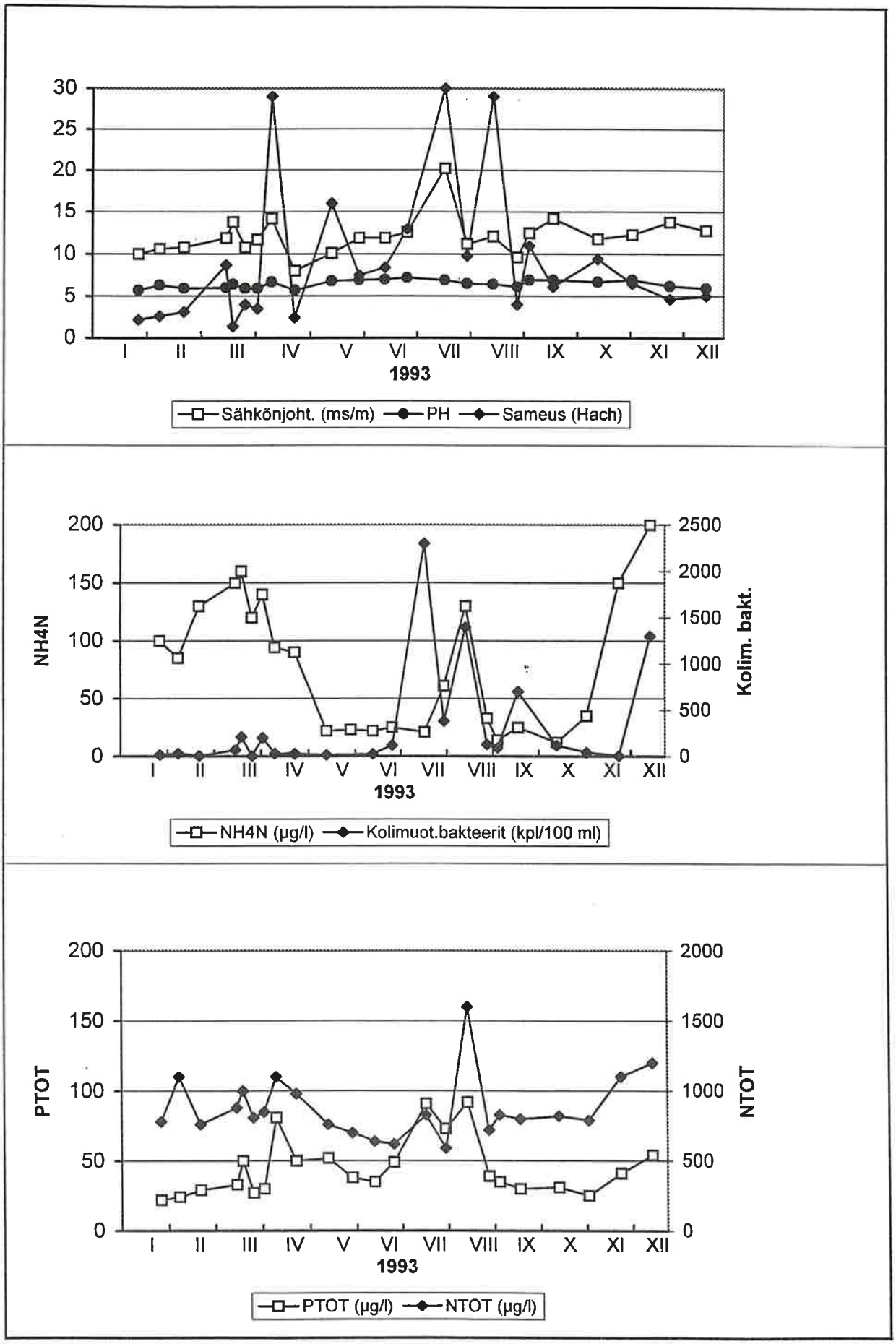
Kuva 5. Vesijärven syvännehavaintopaikan happipitoisuudet ja fosforipitoisuudet.



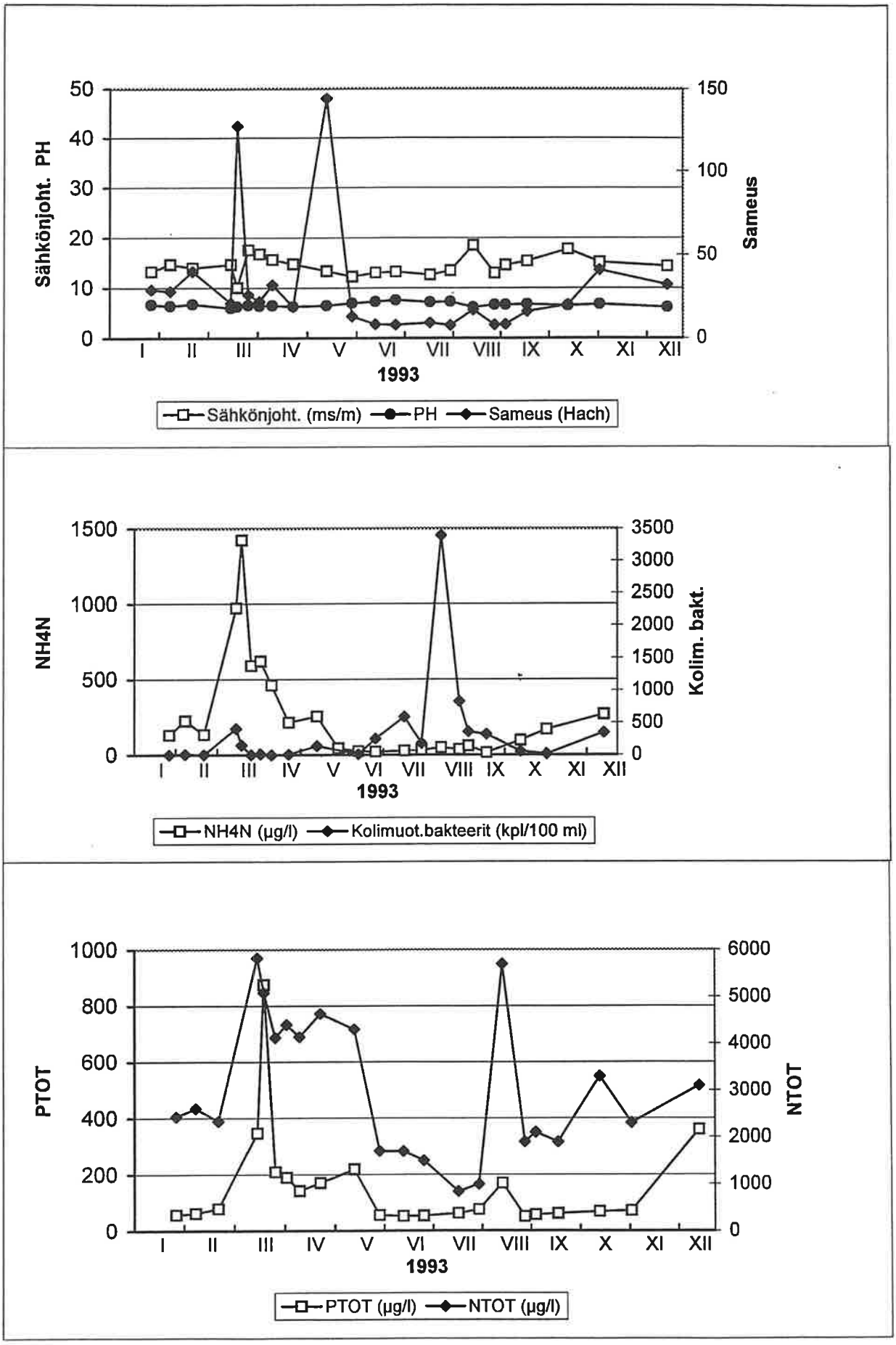
Kuva 6. Vesijärven Mutikonsalmen fosfori- (PTOT) ja typpipitoisuudet (NTOT).



Kuva 7. Pihtiojan sähkönjohtavuus (sähkönjoht.), pH ja sameus yläkuvassa, ammoniumtyppi (NH_4N) ja suolistoperäiset bakteerit (kolimuot. bakteerit) keskimmäisessä kuvassa sekä fosforipitoisuus (PTOT) ja typpipitoisuus (NTOT) alakuvassa.



Kuva 8. Mustijärvenojan sähkönjohtavuus (sähkönjoht.), pH ja sameus yläkuvassa, ammoniumtyppi (NH_4N) ja suolistoperäiset bakteerit (kolimuot. bakteerit) keskimmäisessä kuvassa sekä fosforipitoisuus (PTOT) ja typpipitoisuus (NTOT) alakuvassa.



Kuva 9. Köyränojan sähkönjohtavuus (sähkönjoht.), pH ja sameus yläkuvassa, ammoniumtyppi (NH_4N) ja suolistoperäiset bakteerit (kolimuot. bakteerit) keskimmäisessä kuvassa sekä fosforipitoisuus (PTOT) ja typpipitoisuus (NTOT) alakuvassa.

4.2 Kalojen raskasmetalli- ja PCB-pitoisuudet

Vesijärven etelä- ja pohjoisaltaan haukien elohopeapitoisuus oli 0,2 milligrammaa kilogrammassa (mg kg^{-1}), kadmiumpitoisuus alle 0,05 mg kg^{-1} ja lyijypitoisuus alle 0,1 mg kg^{-1}. Tutkittujen kalojen elohopea- ja kadmiumpitoisuudet eivät ylitä kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksen 1993 enimmäispitoisuuksia. Kalan lyijylle ei ole annettu enimmäispitoisuutta.

Meriläisen ym. (1994) tekemässä paleolimnologisessa sedimenttitutkimuksessa elohopea tutkittiin sedimentistä, joka edustaa ajanjaksoa 1970-luvun puolivälistä nykypäivään ja samalla jaksoa, jolloin pitoisuudet ovat järvissä yleensä suurimmillaan. Vesijärven elohopeapitoisuuksien vaihtelu sedimenttikerrosten välillä oli pientä ja pitoisuudetkin pieniä, 0,08 - 0,12 mg kg^{-1} kuivasedimenttiä. Järven sedimentissä on runsaasti minerogeenista ainesta, joka laimentaa pitoisuuksia.

Vesijärven eteläosasta tutkittujen haukien PCB-pitoisuudet olivat sata kertaa sallittua pienemmät ja lähellä pienimpiä analysoitavia pitoisuuksia.

4.3 Radioaktiivisuus

Tshernobylin ydinvoimalaitosonnettomuudesta peräisin oleva radioaktiivinen laskeuma levisi Suomen alueelle hyvin epätasaisesti. Vähiten laskeumaa tuli Itä- ja Pohjois-Suomeen, eniten osiin Hämettä ja Keski-Suomea. Laskeuman päänuklidi oli ^{137}Cs. Sen jakautuminen Suomen alueelle näkyy kuvassa 6, jossa Suomi on jaettu laskeuman perusteella viiteen vyöhykkeeseen (Arvela ym. 1990). Kangasala kuuluu laskeumavyöhykkeeseen neljä.

Kala

Cesium kulkeutuu kaloissa lihaskudokseen. Kulkeutuminen tapahtuu ravintoketjujen kautta. Tämän vuoksi eri lajien ^{137}Cs-pitoisuuksissa ja niiden ajallisissa vaihteluissa on eroja. Kulkeutuminen riippuu myös järven ominaisuuksista ja siksi kalojen ^{137}Cs-pitoisuuksissa on järvien välisiä eroja, vaikka laskeuma olisi sama.

Korkeimmat ^{137}Cs-pitoisuudet havaittiin kuhassa vuonna 1987. Pitoisuudet olivat silloin 970 - 3 400 becquerelliä kilogrammassa (Bq kg^{-1}). Ahvennäytteiden ^{137}Cs-pitoisuudet olivat suurimmillaan 1987-89. Siian ja särkikalojen ^{137}Cs-pitoisuudet ovat koko ajan olleet pienimmät. Kalastuskaudella 1994 kaikkien lajien pitoisuudet vaihtelivat välillä 50 - 340 Bq kg^{-1} (kuvat 11 ja 12), joten mitään suuria pitoisuuseroja eri lajien välillä ei enää ole. Vesijärven kalojen ^{137}Cs-pitoisuudet ovat tyypillisiä kyseisen laskeuma-alueen suurten järvien kalojen pitoisuuksia (Saxen 1990, Saxen ja Koskelainen 1992).

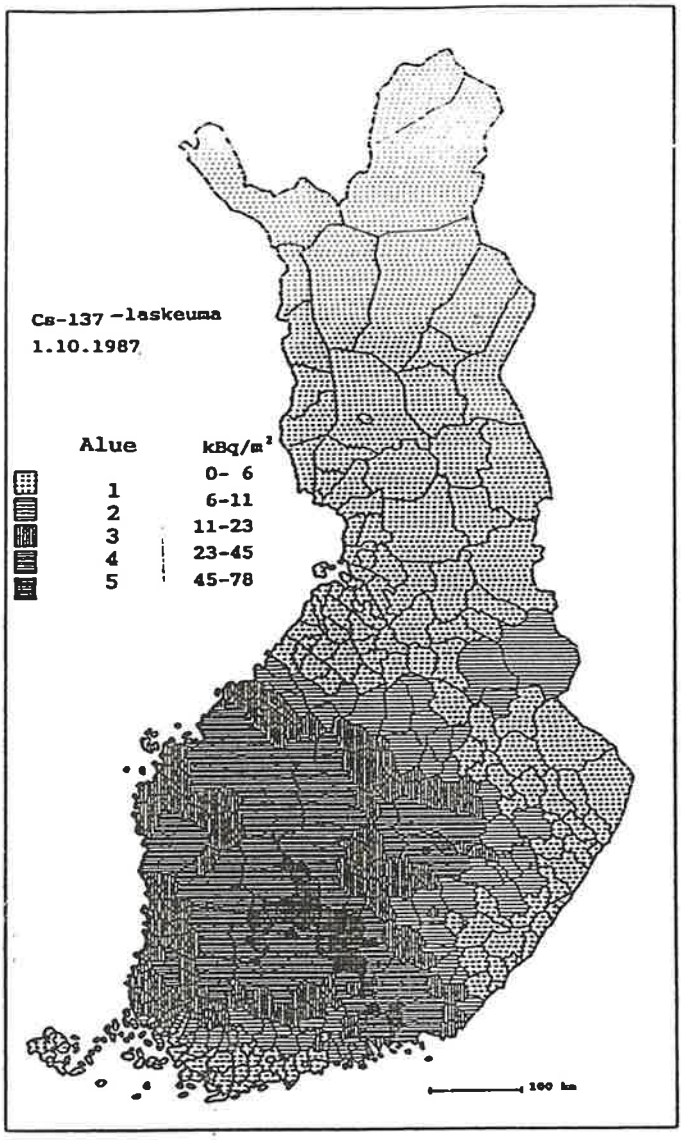
Vesi

Pohjavesitutkimusten mukaan 30 % porakaivovedestä on varsinaista pohjavettä ja 70 % rantaimeytynyttä vettä. Kun edellä mainitut osuudet otetaan huomioon ja arvioidaan, mihin pintaveden pitoisuuteen se johtaisi, havaitaan, että pinta-

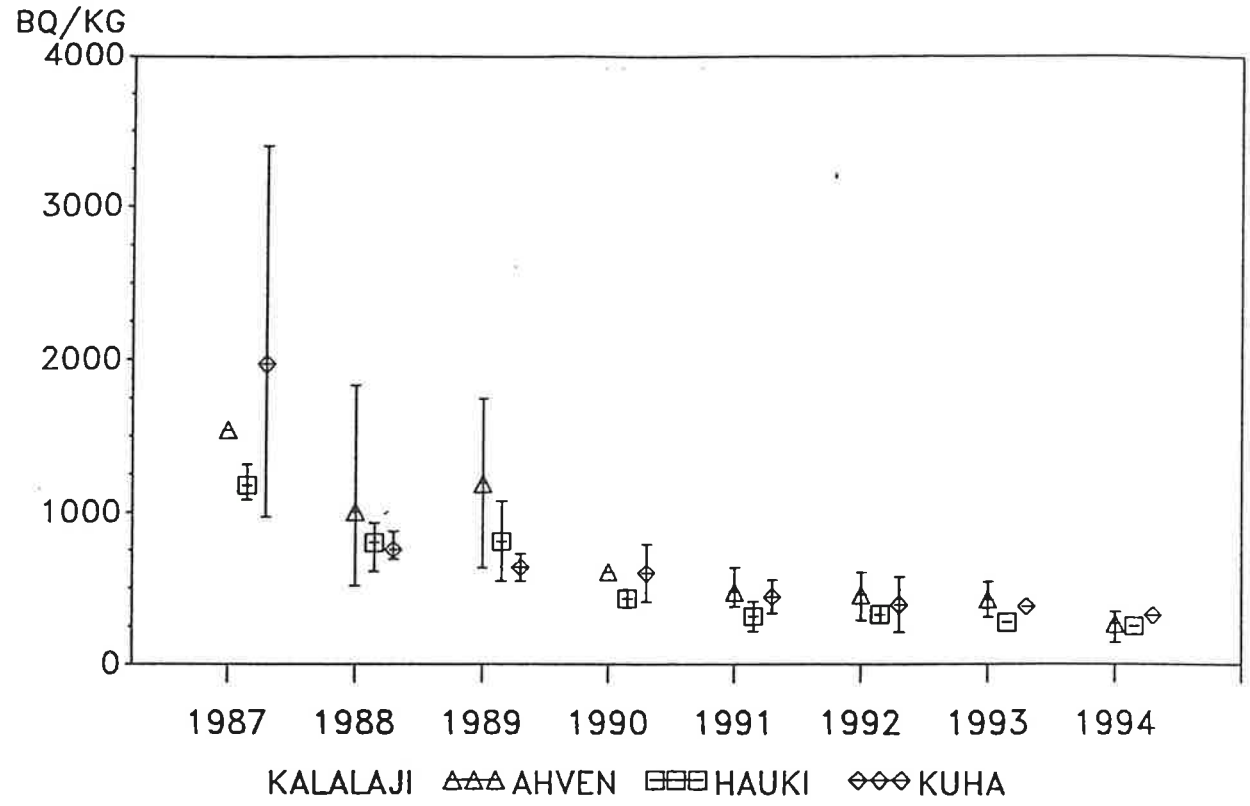
veden pitoisuus olisi huomattavasti pienempi kuin analysoitu Vesijärven pitoisuus (taulukko 8). Tämä johtuu siitä, että suuri osa ^{137}Cs:sta, tässä tapauksessa noin 90 %, on pidättynyt imeytymisvaiheessa maaperään.

