

Espoon ympäristölautakunnan julkaisu 5/2001

POHJOIS-ESPOON JÄRVIEN HAPPAMOITUMISKEHITYKSESTÄ VUONNA 2000

Satu Vuorikoski
Suunnittelukeskus Oy