Taulukko 8. Vesinäytteiden ^{134}Cs- ja ^{137}Cs-pitoisuudet.

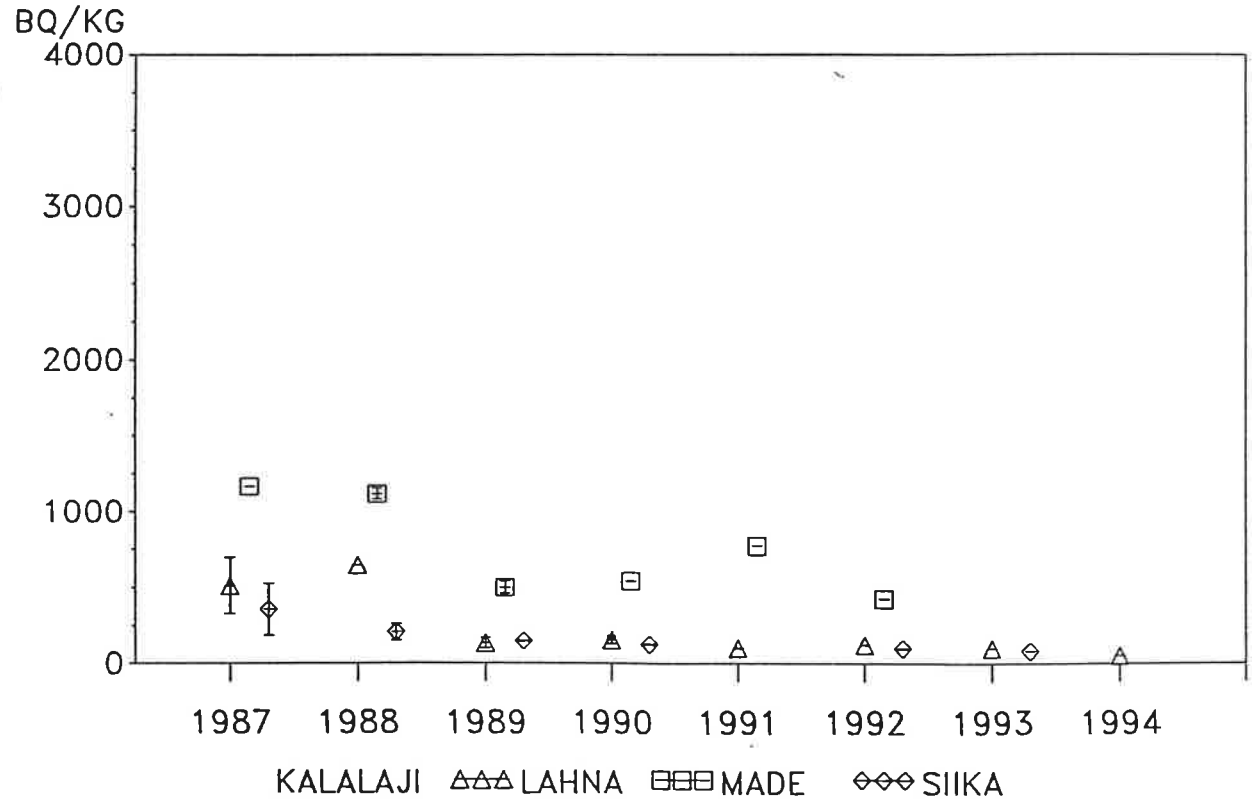
Näyte	Pvm	^{134}Cs Bq/kg	^{137}Cs Bq/kg
Vesijärvi	15.6.93	0.0023	0.029 - 5 %
Porakaivovesi 1	15.6.93	-	0.0014 - 20 %
Porakaivovesi 2	15.6.93	-	0.0025 - 13 %



Kuva 10. Suomen kuntien jako viiteen alueeseen keskimääräisen ^{137}Cs-laskeuman mukaan (Arvela ym. 1990).



Kuva 11. Ahvenen, hauen ja kuhan ^{137}Cs-pitoisuuksien vuosikeskiarvot vaihteluväleineen Kangasalan Vesijärvessä vuosina 1987-94.



Kuva 12. Lahnan, mateen ja siian ^{137}Cs-pitoisuuksien vuosikeskiarvot vaihteluväleineen Kangasalan Vesijärvessä vuosina 1987-94.

Valuma-alueselvitys

5

5.1 Pistekuormitus

Pistekuormitus aiheutuu teollisuuden, taajamien jätevedenpuhdistamoiden, kalankasvatuslaitosten ja kaatopaikkojen jätevesistä. Merkittävimpien laitosten kuormitustiedot saatiin velvoitetarkkailuista. Vesijärven valuma-alueen pistekuormittajilla ei ole merkittävää vaikutusta kokonaiskuormitukseen. Pistekuormituksen vaikutus veden laadun heikentymiseen voi kuitenkin olla tärkeä paikallisesti.

Vesijärven valuma-alueella sijaitsee Lentolan ja Ruutanan vanhat kaatopaikat sekä Yliskylän kaatopaikka (kuva 5). Muita pistekuormittajia ovat Pikonlinnan sairaalan vanha kaatopaikka, Havisevan koulu, Lihasulan maatalousoppilaitos ja Hankkijan koulutuskeskus sekä muita pieniä kuormittajia, joiden toiminta keskittyy kesäaikaan.

Yliskylän kaatopaikka, Orivesi

Yliskylän kaatopaikka sijaitsee Kutemajärven vesistöalueella Tampere-Orivesitien itäpuolella. Kaatopaikka on toiminut vuodesta 1967 ja sitä käytetään yhdyskunta- ja teollisuusjätteen kaatopaikkana. Ennen vuotta 1985 valumavedet johdettiin vielä Kartiskajärveen. Nykyään kaatopaikan valumavedet kerätään tasausaltaaseen, josta ne sadetetaan kaatopaikan eteläpuoliselle metsäalueella. Vuonna 1992 tasausaltaasta valuneet vedet heikensivät Kartiskajärvessä alusveden laatua (typpipitoisuus ja sähkönjohtavuusarvot korkeita), mikä jatkui myös vuonna 1993. Kuormitus kohdistui pääasiassa pieneen ja matalaan Kortejärveen. Ojaston veden laatu Siitaman kohdalla oli tyydyttävä. Vesistökuormitus vuonna 1993 oli 1,2 kilogrammaa päivässä (kg d^{-1}) typpeä ja 0,017 kg d^{-1} fosforia.

Vesistövaikutusten tarkkailu on aloitettu vuonna 1981. Kaatopaikan käyttö loppui vuonna 1995.

Ruutanan kaatopaikka, Kangasala

Ruutanan kaatopaikkaa on käytetty yhdyskuntajätteen kaatopaikkana vuoteen 1980 asti. Kaatopaikkaa ei toistaiseksi ole maisemoitu, mutta ylijäämämassoja on läjitetty kaatopaikan viereisellä alueella. Maisemoinnista päätetään, kun suotovesien kulkeutuminen ja laatu on selvitetty. Vuoden 1991 suotovesilammikon vedet olivat selvästi likaantuneita. Vuonna 1993 vesinäytteiden arvot olivat 1 700 $\mu g\ l^{-1}$ typpeä ja 38 $\mu g\ l^{-1}$ fosforia.

Lentolan kaatopaikka, Kangasala

Lentolan vanha kaatopaikka toimi yhdyskunta- ja teollisuusjätteen kaatopaikkana vuoteen 1980 asti. Kaatopaikka peitettiin ja maisemoitiin lopettamisen jälkeen. Kaatopaikan suotovedet on viemäröity jätevedenpuhdistamolle. Kaatopaikan päälle rakennettiin 1980-luvulla teollisuushalli, jossa toimii eri yrittäjiä. 1980-luvulla toiminut yritys on varastoinut tontille runsaasti huoltotoiminnassaan keräämiään prosessijätteitä, joista osa on valunut maahan ja osa toimitettu Ekokem Oy:lle.

Kun Vatialantietä rakennettaessa vanhan kaatopaikan penkkaa aukaistiin, suotovesiä valui avo-ojiin. Vaikka kaatopaikka on viemäröity, suotovesiongelmia esiintyy vieläkin.

Tampereen yliopistollinen keskussairaalaliitto, Pikonlinnan sairaala, Kangasala

Sairaalan alueella on toiminut vuoteen 1980 asti kaatopaikka, jonne vielä vuoteen 1986 asti on tuotu tuhkaa. Kaatopaikalta on matkaa sekä pohjavesialueeseen että Vesijärveen 300 metriä. Alue on edelleenkin osittain peittämättä.

Sairaalan sadevesiviemäriin pääsi 1990-luvun alussa jätevesiä ja sieltä edelleen Vesijärveen. Viemäriverkostoa korjattiin ja jätevesien pääsy sadevesiviemäriin on estetty. Vuotokohdan korjaamisenkin jälkeen sadevesiviemäristä otetuissa näytteissä on havaittu ravinnetason nousua. Sairaalan hiukkaskiihdyttimen lauhdevedet ohjattiin vuoteen 1994 asti suoraan Vesijärveen, mutta nykyisin ne imeytetään maahan. Lauhdevesissä on todettu kohonneita fosforipitoisuuksia. Elokuussa vuonna 1993 sadevesiviemärin kaivossa fosforipitoisuus oli 5 $\mu g\ l^{-1}$ ja putkessa, joka tulee järveen oli 13 $\mu g\ l^{-1}$ fosforia.

Santasaaren leirikeskus, Kangasala

Lintulahden edustalla sijaitsevan Santasaaren leirikeskuksen toiminta ajoittuu pääasiassa kesäkauteen, jolloin saaressa järjestetään lähinnä rippikoululeirejä. Kävijämäärät ovat olleet noin 300 henkilöä kesässä. Saaren keskiosiin rakennettiin 1990-luvun alussa maahanimeytysjärjestelmä saunan harmaille vesille. Jätevedet johdetaan hiekkaiseen imeytyskenttään monikerrospumppaamon kautta. Käymäläjätteelle on iso säiliö, joka tyhjennetään tarpeen mukaan.

Havisevan koulu, Kangasala

Havisevan koulussa oli vuonna 1993 54 oppilasta ja lisäksi 15 hengen asuntola. Maasuodatin otettiin käyttöön vuonna 1989. Maasuodattimessa käsiteltävät jätevedet ovat lähinnä ruoan valmistuksessa ja saniteettitiloissa syntyviä jätevesiä.

Koulun jätevesi on BOD_7- ja fosforipitoisuudeltaan lähellä keskimääräistä asumajätevettä. Ainoastaan typen pitoisuus tulevassa jätevedessä on keskimääräistä korkeampi. Maasuodattimesta lähtevän veden pH ja sen kokonaisrautapitoisuus on ollut korkea. BOD_7-arvon mukaan puhdistusteho on vaihdellut 98 ja 99 prosentin välillä, mutta korkea rautapitoisuus on kuitenkin haitannut analyysiä. Fosforin puhdistusteho on ollut 92 - 99 % ja typen 56 - 66 %. Vuonna 1993 vesistökuormitus oli 0,081 kg d^{-1} typpeä ja 0,001 kg d^{-1}fosforia.

Vihtori Peltonen Lihasulasäätiön maatalousoppilaitos, Kangasala

Lihasulan maatalousoppilaitoksen toiminta maatalousoppilaitoksena loppui vuonna 1992. Oppilaitoksen kiinteistöt ovat edelleen Lihasulasäätiön hallinnassa. Oppilaitoksella järjestetään jonkin verran kursseja. Maatalousoppilaitoksen vielä toimiessa alueelle suunniteltiin ja rakennettiin maasuodatin.

Tampereen evankelis-luterilaisten seurakuntien leirikeskus Siitamaja, Orivesi

Leirikeskus sijaitsee Oriveden Siitamassa ja sinne mahtuu noin 50 henkilöä kerrallaan. Käyttö rajoittuu lähinnä kesäaikaan. Leirikeskuksen wc-vedet johdetaan umpikaivoon.

Hankkija-Maatalous Oy, Nikkilän kurssikeskus, Kangasala

Köyrässä sijaitsevassa kurssikeskuksessa kurssitoiminta on erittäin vähäistä. Päärakennuksessa ovat keittiö, koulutus- sekä majoitustilat. Saunarakennus on erikseen. Jätevesille rakennettiin pienpuhdistamo 1960-luvulla, josta puhdistetut jätevedet johdetaan järveen. Kemikaalina käytetään ferrosulfaattia.

Vesijärveen sijoitettu paineviemäri

Paineviemärissä on havaittu vuoto viimeksi vuonna 1994, jolloin putkessa oli pitkittäishalkeama. Vuoto sattui yhtäaikaa pumppaamon saneeraustöiden kanssa. Arviolta 2 - 3 kg fosforia pääsi Riunlahteen. Edellinen halkeama oli vuonna 1992. Vuodot on korjattu ja palolaitoksen sukeltaja tarkistaa putken joka kevät.

Putken arvioitu käyttöikä on 50 vuotta. Jäljellä siitä on puolet. Putken siirto maalle tapahtuu mahdollisesti muiden viemäröintijärjestelyjen yhteydessä.

Muita yksittäisiä kuormittajia, joiden kuormitus jää vähäiseksi

Pikku-Vittanen, Orivesi

Saaressa sijaitsee kuntourheiluseura Tuiskun ylläpitämä leirintäpaikka. Siellä majoitutaan teltoissa. Saarella ovat ruoanlaittokatos sekä kuivakäymälät.

Jukolan nuorisoseurantalo, Orivesi

Talossa pidetään hää- ym. tilaisuuksia epäsäännöllisesti. Vesivessojen vedet johdetaan kaksiosaiseen saostuskaivoon ja imeytetään maahan.

Honkaniemi, reservialiupseerien maja, Kangasala

Majalla on kokoontumistila, sauna ja mökkejä. Käytössä ovat kuivakäymälät.

Havisevan matonpesupaikka, Kangasala

Matonpesupaikka on rakennettu maalle 1990-luvulla. Sen suodatinkenttä ei toimi ja vedet valuvat järveen.

Ranta-Virkkula

Pesuvedet johdetaan imeytyskaivojen kautta maastoon. Muut päärakennuksen ja rantasaunan jätevedet kerätään erikseen kymmenen kuutiometrin umpisäiliöön. Kiinteille jätteille on siirtolava.

Lomakoti Pyysalo

Lomakodissa on kymmenen hirsimökkiä ja sisämajoitustiloja sekä asuntovaunualue. Rantakaavassa on varattu alue jätevesien käsittelylle.

5.2 *Haja-asutuksen kuormitus*

Haja-asutuksen vesistökuormituksella tarkoitetaan yleisen viemäriverkoston ja asumajätepuhdistamojen ulkopuolella olevan asutuksen aiheuttamaa kuormitusta. Yleensä jätevedet johdetaan vanhoilla kiinteistöillä sakokaivojen kautta maastoon tai jopa suoraan vesistöön. Uusilta kiinteistöiltä on edellytetty jätevesien käsittelyyn sakokaivoja tehokkaampia menetelmiä. Tutkimusalueella asui viemäriverkostojen ulkopuolella 547 kiinteistöä, joista yli puolet sijoittui valuma-alueen yläosaan (taulukko 9). Loma-asuntoja oli tutkimusalueella 666 kpl, joista 56 % sijoittui tarkastelualueen yläosaan.

Koko tutkimusalueella ympärivuotisen haja- ja loma-asutuksen aiheuttama fosforikuormitus oli 408 kg a^{-1} ja typpikuormitus 2 670 kg a^{-1} (taulukko 10). Lukuja tarkasteltaessa on otettava huomioon, että valuma-alueen pienissä järvissä tapahtuvan sedimentaation vuoksi haja-asutuksen vaikutus on pienempi kuin potentiaalinen kuormitus.

Taulukko 9. Vesijärven ympärivuotinen haja-asutus ja loma-asutus.

Alue	Viemäröimätön asutus	Kesämökit
Yläosa	310	372
Alaosa	237	294
Yhteensä	547	666

Taulukko 10. Haja-asutuksen ja loma-asutuksen fosfori- ja typpikuormitus vuodessa.

Alue	Haja-asutus		Kesämökit		Yhteensä	
	kg P a^{-1}	kg N a^{-1}	kg P a^{-1}	kg N a^{-1}	kg P a^{-1}	kg N a^{-1}
Yläosa	156	1 060	74	446	230	1 506
Alaosa	119	811	59	353	178	1 163
Yhteensä	275	1871	133	799	408	2 669

5.3 Maatalous

Vesijärven valuma-alueella on peltoa 1 917 ha eli 11 % maa-alasta (taulukko 11). Vuonna 1993 maataloutta harjoittavia tiloja oli 93, joista karjatiloja 42. Neljän tilan talouskeskukset olivat tutkimusalueen ulkopuolella. Puutarhoja alueella oli 6. Tuotannosta luopuvia tiloja oli 20 vuonna 1993, joiden yhteinen peltopinta-ala oli vajaa 200 ha. Maatilojen määrä on jatkuvasti ollut vähenemään päin. Asutuksen leviäminen varsinkin Ruutanan ja Suinulan suuntaan on jouduttanut peltojen poistumista viljelykäytöstä. Suurimmat viljelykset Vesijärven ranta-alueilla ovat Rikussa, Suinulassa, Huhtalassa, Lihasulassa, Siitamassa, Tohkalassa, Kesossa, Köyrässä ja Suomatkassa.

Peltoviljely

Vesijärven valuma-alueen peltojen maalaji on pääasiassa hiesua. Harjun lähialueella, Rikun ja Tursolan alueilla on hieta- tai hiesupeltoja. Entisen järvenpohjan alueilla maalaji on järviliejua. Turvemaita sen sijaan on hyvin vähän.

Peltoviljelystä aiheutuva vesistökuormitus riippuu mm. pellon määrästä vesistön valuma-alueella, maanpinnan kaltevuudesta, kuivatustilasta, maalajista, pellon käytöstä, lannoituksesta, viljelytekniikasta ja valunnan suuruudesta. Peltoviljelyn kuormituksesta suurin osa tulee valuntahuippujen aikana keväällä ja syksyllä. Eri vuosina valuntaolojen mukaan peltoviljelyn kuormitus voi vaihdella suuresti.

Peltoalasta oli kesantona eteläosassa 32 % ja pohjoisosassa 28 %. Eteläosan kesantoalasta 89 % oli viherkesantoa ja pohjoisosan 97 %. Köyränojan osavaluma-alueella oli 15 % kesantoa, joka oli kokonaan viherkesantoa. Kesantoala tulee vähenemään, kun kesannointisäännökset muuttuivat EU:iin liittymisen myötä. Maatalouden ympäristötuen perustukiosan ehtona on, että talviaikana pelloista vähintään 30 % on kasvipeitteisiä. Tähän tavoitteeseen on Vesijärven valuma-alueella ylletty keskimäärin jo ennen EU-säädöksiä, joten muutosta ei ole odotettavissa.

Taulukko 11. Peltoala, karjatilojen määrä ja karjan määrä lannantuotantoyksiköiksi muutettuna Vesijärven valuma-alueella.

Valuma-alue	Peltoala ha	%	Karjatiloja kpl	Lannantuotantoyksiköiden määrä yksiköitä	yks. km^{-2}
Etelä	961	16	19	307	5
Pohjoinen	955	8	20	656	5
Köyränoja	142	44	4	75	23
Yhteensä	1 916	11	39	963	5

Suojakaistat

Suojakaistoilla ja pientareilla voidaan vähentää maatalouden vesistökuormitusta. Vesijärven rantapeltojen ja Vesijärveen laskevien ojien ja purojen suojakaistat selvitettiin keväällä 1993 (kuvat). Kohteista 53 % rajoittui Vesijärven rantaan.

Selvityksen mukaan varsinaisia suojakaistoja ei ole perustettu, vaikka ojien varsia olikin jätetty perkaamatta. Ojaan asti muokattuja peltoja löytyi jonkin verran, samoin ojan luiskien vyörymiä. Rantapellot olivat suhteellisen tasaisia lukuun ottamatta Pohjois-Kangasalan ja Siitaman jyrkkiä rantapeltoja. Järvien rannoilla olikin useimmiten riittävä suojakaista rannan pehmeyden ja hankalan viljeltävyyden vuoksi. Järven rantojen todettiin monissa tapauksissa olevan vesijättöjä, joilla kasvaa pensaita. Selvityksen mukaan ojan pohjat olivat sitä rehevämpiä, mitä pitempi ja suurempi oja oli kyseessä. Järvien lahdet olivat rehevöityneet ojien suista.

Tarkastelluilla pelloilla kasvoi suurelta osin viljaa ja noin kolmasosassa nurmea. Kesantopeltoja oli arviolta kymmenesosa tarkastelluista pelloista.

Pellon kaltevuus vaikuttaa oleellisesti pellon ympäristövaikutuksiin. Eroosion kannalta pellon alimman reunan kaltevuus on ratkaisevin. Mm. Siitamassa on peltoja, joiden kaltevuus 10 - 18 %.

Maatalouden maisema- ja ympäristönhoidon tuki edellyttää valtaojien varsille yhden metrin levyiset pientareet. Purojen ja muiden vesistöjen varsille sekä talousvesikaivojen ympärille jätetään vähintään kolmen metrin levyiset monivuotisen kasvillisuuden peittämät suojakaistat.

Karjatalous

Vesijärven valuma-alueella vuonna 1993 oli 39 karjatilaa (taulukko 11). Lehmiä oli 247 ja muita nautoja 561. Nautakarjatiloista yli puolet oli valuma-alueen pohjoispuolella. Emakoita oli alueella 132 ja muita sikoja 460. Viidestä sikatilasta kolme sijoittui valuma-alueen eteläosaan. Hevosia oli 46 ja lampaita 191. Hevostilat keskittyivät valuma-alueen eteläosaan.

Lannan käsittely on hoidettu vuonna 1994 Vesijärven eteläosassa kuivalantaloin neljällätoista tilalla ja lietelantaloin kahdella tilalla. Pohjoisosassa kuivalantaloita oli kahdellatoista, lietelantala yhdellä ja kompostori yhdellä tilalla. Lantaloiden kunnostus on edistynyt hitaasti. Esimerkiksi Kangasalla vuonna 1994 lähes 80 % lantaloista ei täyttänyt 12 kuukauden varastointiajan vaatimusta. Maatalouden maisema- ja ympäristönhoidon perustuessa ei sallita lannan, virtsan ja muiden eloperäisten jätteiden levittämistä routaiseen maahan tai lumelle. Jotta tiloilla päästäisiin tähän, joudutaan lantavarastot kunnostamaan karjatiloilla.

Karjatalouden suoria päästöjä voi aiheutua karjankasvatuksen lisäksi säilörehun puristenesteistä. Puristenesteen ravinnepitoisuudet ovat erittäin korkeita; fosforia on 0,5 kg m^{-3} ja typpeä 1,8 kg m^{-3}. Vesistöön joutuessaan puristeneste voi rehevöittää huomattavasti. Lisäksi maaperään päästessään puristeneste voi pilata pohjavesiä. Puristenesteiden käsittelytavat on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Säilörehun puristenesteiden käsittely vuonna 1993.

Valuma-alue	Käsittelymenetelmä, %-osuus		
	Lantala, umpikaivo, virtsasäiliö	Saostuskaivon kautta ojaan	Ei talteenottoa
Etelä	30	10	60
Pohjoinen	22	33	44

Vesijärven valuma-alueen 17 maatilalle on tehty ympäristönhoitosuunnitelma. Kangasalan kunnan alueella ympäristönhoitosuunnitelmia on tehty vuosina 1990-92 ja Orivedellä vuosina 1993-94. Kuntien ympäristönhoitosuunnitelmat olivat hieman erilaisia. Ympäristönhoitosuunnitelmassa selvitettiin pellon käyttöä, peltojen peruskuntoa, lannoitusta, kasvinsuojelua, karjanlannan varastointia, säiliörehun puristenesteen käsittelyä. Orivedellä selvitettiin myös öljysäiliöiden kuntoa, ongelmajätteiden varastointia tilalla ja tilan vesihuoltoa ja viemäröintiä sekä rakennusten ja lähiympäristön kuntoa. Maatalouden maiseman- ja ympäristönhoidon perustukea vastaanottavilla tiloilla tulee ympäristönhoitosuunnitelmat päivittää. Tiloilla, joille niitä ei ole tehty, tulee laatia uudet ympäristönhoito-ohjelmat.

Puustisen ym. (1994) tekemän koko Suomea koskevan tutkimuksen mukaan peltojen viljavuusluokituksen fosforitavoitetaso on ylitetty 26 prosentissa pelloista, mikä merkitsee kasvanutta vesistökuormitusriskiä. Kunnittaisia tilastoja lannoitteiden käytöstä ei ole saatavilla, joten Kangasalan ja Oriveden saatikka Vesijärven lannoitemääristä ei ole tarkkaa tietoa. Fosforin osuus pääravinteiden myynnissä Pirkanmaan maaseutukeskuksen alueella oli 16,8 kg ha^{-1}, kun koko maan keskiarvo oli 19,4 kg ha^{-1} lannoitusvuonna 1992-93. Kaikkien peltolannoitteiden myyntiosuus Pirkanmaalla oli 3,6 %.

5.4 Metsätalous

Metsätalouden vesistökuormitusta syntyy avohakkuista, metsäojituksesta, maanmuokkauksesta ja metsälannoituksesta. Kun avohakkuissa poistetaan puusto, kokonaisvalunta lisääntyy voimakkaasti. Myös huuhtoutuvien ravinteiden määrä lisääntyy, koska ravinteita sitova kasvillisuus vähenee. Ravinteiden lisäys on suurempaa turvemailla kuin kivennäismailla. Metsäojituksen tarkoituksena on lisätä puuston tuottavuutta parantamalla maan kuivatusta. Lisääntyneen valunnan myötä kasvavat sekä ravinteiden että kiintoaineen huuhtoumat. Paitsi kasvanut valuma myös turpeen hajoamisen tehostumisesta johtuva ravinteiden ja happea kuluttavan aineksen vapautuminen lisäävät aineiden huuhtoutumista. Metsälannoituksessa metsään levitetään kerralla ravinteita niin paljon, että määrä vastaa puuston usean vuoden tarvetta. Kivennäismaita lannoitetaan pääasiassa typellä ja turvemaita lähinnä fosforilla ja kaliumilla.

Tutkimusalueella ei ole avohakattu viimeksi kuluneiden viiden vuoden aikana (ennen vuotta 1993), minkä ajan avohakkuiden vaikutusten on oletettu kestävän.

Tutkimusalueella on ojitettu vuosina 1987-93 yhteensä 214 ha. Ojitettu alue on keskimäärin yksi prosentti Vesijärven valuma-alueen maapinta-alasta. Vuosittaiset ojituspinta-alat on esitetty liitteessä 2. Tarkasteluaikana on ojitettu Vesijärven pohjois- ja eteläosassa miltei saman verran. Eteläosan ojitukset keskittyvät kuitenkin vuoteen 1991. Kunnostusojien määrä lähitulevaisuudessa on luultavasti muutamia hehtaareja vuodessa, enimmilläänkin alle 50 ha vuodessa. Pirkanmaan metsälautakunnalta saadun tiedon mukaan kiireellisimmät kohteet on jo ojitettu.

Ojituksen aiheuttama fosforihuuhtouma vuonna 1993 oli koko tutkimusalueella 32 kg ja typpihuuhtouma 164 kg. Fosforihuuhtoumasta 56 % tuli järven eteläosan valuma-alueilta. Typpihuuhtoumasta tuli vastaavasti valtaosa, 77 % eteläosan valuma-alueilta. Lukuja tarkasteltaessa on otettava huomioon, että

valuma-alueen pienissä järvissä tapahtuvan sedimentaation vuoksi Vesijärveä kuormittavat huuhtoumat ovat selvästi pienemmät kuin ko. potentiaaliset huuhtoumat.

Tutkimusalueella on lannoitettu metsää vuosina 1975-93 yhteensä 340 ha eli kaksi prosenttia koko alueen pinta-alasta. Lannoitteita käytettiin yhteensä 172 tonnia (t), josta NP-lannoitetta 41 %, NPK-lannoitetta 32 % ja N-lannoitetta 22 %, PK-lannoitetta 4 % sekä ureaa 1 %. Tutkimusalueella käytetyt lannoitteet ja vuosittaiset lannoitemäärät ja lannoitusalat on esitetty liitteessä 3.

Vuonna 1993 koko tutkimusalueella lannoitusten aiheuttama fosforihuuhtouma oli 45 kg. Typpihuuhtoumaa ei ole, sillä lannoitteen sisältämä typpi ei huuhtoudu enää toisen vuoden jälkeen lannoituksesta eikä tutkimusalueella ole metsää lannoitettu enää vuoden 1986 jälkeen.

Metsätalouden aiheuttama fosforihuuhtouma oli koko tutkimusalueella vuonna 1993 yhteensä 78 kg ja typpihuuhtouma 164 kg. Fosforihuuhtoumasta oli ojituksen osuus 42 % ja typpihuuhtouma muodostui kokonaan ojituksesta.

5.5 Perushuuhtouma ja laskeuma

Ainevirtaamista erotettiin valuma-alueelta tuleva perushuuhtouma ja laskeuma suoraan järviin. Perushuuhtouma kuvaa sitä ravinnehuuhtoumaa, joka valuma-alueelta tulisi, jos se olisi luonnontilaista tai pitkään käsittelemättömänä ollutta metsää. Siihen kuuluu maalle sataneen veden ja lumen aiheuttama ravinnehuuhtouma sekä metsänkäsittelyn pitkäaikaisvaikutukset huuhtoumiin. Perushuuhtouman määränä käytettiin neliökilometriä kohti vuodessa 7 kilokgrammaa fosforia (kg km^{-2} a^{-1}) ja 150 kg km^{-2} a^{-1} typpeä (Saura 1990). Perushuuhtoumaksi tutkimusalueella saatiin 1 260 kg fosforia ja 27 100 kg typpeä.

Laskeuma sateen ja lumen mukana suoraan järviin arvioitiin vesi- ja ympäristöhallituksen Orivedellä sijaitsevan sadevesiaseman vuosien 1992-93 vedenlaatutietojen ja Ilmatieteen laitoksen paikkakunnalla mittaamien vuorokautisten sademäärien perusteella. Laskeuma on laskettu pitoisuuksien mediaaniarvoista. Selvitysalueen fosforilaskeumaksi saatiin neliökilometrille 11 kilogrammaa (kg km^{-2}) ja typpilaskeumaksi 579 kg km^{-2}. Rikussa olleen mittauspisteen tulosten mukaan fosforilaskeuma oli 10 kg km^{-2} ja typpilaskeuma 396 kg km^{-2}.

Laskeuma on monen eri tekijän summa. Osa laskeumasta on täysin luonnontilaista ja osa ihmisen toiminnasta aiheutuvaa. Siitepölyt ovat varsin merkittävä osa laskeumasta. Muita luonnollisia lähteitä ovat hyönteiset, mikrobit ja itiöt, joita myös löytyy keräimistä. Tulivuorten purkauksissa vapautuu tuhkaa. Myrskyt nostavat hienojakoista maa-ainesta ilmaan ja voivat kuljettaa autiomaiden tai lössimaiden hiekkaa kauaksi lähtöpisteestään. Samalla tavoin voi paljaasta maasta, esimerkiksi peltojen muokkauksen aikana, lähempääkin kulkeutua maa-ainesta keräimiin. Liikenne, teollisuuden päästöt ja palamisen yhteydessä syntyvä tuhka lisäävät maanmuokkauksen ohella ihmistoiminnasta peräisin olevaa laskeumaa.

Laskeuma sataa yhtä lailla maapinnalle kuin vesipinnallekin, mutta osa siitä jää maahan eikä huuhtoudu vesistöön. Siksi huuhtouman määriä on tutkittu mahdollisimman luonnontilaisilla metsäalueilla. Laskeuman arvoja voidaan verrata vaikkapa peltojen lannoitemääriin. Fosforilaskeuma 11 kg neliökilometrille on hehtaarille 0,11 kg vuodessa. Maatalouden ympäristötukisäädösten perusteella peltokasvien lannoituksen perustaso esimerkiksi viljoille on 15 kg hehtaarille vuodessa. Näin ollen onkin ymmärrettävää, että ilmasta satava laskeuma ei sanottavasti nosta maalta tulevia huuhtoumia.

Kuormitus- ja ainetaselaskelmat

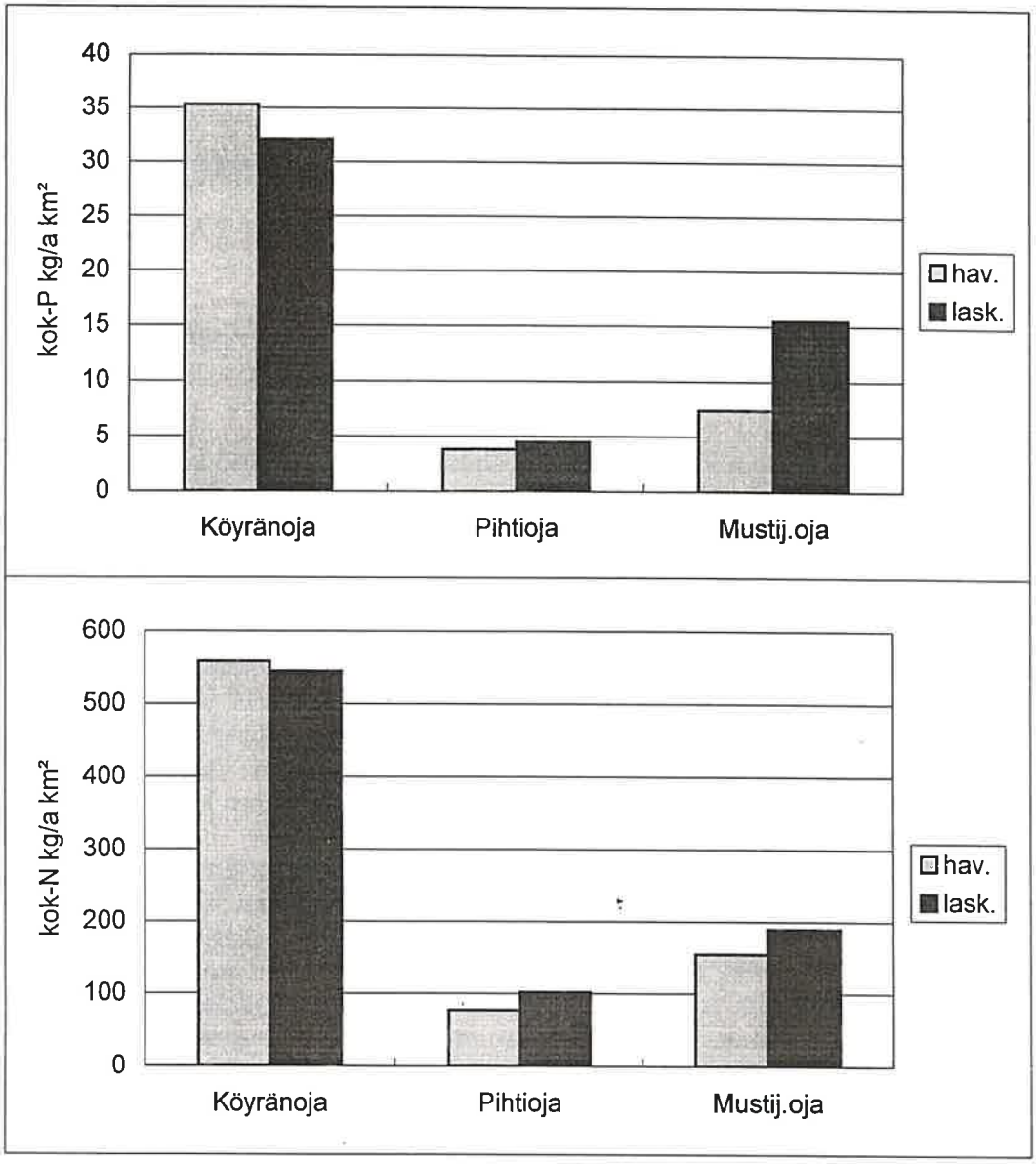
6

6.1 Pienten osavaluma-alueiden ravinnekuormitukset vuonna 1993

Valuma-alueelta tulevan veden laatua havainnoitiin vuonna 1993 kolmelta pienehköltä osavaluma-alueelta ja vain yhdessä näistä alueista oli mittapato, jonka avulla laskettiin ojan virtaama. Osavaluma-alueiden yhteenlaskettu pinta-ala on noin viisi prosenttia Vesijärven kokonaisvaluma-alueen pinta-alasta. Tämän vuoksi havaittujen ojien veden laadun ja ainevirtaamien perusteella ei voida suoraan selvittää Vesijärven ravinnekuormituksen määrää. Pienten osavaluma-alueiden havainnoinnilla pyrittiin selvittämään erilaisten maankäyttötoimintojen vaikutusta alueen ominaiskuormitukseen ja testaamaan Längelmävesi-tutkimuksessa kehitettyä tilastollista ravinnekuormituksen laskentamenetelmää. Köyränojan valuma-alue edustaa maatalousvaltaista aluetta, Pihtiojan valuma-alue lähes luonnontilaista aluetta ja Mustijärvenojan valuma-alue haja-asutuksen kuormittamaa aluetta.

Köyränojan ainevirtaamat laskettiin mittapadon havaintojen ja vedenlaatuhavaintojen avulla kuten kappaleessa 3.4 on esitetty. Pihtiojan ja Mustijärvenojan virtaamat on arvioitu valtakunnallisen Paunulanpuron (Orivesi) havaintopisteen valumien avulla. Näiden alueiden ainevirtaamat ovat suuresti riippuvaisia ko. generoiduista virtaama-arvoista ja saattavat erota todellisista kuormituksista melko paljonkin. Varsinkin kevään virtaamahuipun väärä ajoitus suhteessa havaittuihin vedenlaatutietoihin saattaa aiheuttaa suuriakin virheitä kuormitusarvoissa laskettaessa pitoisuuksia virtaamapainotteisesti. Tämä selittää osaltaan Mustijärvenojan laskettujen ja havaittujen ainevirtaamien erotuksen. Ero johtuu ilmeisesti myös haja-asutuksen tilastollisen laskentamenetelmän karkeudesta varsinkin pienten kuormitusten ollessa kyseessä sekä laskentatietojen puutteellisuudesta (kuva 13).

Maatalousvaltaisen Köyränojan valuma-alueelle tilastollisella kuormitusmallilla lasketut kokonaisfosfori- ja kokonaistyppikuormitukset eroavat varsin vähän havaituista kuormituksista. Pihtiojan havaitut ja lasketut kuormitukset ovat myös melko lähellä toisiaan. Selvin ero havaittujen ja laskettujen kuormitusten välillä on Mustijärvenojan kokonaisfosforin kuormituksessa. Havaittu kuormitus on 7,4 kilogrammaa neliökilometrille vuodessa (kg km^{-2} a^{1}) ja laskettu kuormitus on 15,5 kg km^{-2} a^{-1}. Erotuksen syitä selvitettiin jo edellä ja tuloksena oli, että virhettä on ilmeisesti molemmissa luvuissa. Laskelmissa on kuitenkin käytetty laskennallista arvoa, josta kuormitusjakauma on helposti saatavissa. Vesijärven kokonaiskuormitukseen ei ratkaisu vaikuta käytännössä yhtään, koska Mustijärvenojan kuormitus kokonaiskuormituksesta on joka tapauksessa marginaalinen. Kaiken kaikkiaan osavaluma-alueilta saatu informaatio osoitti Längelmävesi-selvityksessä käytetyn ravinnekuormituksen laskentamenetelmän sopivan erittäin hyvin Vesijärven kuormitusten laskentaan.



Kuva 13. Kokonaisfosforin (yläkuva) ja kokonaistypen (alakuva) lasketut ja havaitut ainevirtaamat valuma-alueiden pinta-alaa kohti laskettuna Vesijärven muutamalla osavaluma-alueella vuonna 1993.

6.2 Kuormitus valuma-alueilta kuormituslähteittäin vuonna 1993

Tutkimuksen havainnointijakso toteutettiin vuoden 1993 aikana. Eri vuosien valunnan kokonaismäärä ja jakautuminen vuodenaikojen kesken vaihtelevat vuosittain. Lähinnä lumen sulamisesta aiheutuva kevätvalunta kattaa vuoden kokonaisvalunnasta noin 30 - 50 %. Koska tässä selvityksessä tarkastellaan tutkimusvuoden valumia ja huuhtoumia kokonaisuutena, ei ole mahdollista eritellä tutkimusjakson valumien sisäistä dynamiikkaa ja sen vaikutusta huuhtoumiin.

Pitkäaikaisten valumakeskiarvojen avulla tehdyt valuntakorjaukset kohdistuvat pelkästään kokonaismäärään. Tosiasiassa eri vuosien kokonaishuuhtoumat voivat erota hyvinkin paljon toisistaan valunnan vuodenaikaisen ajoittumisen seurauksena, vaikka vuoden keskivalumat olisivatkin samoja. Kokemäenjoen vesistöalueen Virtalankosken valuma-alueella (Multia) on valtakunnallinen virtaaman havaintopaikka, Kurjenkoski (valuma-alue = 147 km^2). Virtaamaa on havainnoitu vuodesta 1931 alkaen. Verrattaessa vuoden 1993 keskivalumaa pitkän ajanjakson vuoden keskivalumaan voidaan havaita vuoden 1993 olleen noin 20 % kuivempi kuin pitkäaikainen keskiarvo. Laskennallisia kuormitusarvoja vuodelle 1993 on korjattu vähentämällä niistä 20 %. Jäljempänä ennustelaskelmissa käytetyistä nykytilaa vastaavista kuormituksista tätä vähennystä ei ole tehty, vaan pitoisuudet edustavat keskimääräisen kuormituksen aiheuttamia pitoisuuksia vesistössä.

Kuormituslaskelmat on tehty osavaluma-alueittain, kuten edellä kuvassa 4 esitettiin eli kolmelle pienelle osavaluma-alueelle, muulle Vesijärven yläosan valuma-alueelle sekä Vesijärven alaosan valuma-alueelle. Kaikki pienet osavaluma-alueet sijaitsevat Vesijärven yläosan valuma-alueella. Vesijärven yläosan ja alaosan erottaa toisistaan Mutikonsalmi.

Vesijärven yläosaan ja alaosaan tulee valuman mukana suunnilleen samansuuruiset ravinnemäärät (kuva 14). Pienten osavaluma-alueiden ravinnemäärät ovat marginaalisia verrattuna kokonaismääriin, mutta valuma-alueen pinta-alaan suhteutettuna (kuva 15) voidaan nähdä esimerkiksi Köyränojan valuma-alueella maatalouden nostavan kuormituksen selvästi keskimääräistä korkeammaksi. Vesijärven alaosan ravinnemäärä valuma-alueen pinta-alaan verrattuna on selvästi suurempi kuin yläosan. Vesijärven alaosaan valuman mukana tuleva ravinnehuuhtouma koostuu jonkin verran enemmän maatalouden kuormituksesta ja vastaavasti vähemmän perushuuhtoumasta kuin yläosan ravinnehuuhtouma. Muut ravinnelähteet ovat melko samansuuruisia (liite 4). Vesijärven valuma-alueen ylä- ja alaosan kokonaisfosforimäärät vastaavat keskimääräisiä koko maan kuormitusarvoja tai ovat sen alapuolella. Normaalivuonna (lisäys 20 % vuoden 1993 kuormituksesta) ylä- ja alaosan ravinnehuuhtoumat ovat 12-20 kg km^{-2} a^{-1} ja koko järvelle 14,6 kg km^{-2} a^{-1}. Perushuuhtouman arvona käytettiin kokonaisfosforin osalta 7 kg km^{-2} a^{-1}, josta osa sedimentoituu valuma-alueen järviin. Ihmisen toiminnan aiheuttamaa, valuman mukana tulevaa kuormitusta (perushuuhtouma sisältää sateen mukana tulevan kuormituksen) on selvästi yli puolet kuormituksesta.

Vesijärveen tuleva kuormitus koostuu valuma-alueelta tulevan kuormituksen lisäksi ilmalaskeumasta (sateesta) ja Vesijärven alaosassa yläpuolisesta altaasta veden virtauksen mukana tulevista ainemääristä. Yläpuolisesta altaasta alapuoliseen altaaseen tulevat ainemäärät on jaettu laskennallisesti samassa suhteessa eri lähteisiin kuin ko. yläpuolisen altaankin kuormitus.

Vesijärveen tulevan kokonaisfosforin määrästä 46 % on peräisin maataloudesta, 22 % perushuuhtoumasta, ilmakuormituksen osuus on 17 % ja haja- ja loma-asutuksen osuus on 13 % (kuva 16). Pistekuormituksen ja metsätalouden kuormituksen osuus kokonaisfosforimääristä on pieni, kumpikin noin yksi prosentti. Yläosan ja alaosan kuormitusten suhteelliset osuudet ovat samaa luokkaa. Kokonaistyppikuormituksesta maatalouden osuus on 32 % ja ilmasta laskeutuvan typen 39 % (kuva 17). Kokonaisfosforin ja kokonaistypen kuormitukset (kg a^{-1}) kuormituslähteittäin on esitetty taulukossa 13. Vesijärveen tulee kokonaisfosforia normaalivuonna noin 3 200 kg a^{-1} ja kokonaistyppeä noin 71 000 kg a^{-1}.

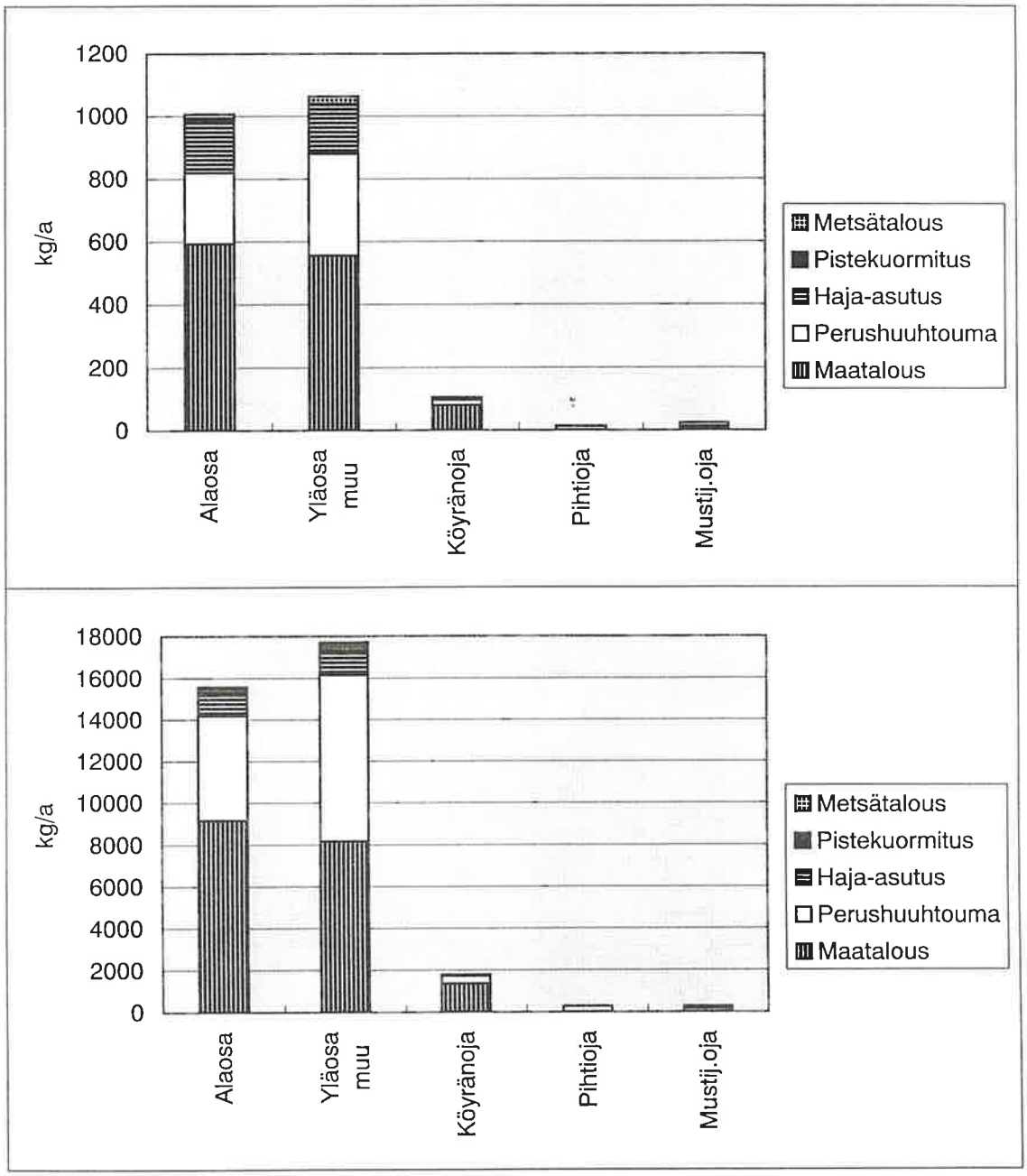
Järven tuotannolle on merkitystä vain niillä ravinteilla, joita levät pystyvät käyttämään. Fosforilla on voimakas taipumus sitoutua kiintoaineeseen. Peltovalumavesien fosforista vain noin neljännes on liukoista reaktiivista fosforia, joka kuvaa hyvin leville käyttökelpoisen, liukoisen ortofosfaatin määrää. Tämän

lisäksi kiintoaineeseen sitoutuneesta fosforista saattaa välittömästi vapautua noin viisi prosenttia (Ekholm 1992). Maatalouden kokonaisfosforikuormituksesta oletetaan siis 30 % olevan leville välittömästi käyttökelpoisessa muodossa. Metsätalouden fosforikuormituksen vastaavan luvun oletetaan olevan 60 %, ilmakuormituksen 50 % sekä haja-asutuksen ja pistekuormituksen 100 %. Tämän perusteella voidaan laskea Vesijärveen tulevan liukoisen ortofosfaatin suhteelliset osuudet. Edellä mainitut osuudet ovat laboratoriotestien tuloksia. Testeissä esiintyy vaihtelua näytteiden alkuperän mukaan. Onkin todennäköistä, että leville käyttökelpoinen fosforimäärä voi olla jotain liukoisen fosforin ja kokonaisfosforin määrien väliltä.

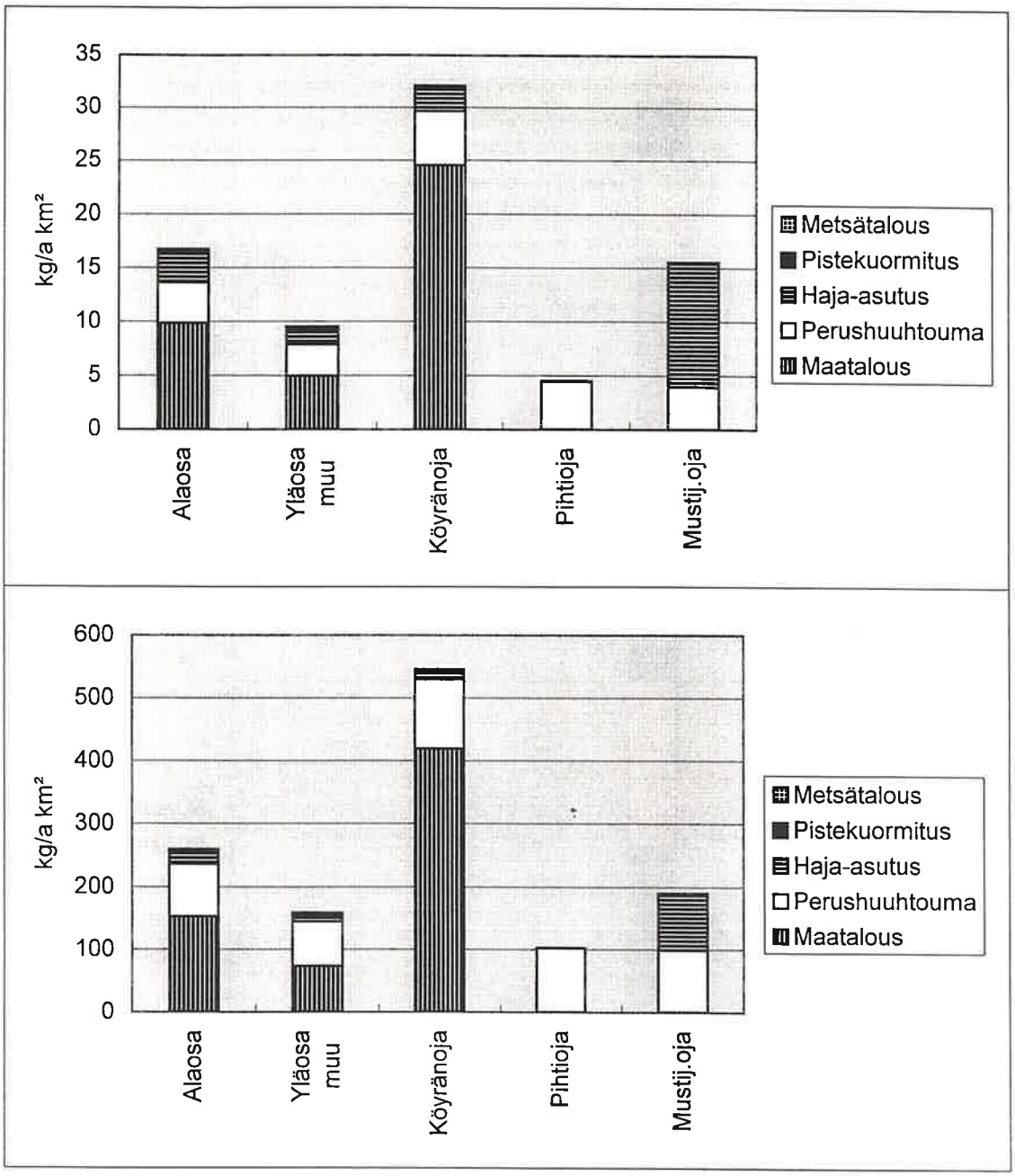
Liukoisen fosforin määriä tarkasteltaessa perushuuhtouman osuus on suurin 37 % ja haja- ja loma-asutus (22 %) nousee lähelle maatalouden suhteellista osuutta (24 %, kuva 16). Muiden kuormittajien suhteellinen osuus pysyy lähes samana. Laskelma on suuntaa antava, mutta osoittaa haja- ja loma-asutuksen suuren merkityksen Vesijärven kuormittajana. Sedimentin kiintoaineeseen sitoutunut fosfori siirtyy yläpuoliseen veteen ihmisen toiminnan rehevöittämissä vesissä ns. sisäisenä kuormituksena esimerkiksi alusveden huonon happitilanteen seurauksena. Tällöin pitkällä aikavälillä maatalouden merkitys vesistön rehevöittäjänä on suurempi kuin edellisissä laskelmissa esitettiin. Joka tapauksessa ihmisen toiminta lisää Vesijärveen tulevan fosforin määrää noin puolella.

Taulukko 13. Ravinnekuormitus koko Vesijärvelle sekä järven ylä- ja alaosalle erikseen. Ainemäärissä on otettu huomioon Vesijärven valuma-alueella tapahtuva sedimentaatio. Alaosan kuormituksessa on mukana myös yläosan altaasta tuleva ainevirtaama siten, että yläosan altaassa tapahtuva sedimentaatio on otettu huomioon.

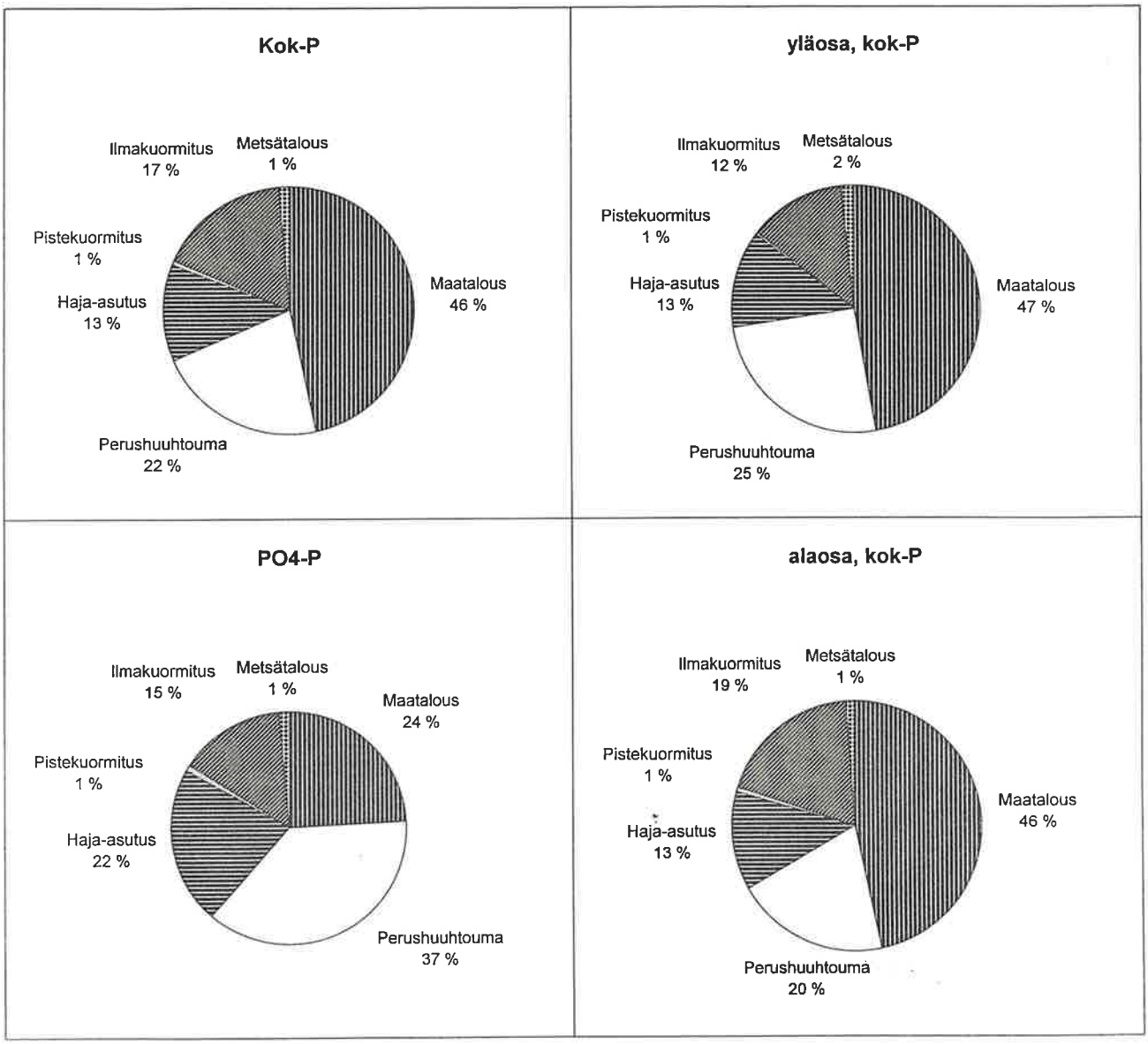
	Maatalous kg/a	Perushuuhtouma kg/a	Haja-asutus kg/a	Pistekuormitus kg/a	Ilmakuormitus kg/a	Metsätalous kg/a	Yhteensä kg/a
Kok-P	1243	576	340	14	450	35	2658
PO4-P	373	576	340	14	225	21	1549
yläosa, kok-P	650	349	174	6	174	23	1376
alaosa, kok-P	866	374	239	11	349	22	1861
Kok-N	18906	13603	2436	619	23268	88	58920
yläosa, kok-N	9738	8578	1311	413	8993	18	29051
alaosa, kok-N	12868	8285	1623	363	17692	77	40908



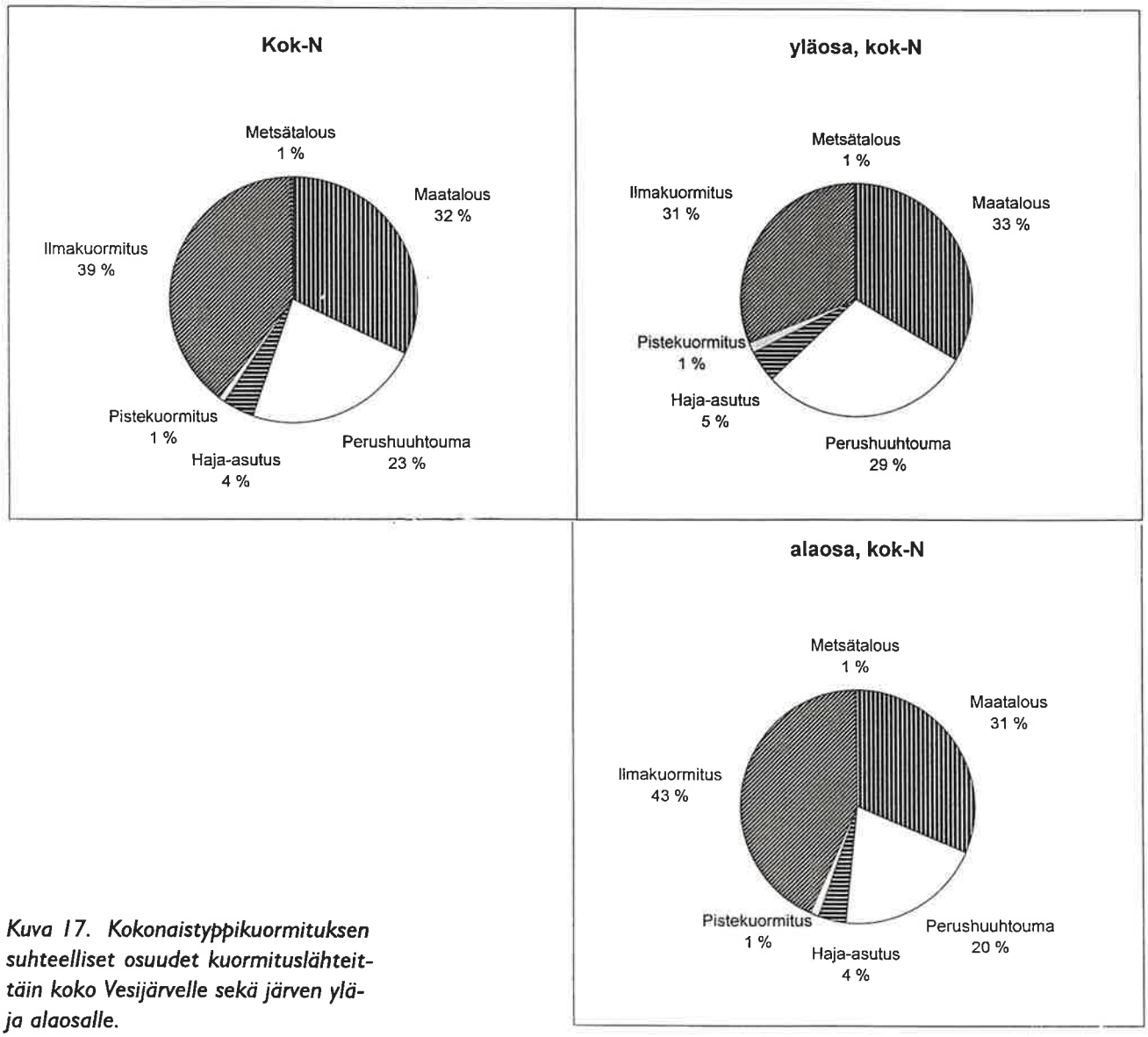
Kuva 14. Vesijärven valuma-alueiden laskennalliset kokonaisfosforin (yläkuva) ja kokonaistypen (alakuva) ainevirtaamat vuonna 1993. Valuma-alueiden sijainti selviää kuvasta 4.



Kuva 15. Vesijärven valuma-alueiden laskennalliset kokonaisfosforin (yläkuva) ja kokonaistypen (ala-kuva) ainevirtaamat valuma-alueiden pinta-alaa kohti laskettuna vuonna 1993.



Kuva 16. Kokonaisfosforikuormituksen suhteelliset osuudet kuormituslähteittäin koko Vesijärvelle sekä järven ylä- ja alaosalle. Kuvassa on myös liukoisen ortofosfaatin suhteelliset osuudet koko Vesijärvelle.



Kuva 17. Kokonaistyppikuormituksen suhteelliset osuudet kuormituslähteittäin koko Vesijärvelle sekä järven ylä- ja alaosalle.

6.3 Ainetaseet

Vesijärven ylä- ja alaosalle laskettiin ravinteiden ainetaseet, jossa otettiin huomioon altaan yläpuolelta tuleva ainevirtaama, altaan valuma-alueelta tuleva kuormitus, perushuuhtouma ja ilmalaskeuma sekä altaasta lähtevä ainevirtaama. Näiden tietojen avulla laskettiin kunkin altaan nettosedimentaatio ja pidättymiskerroin ja kalibroitiin ainetasemalli havaintoja vastaavaksi (taulukko 14).

Taulukko 14. Ravinteiden pidättymiskerroin (R) ja ensimmäisen kertaluvun sedimentaatiokerroin (ó) Vesijärven ylä- ja alaosalle.

Allas	Fosfori		Typpi	
	R	ó	R	ó
	%	a^{-1}	%	a^{-1}
Yläosa	0,58	0,64	0,62	0,75
Alaosa	0,76	0,64	0,79	0,75

6.4 Kuormituksen vähentämisen vaikutus veden laatuun

Kuormitusvaihtoehtoja valittaessa on keskitytty kuormituksen vähentämiseen (taulukko 15). Pääsääntöisesti vähentämistoimenpiteet on ajateltu kohdennettavan kaikille vesistöalueen valuma-alueille. Laskelmat on tehty ns. nykytilassa, joka vastaa pitkäaikaisen jakson keskivalumaa. Laskelmien tuloksena saadaan kokonaisfosforin ja -typen pitoisuudet pitkäaikaiskeskiarvoina valituissa kuormitustilanteissa.

Taulukko 15. Tarkasteltavat kuormituksen vähentämisvaihtoehdot.

Toimenpide	Tunnus
Nykyinen laskennallinen keskipitoisuus	NYKYTASO
Pistekuormitusta vähennetty 100 %	PI100
Haja- ja loma-asutuksen kuormitusta vähennetty 100 %	HA100
Maatalouden kuormitusta vähennetty 30 %	MA30
Maatalouden kuormitusta vähennetty 60 %	MA60
Haja- ja loma-asutuksen kuormitusta vähennetty 100 %, maa- ja metsätalouden kuormitusta vähennetty 60 %	MIN
Perushuuhtouma	PERUSTASO

Vaihtoehdoista haja- ja loma-asutuksen kuormituksen (HA100) ja pistekuormituksen (PI100) loppuminen ovat periaatteessa mahdollisia saavuttaa. Vaihtoehdossa MA30 lähdetään siitä, että karjatalouden kuormitus on saatu poistetuksi ja sen lisäksi vähennetyksi peltomaan eroosiosta aiheutuvia haittoja. Vaihtoehdon MA60 saavuttaminen edellyttää lisäksi vesiensuojelullisesti hyvien viljelymenetelmien käyttöönottoa. Tavoite voi olla vaikea saavuttaa. Minimivaihtoehtoon (MIN) on yhdistetty kaikista kuormittajista edellä esitetyt tiukimmat vaihtoehdot.

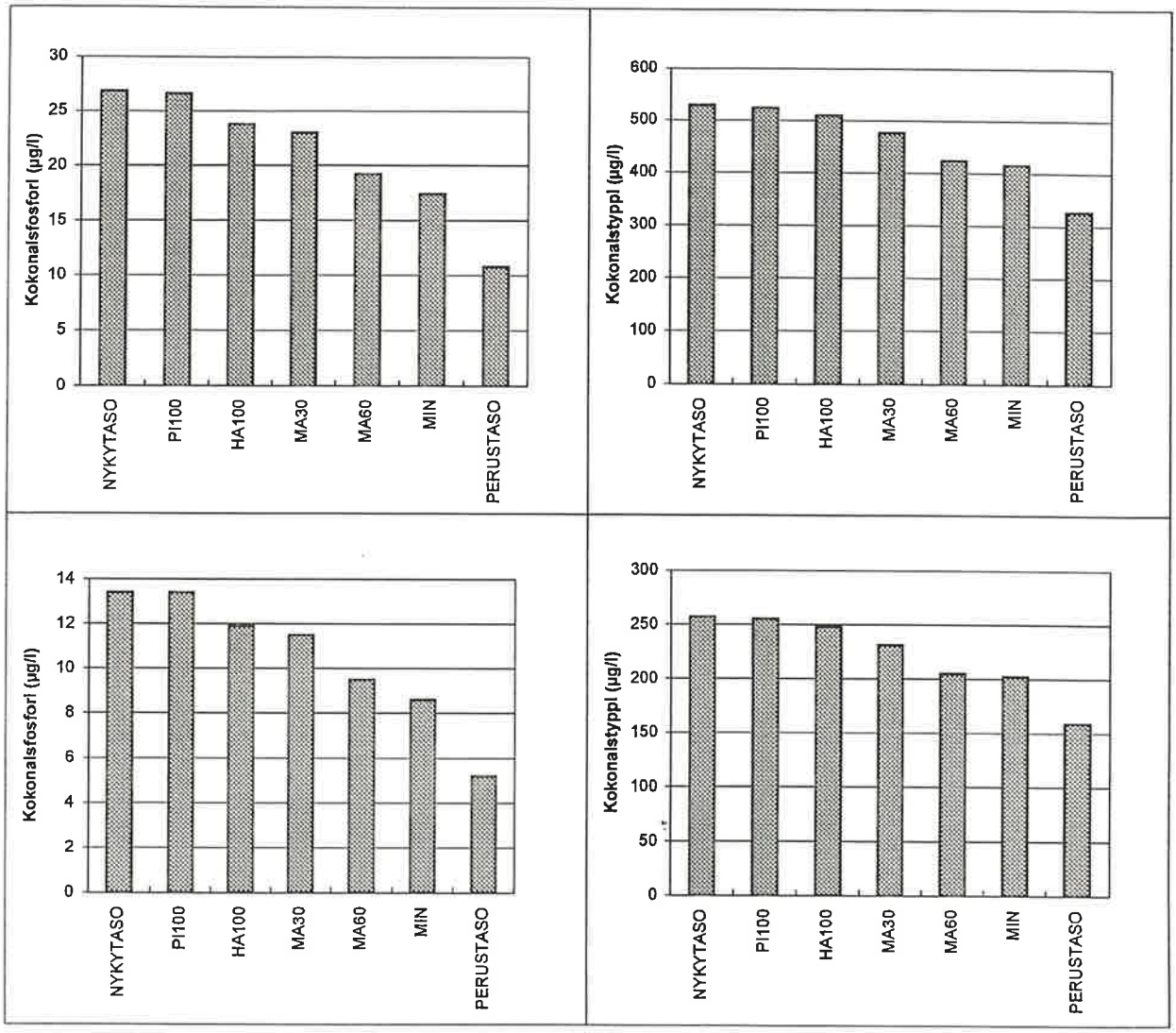
Koska Vesijärvi on matala ja alusveden osuus kokonaistilavuudesta on pieni, järvi on erittäin herkkä rehevöitymään. Vesijärvi jakaantuu morfometrialtaan ja veden laadultaan kahteen osaan. Yläosa - Mutikonsalmesta pohjoiseen - on matala, karikkoinen ja sokkeloinen. Alaosa järvestä muodostaa varsinaisen pääaltaan, jossa sijaitsee mm. järven syvin kohta (39 m, syvännehavaintopaikka 103) Pikonlinnan sairaalan edustalla.

Suomen sisävesissä fosfori on yleensä perustuotantoa rajoittava tekijä. Forsbergin ym. (1978) mukaan kokonaisfosfori on minimitekijä, jos ko. suhde on suurempi kuin 17. Vesijärvessä kokonaistypen ja kokonaisfosforin suhde vuonna 1993 oli keskimäärin 26.

Nykytilassa keskimääräinen kokonaisfosforipitoisuus (27 $\mu g\ l^{-1}$) Vesijärven yläosassa ylittää selvästi rehevöitymiskehityksen kriittisen raja-arvon (kuva 18), joka Dillonin (1975) mukaan on 20 $\mu g\ l^{-1}$. Normaalivuosina leväkukintoja on odotettavissa kuormituksen pysyessä nykyisellä tasolla.

Kuormituksen vähentämistoimenpiteiden vaikutuksia tarkastellessa voidaan havaita, että minkään yksittäisen kuormituslähteen realistinen vähennys ei riitä saamaan yläosan veden laatua niin hyväksi, että normaalivuosinakaan leväkukintoja ei olisi odotettavissa. Koska Vesijärven yläosan valuma-alueen, vesitilavuuden ja viipymän suhde on sellainen, että allas on hyvin herkkä rehevöitymiselle, on veden laadun parantamiseksi tehtävä kaikki mahdollinen eli kuormituksen vähentämistoimenpiteet on kohdistettava kaikkiin kuormituslähteisiin.

Alasosan tilanne on periaatteessa parempi ja keskimääräinen kokonaisfosforipitoisuus on jo nykytilanteessa alle kriittisen raja-arvon (alle 20 $\mu g\ l^{-1}$). Poikkeuksellisina sää- ja valuntavuosina edellytykset voivat olla kuitenkin sopivat pitkäaikaisille leväkukinnoille. Alueellisesti kuormituspisteiden lähistöllä kukintoja voi myös esiintyä. Alaosa on periaatteessa jonkin verran huonommassa asemassa kuin kokonaisfosforipitoisuuksista voisi päätellä. Kasvukauden ulkopuolella ja osaksi levien kasvuaikanakin yläosasta virtaa sedimentoitumatta leville käyttökelpoisessa muodossa olevaa liukoista ortofosfaattia, joka tasoittaa ylä- ja alaosan levätuotannon edellytyksiä. Lisäksi Vesijärven eteläosa on suhteellisen kirkasvetinen, näkösyvyys voi olla kesällä jopa neljä metriä. Tästä syystä perustuotanto voi pinta-alayksikköä kohden olla suuri, kuten koko Längelmäveden vesistöreitillä.



Kuva 18. Kuormituksen vähentämisen vaikutus Vesijärven yläosan (yläkuva) ja alaosan (alakuva) kokonaisfosforin ja kokonaistypen pitoisuuksiin. Kuormitusvaihtoehtojen tunnukset on selitetty taulukossa 15.

Kirjallisuus

Arvela, H., Markkanen M. & Lemmelä, H. 1990. Mobile survey of environmental gamma radiation and fall-out levels in Finland after the Chernobyl accident. Radiation Protection Dosimetry 32, 3, 177-184.

Bilaletdin, Ä., Frisk, T., Koskinen, K. & Wirola H. 1991. Längelmäveden reitin vesiensuojelututkimus. Helsinki, vesi- ja ympäristöhallitus. 70 s. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 348.

Dillon, P.J. 1975. The phosphorus budget of Cameron Lake, Ontario: The importance of flushing rate to the degree of eutrophy of lakes. Limnol. Oceanogr. 20 vol., nro 1, s. 28-39.

Ekholm, P. 1992. Maatalouden ravinnekuormituksen vaikutukset rannikkovesissä. Julkaisussa: Rekolainen, S. & Kauppi, L. (toim.). Maatalous ja vesien kuormitus. Yhteistutkimus-projektin tutkimusraportit. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 359.

Forsberg, C., Ryding S-O, Claesson, A. & Forsberg, A. 1978. Water chemical analyses and/or algal assay? - Sewage effluent and polluted lake water studies. Mitt. Int. Ver. Limnol. 21:352-363.

Granberg, K., Bibiceanu, S. & Palomäki, A. 1992. Kangasalan Vesijärven biologiset tutkimukset vuosina 1990-1992. Jyväskylän yliopisto, Ympäristöntutkimuskeskus. 11 + 18 s. (Moniste)

Krogerus, K. & Bilaletdin Ä. 1994. Kyrösjärven, Parkanonjärven ja Jämijärven vesiensuojelusuunnitelma. Helsinki, vesi- ja ympäristöhallitus. 71 s. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 174.

Meriläinen, J.J., Hynynen, J., Witick, A. & Reinikainen P. 1994. Kangasalan Vesijärven ympäristöhistoria: Paleolimnologinen sedimenttitutkimus. Jyväskylän yliopisto, Ympäristöntutkimuskeskus. 16 s. (Moniste)

Puustinen, M., Merilä, E., Palko, J. & Seuna, P. 1994. Kuivatustila, viljelykäytäntö ja vesistökuormitukseen vaikuttavat ominaisuudet Suomen pelloilla. Helsinki, vesi- ja ympäristöhallitus. 323 s. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 198.

Rantavaara A, Klemola S, Saxén R, Ikäheimonen T.K. and Moring M. 1994. Radionuclide analysis of environmental field trial samples at STUK, Report on Task FIN A 847 of the Finnish Support Programme to IAEA Safeguards. Helsinki, Finnish Centre for radiation and Nuclear Safety. Report STUK-YTO-TR 75.

Salo, Hannu 1991. Kangasalan Vesijärven kalastotutkimus. Jyväskylän yliopisto, Ympäristöntutkimuskeskus. 18 s. (Moniste)

Saura, Matti 1990. Metsätalous vesistöjen rehevöittäjänä. Helsinki, vesi- ja ympäristöhallitus, 60 s. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 412.

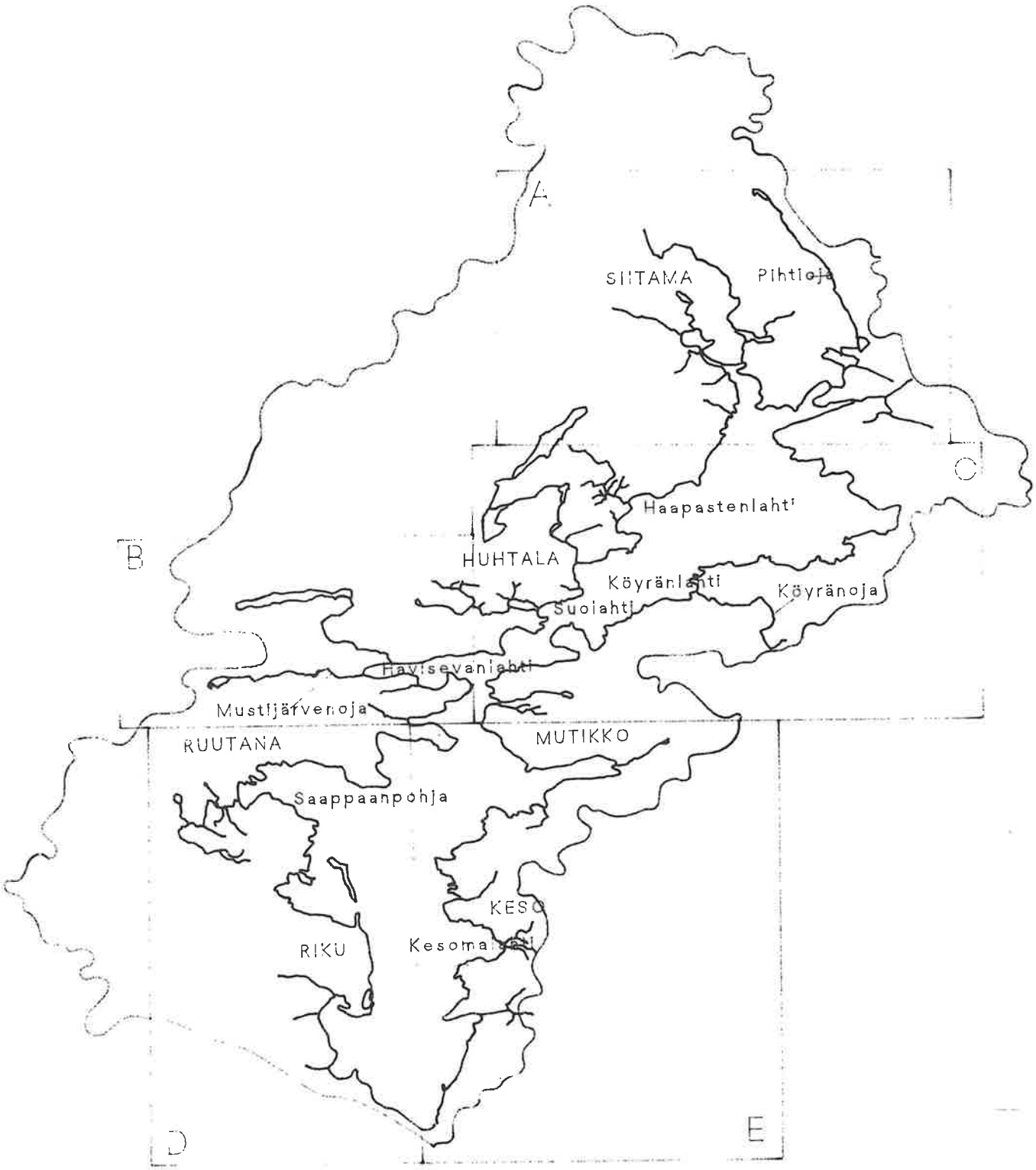
Saxén R. 1990. Radioactivity of surface water and freshwater fish in Finland in 1987. Helsinki, Säteilyturvakeskus. Report STUK-A77.

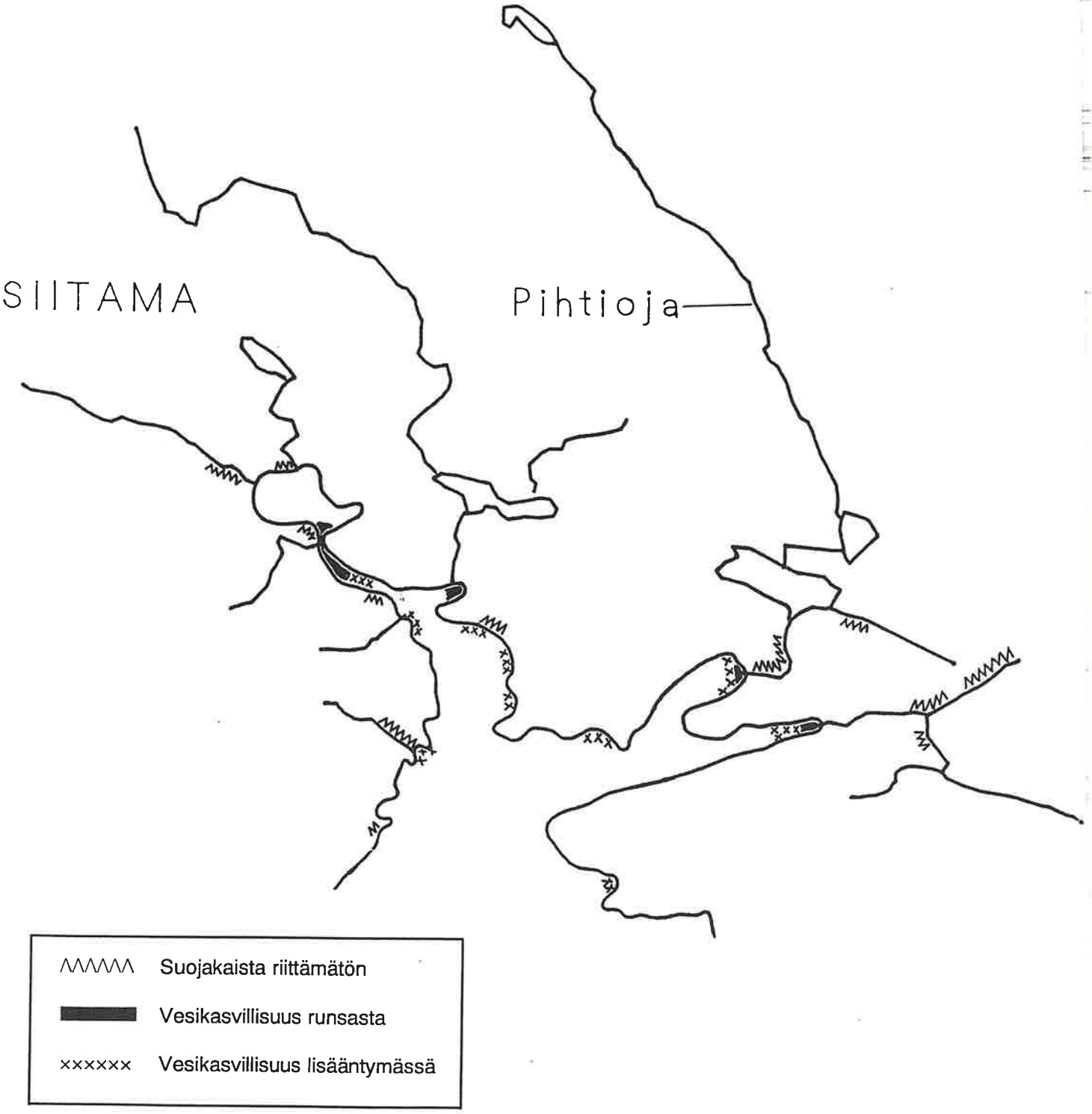
Saxén R. and Koskelainen U. 1992. Radioactivity of surface water and freshwater fish in Finland in 1988-1990. Helsinki, Säteilyturvakeskus. Report STUK-A94.

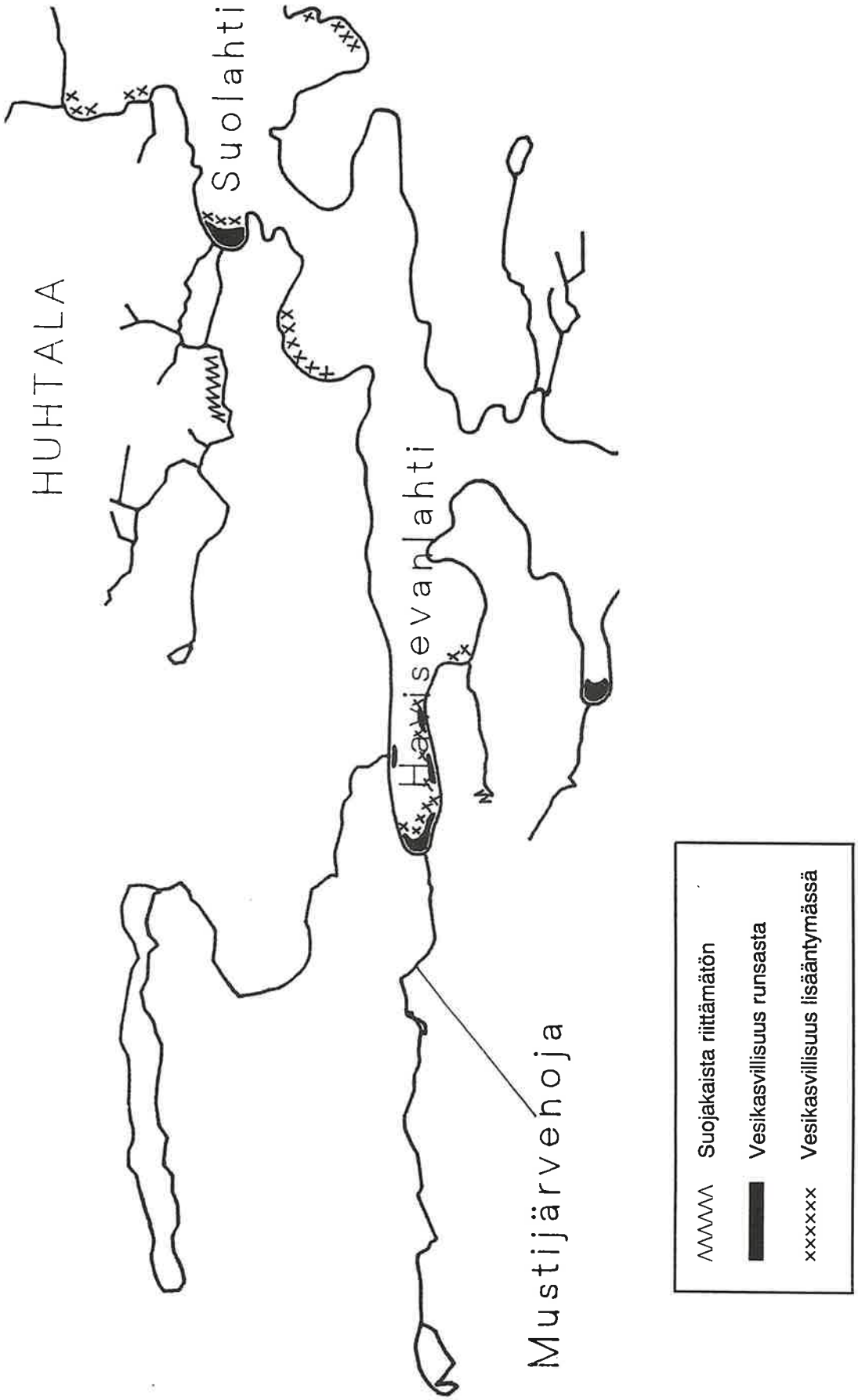
Muut tutkimukset

Vesijärven tarkkailu v. 1989, Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys
Vesijärven biologiset tutkimukset 1990-1992, Jyväskylän yliopisto, Ympäristöntutkimuskeskus
Vesijärven kalastotutkimus v. 1991, Jyväskylän yliopisto, Ympäristöntutkimuskeskus
Kangasalan kunnan haja-asutuksen vesihuollon perusselvitys v. 1992, Kangasalan kunta
Vesijärven suojakaistat v. 1993 keväällä, Kangasalan kunta
Vesijärven ympäristöhistoria: paleolimnologinen sedimenttitutkimus, Jyväskylän yliopisto, Ympäristöntutkimuskeskus

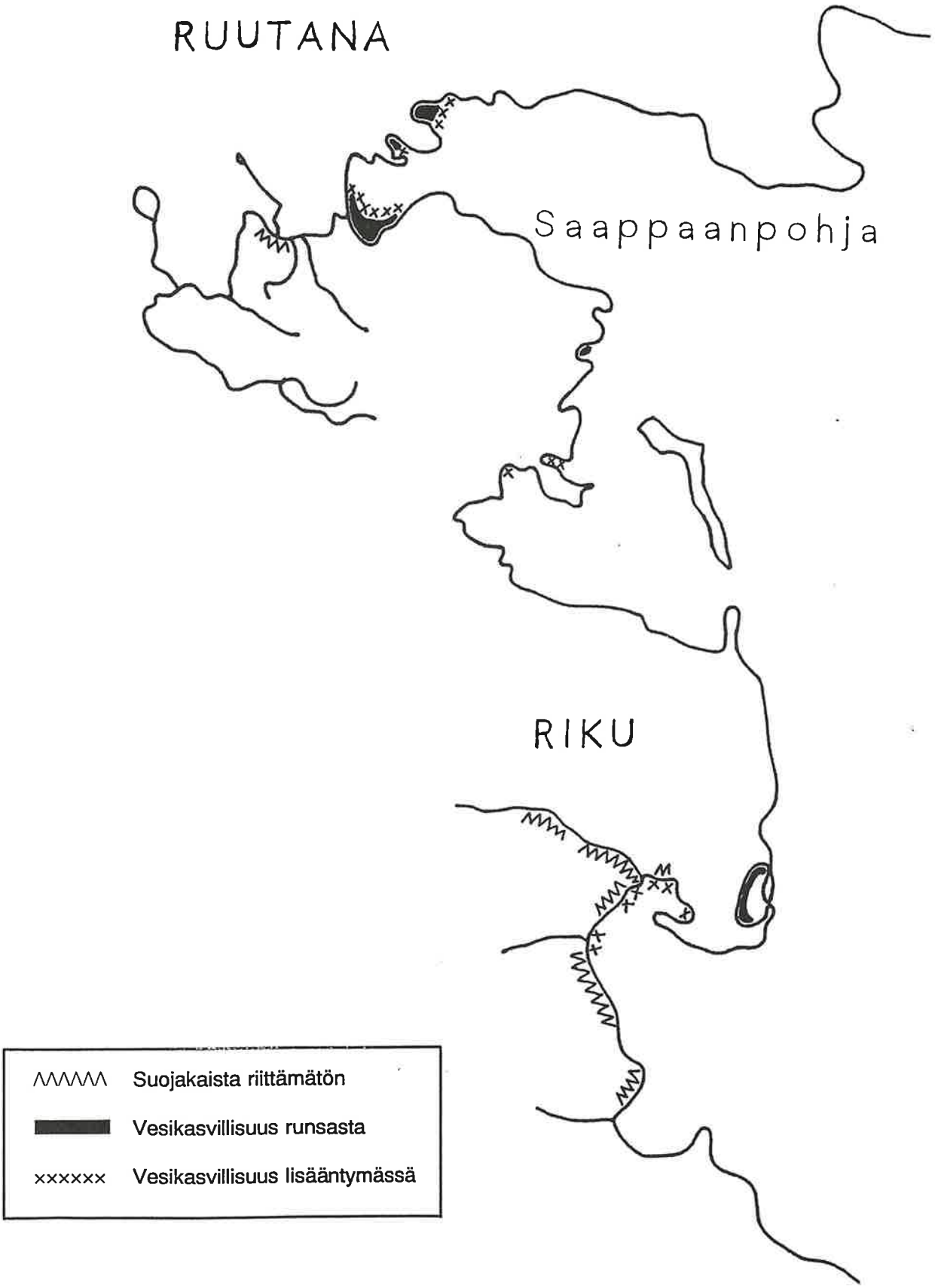
LIITE 1. Vesijärven ja siihen laskevien purojen suojakaistat

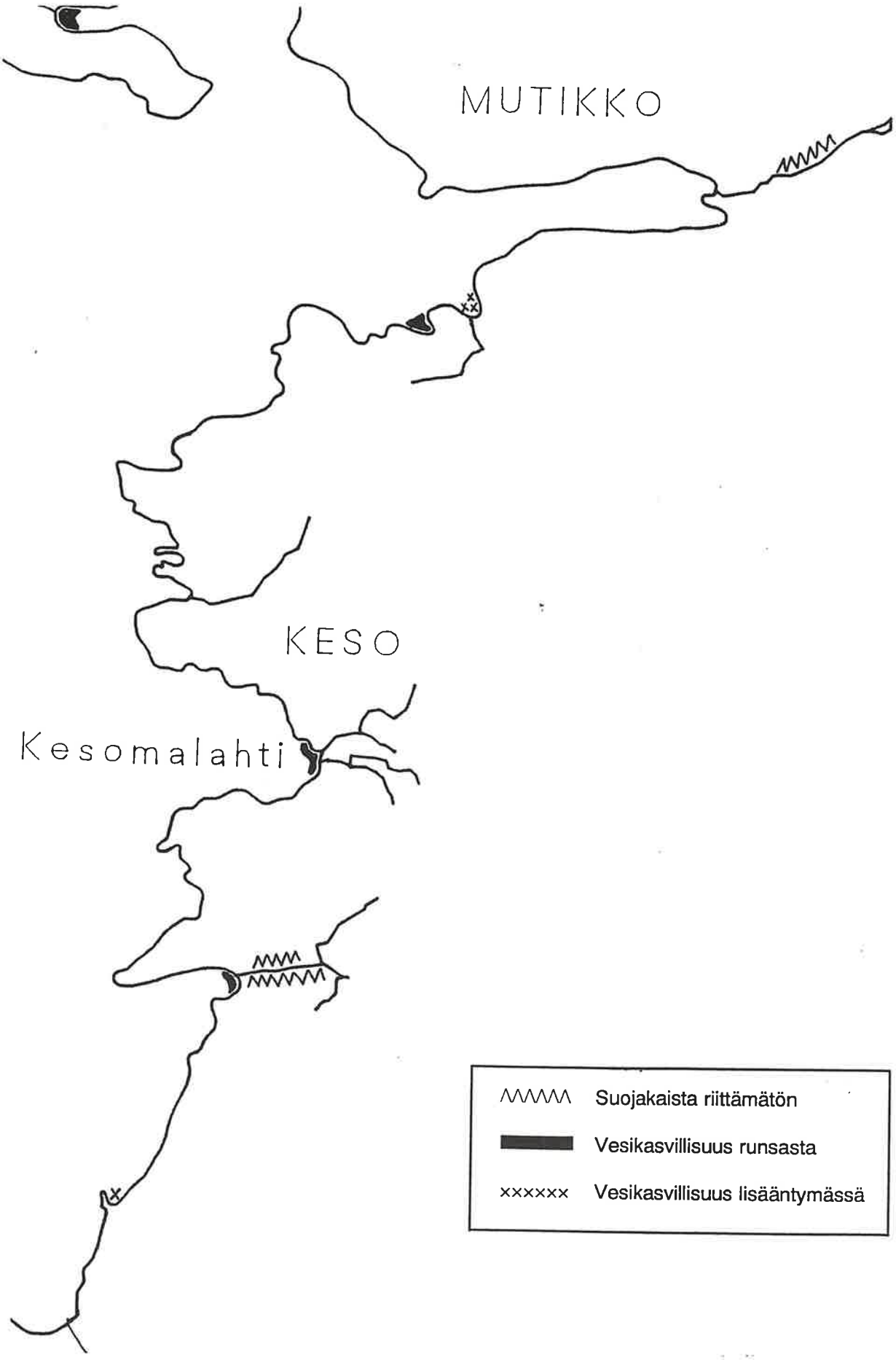



SIITAMA
Pihtioja
Suojakaista riittämätön
Vesikasvillisuus runsasta
Vesikasvillisuus lisääntymässä

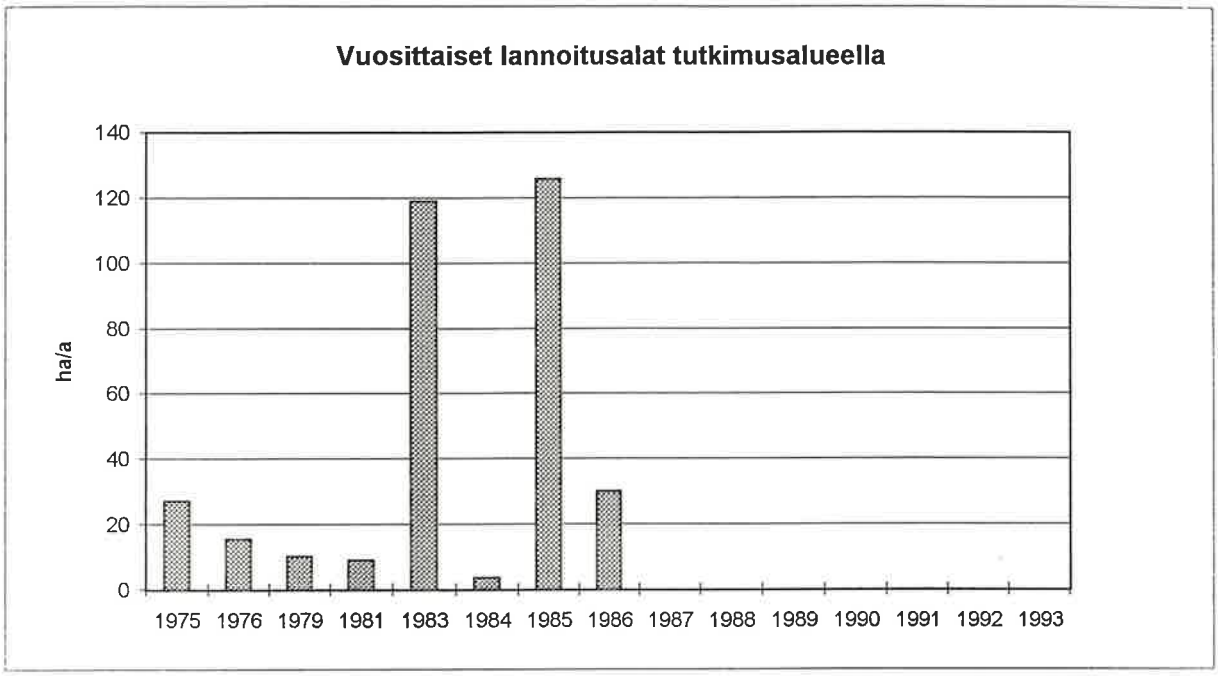

HUHTALA
Suolahti
Haavisevanlahti
Mustijärvenoja
Suojakaista riittämätön
Vesikasvillisuus runsasta
Vesikasvillisuus lisääntymässä

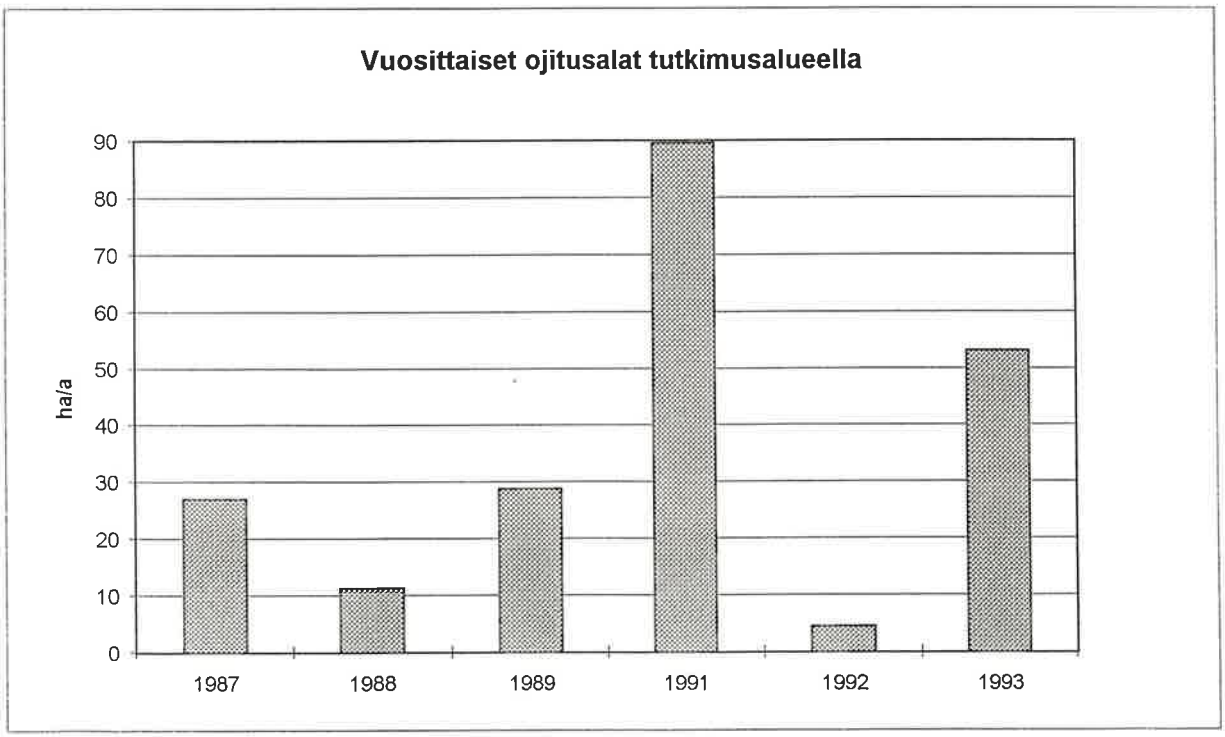
Haapastenlahti
Köyränlahti
Suolahti
Köyränoja
Suojakaista riittämätön
Vesikasvillisuus runsasta
Vesikasvillisuus lisääntymässä


RUUTANA
Saappaanpohja
RIKU
Suojakaista riittämätön
Vesikasvillisuus runsasta
Vesikasvillisuus lisääntymässä

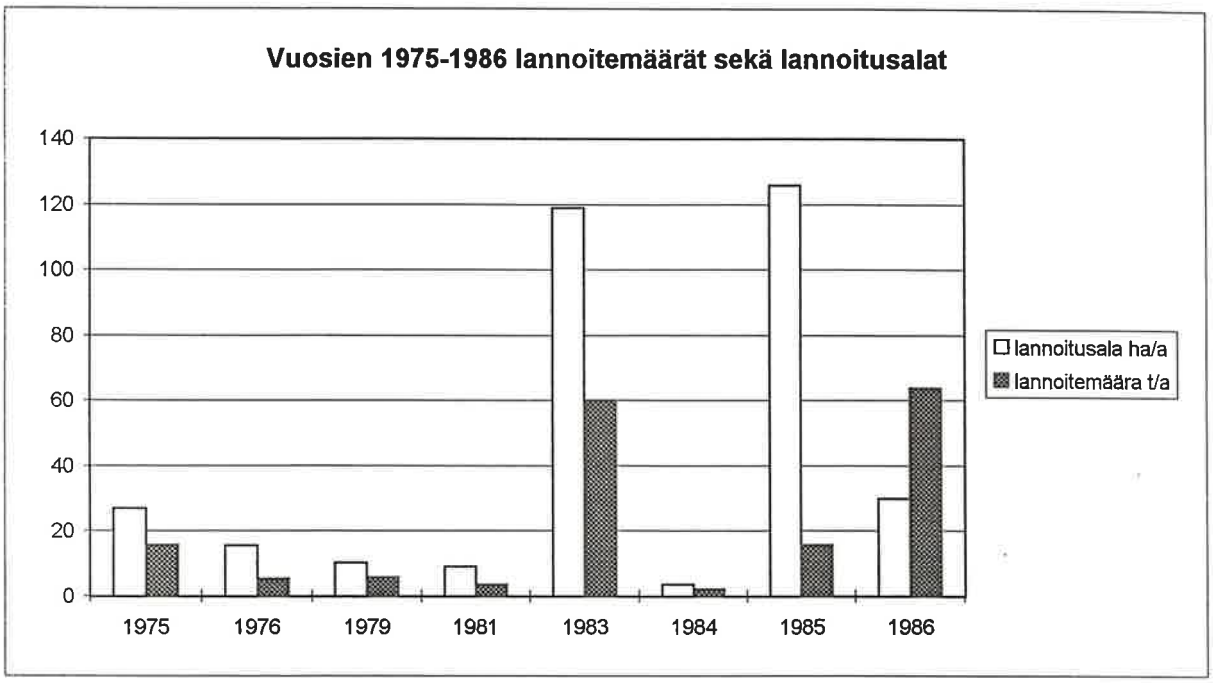

MUTIKKO
KESO
Kesomalahti
Suojakaista riittämätön
Vesikasvillisuus runsasta
Vesikasvillisuus lisääntymässä

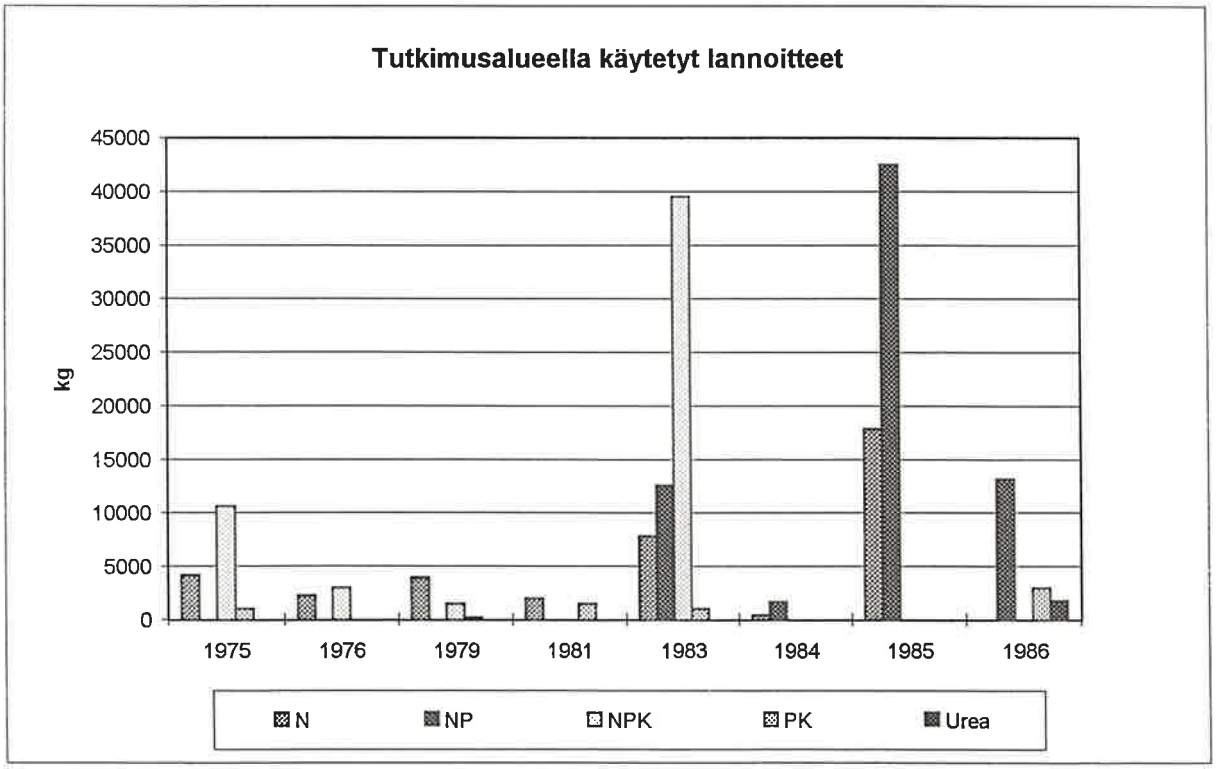
LIITE 2. Vesijärven valuma-alueen metsien lannoitus- ja ojitusalat vuosittain.





LIITE 3. Vuosien 1976-86 metsien lannoitemäärät (t a^{-1}) ja lannoitusalat (ha a^{-1}) sekä käytetyt lannoitteet (kg) Vesijärven valuma-alueella.





LIITE 4. Ravinnekuormitus valuma-alueilta kuormituslähteittäin vuonna 1993.

Fosfori

	Ala	Maatalous	Perushuuhtouma	Haja-asutus	Pistekuormitus	Metsätalous	yhteensä
	km²	kg/km² a	kg/km² a	kg/km² a	kg/km² a	kg/km² a	kg/km² a
Alaosa	60.10	9.87	3.77	2.77	0.14	0.20	16.75
Yläosa muu	111.70	4.98	2.90	1.39	0.05	0.20	9.51
Köyränoja	3.25	24.54	5.10	2.22	0.00	0.23	32.10
Pihtioja	2.75	0.00	4.41	0.00	0.00	0.09	4.51
Mustij.oja	1.48	0.00	3.92	11.62	0.00	0.00	15.54

Fosfori

	Maatalous	Perushuuhtouma	Haja-asutus	Pistekuormitus	Metsätalous	yhteensä
	kg/a	kg/a	kg/a	kg/a	kg/a	kg/a
Alaosa	593	227	166	8	12	1007
Yläosa muu	556	324	155	6	22	1062
Köyränoja	80	17	7	0	1	104
Pihtioja	0	12	0	0	0	12
Mustij.oja	0	6	17	0	0	23

Fosfori

	Maatalous	Perushuuhtouma	Haja-asutus	Pistekuormitus	Metsätalous	yhteensä
	kg/d	kg/d	kg/d	kg/d	kg/d	kg/d
Alaosa	1.625	0.621	0.456	0.023	0.033	2.758
Yläosa muu	1.524	0.887	0.425	0.015	0.061	2.910
Köyränoja	0.219	0.045	0.020	0.000	0.002	0.286
Pihtioja	0.000	0.033	0.000	0.000	0.001	0.034
Mustij.oja	0.000	0.016	0.047	0.000	0.000	0.063

Typpi

	Ala	Maatalous	Perushuuhtouma	Haja-asutus	Pistekuormitus	Metsätalous	yhteensä
	km²	kg/km² a	kg/km² a	kg/km² a	kg/km² a	kg/km² a	kg/km² a
Alaosa	60.10	152.55	83.61	18.72	3.43	1.16	259.47
Yläosa muu	111.70	73.12	71.46	10.39	3.42	0.13	158.52
Köyränoja	3.25	419.86	109.20	14.65	0.00	1.66	545.37
Pihtioja	2.75	0.00	102.28	0.00	0.00	0.25	102.53
Mustij.oja	1.48	0.00	98.81	91.59	0.00	0.00	190.40

Typpi

	Maatalous	Perushuuhtouma	Haja-asutus	Pistekuormitus	Metsätalous	yhteensä
	kg/a	kg/a	kg/a	kg/a	kg/a	kg/a
Alaosa	9168	5025	1125	206	70	15594
Yläosa muu	8168	7982	1161	382	15	17707
Köyränoja	1365	355	48	0	5	1772
Pihtioja	0	281	0	0	1	282
Mustij.oja	0	146	136	0	0	282

Typpi

	Maatalous	Perushuuhtouma	Haja-asutus	Pistekuormitus	Metsätalous	yhteensä
	kg/d	kg/d	kg/d	kg/d	kg/d	kg/d
Alaosa	25.119	13.767	3.082	0.565	0.191	42.724
Yläosa muu	22.377	21.869	3.180	1.047	0.040	48.511
Köyränoja	3.738	0.972	0.130	0.000	0.015	4.856
Pihtioja	0.000	0.771	0.000	0.000	0.002	0.772
Mustij.oja	0.000	0.401	0.371	0.000	0.000	0.772

Kuvailulehti

Julkaisija	Hämeen ympäristökeskus
Julkaisuaika	Kesäkuu 1996
Tekijä(t)	Kirsti Krogerus, Ämer Bilaletdin, Raini Kiukas, Ritva Saxen ja Marita Karling
Julkaisun nimi	Vesijärven kuormitusselvitys (Kangasala) 1.4.1996
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut	
Tiivistelmä	Vesijärvi-projektissa selvitettiin Vesijärven tila ja järveen tuleva kuormitus vuonna 1993. Selvityksessä laskettiin järven ainetaseet ja mallilaskelmien avulla arvioitiin vesiensuojelutoimenpiteiden tarvetta. Vesijärven pohjoisaltaan veden laatu oli vuonna 1993 hyvän ja tyydyttävän rajoilla. Keskimääräinen fosforipitoisuus ylittää rehevöitymiskehityksen kriittisen raja-arvon. Eteläaltaan vesi oli laadultaan hyvää. Vesijärveen tulevan kokonaisfosforin määrästä 46 % on peräisin maataloudesta, 22 % perushuuhtoumasta. Ilmasta tulevan laskeuman osuus on 17 % ja haja- ja loma-asutuksen 13 %. Fosforikuormitusta voidaan laskea myös tarkastelemalla sitä kuormituksen osaa, jonka voidaan labratoriokokeiden perusteella olettaa olevan leville välittömästi käyttökelpoisessa muodossa. Näin tarkastellen perushuuhtouman osuus on 37 %, maatalouden 24 % ja haja- ja loma-asutuksen 22 %. Kokonaistyppikuormituksesta maatalouden osuus on 32 % ja ilmasta laskeutuvan typen 39 %. Minkään yksittäisen toimenpiteen ei arvioitu riittävän muuttamaan Vesijärven pohjoisaltaan tilaa niin hyväksi, että leväkukintoja ei olisi odotettavissa. Tilan parantamiseksi on tehtävä kaikki mahdollinen. Vesijärven eteläaltaan tilanne on nykyiselläänkin varsin hyvä, mutta sitäkin on mahdollista parantaa.
Asiasanat	vesiensuojelu, hajakuormitus, ainetasemalli, Kangasalan Vesijärvi
Julkaisusarjan nimi ja numero	Alueelliset ympäristöjulkaisut 10
Julkaisun teema	
Projektihankkeen nimi ja projektinumero	Kangasalan Vesijärvi-projekti
Rahoittaja/ toimeksiantaja	Hämeen ympäristökeskus, Kangasalan kunta, Oriveden kaupunki
Projektiryhmään kuuluvat organisaatiot	Kangasalan kunta, Oriveden kaupunki, Hämeen ympäristökeskus, Maataloustuottajat, 4H-yhdistys, Vihtiälän-Suomatkan ranta-asukasyhdistys, Vesijärven kalastushoitoyhdistys ry.
ISSN	1238-8610
ISBN	952-11-0040-0
Sivuja	58
Kieli	Suomi
Luottamuksellisuus	julkinen
Hinta	
Julkaisun myynti/ jakaja	Hämeen ympäristökeskus, puhelin (917) 62 221, 1.9.1996 alkaen (03) 2420 111
Julkaisun kustantaja	Hämeen ympäristökeskus ja Kangasalan kunta
Painopaikka ja -aika	Sisus: Suomen ympäristökeskuksen monistamo, Helsinki 1996 Kannet: Oy Edita Ab, Helsinki 1996
Muut tiedot	

Documentation page

Publisher	Regional Environmental Agency of Häme
Date	June 1996
Author(s)	Kirsti Krogerus, Ämer Bilaletdin, Raini Kiukas, Ritva Saxen and Marita Karling
Title of publication	Nutrient loading research of Lake Vesijärvi (Kangasala) 1.4.1996
Parts of publication/ other project publications	
Abstract	In the project research on Lake Vesijärvi water quality and loading was carried out in the year 1993. Mass balance calculations for phosphorus and nitrogen were made. Need of water protection measures were evaluated according to model calculations. Water quality in the northern basin of Lake Vesijärvi was between good and satisfactory in 1993. Mean phosphorus concentration is over the critical value for eutrophication. Water quality in the southern basin was good. Of the total phosphorus loading 46 % originates from agriculture, 22 % from basic leaching. Precipitation is 17 % and the contribution of rural population and summer cottages 13 %. Phosphorus loading can also be calculated by estimating first the amount of phosphorus which is straight available to algae according to laboratory tests. In this way the basic leaching is 37 %, the contribution of agriculture 24 % and rural and summer population 22 %. Of the total nitrogen loading 32 % originates from agriculture and 39 % comes from precipitation. No single measure will be sufficient for improving the water quality in the northern basin so much that algae blooms would not appear but all possible measures must be taken. The situation in the southern basin is already quite good but also here improvement can be achieved.
Keywords	water protection, diffuse loading, mass balance model, Lake Vesijärvi in Kangasala
Publication series and number	Regional Environmental Publications 10
Theme of publication	
Project name and number, if any	
Financier/ commissioner	Kangasala commune, Orivesi city, Regional Environmental Agency of Häme
Project organization	
ISSN	1238-8610
ISBN	952-11-0040-0
No. of pages	58
Language	Finnish
Restrictions	Public
Price	
For sale at/ distributor	Regional Environmental Agency of Häme
Financier of publication	Regional Environmental Agency of Häme and Kangasala commune
Printing place and year	Edita Ltd, Helsinki 1996
Other information	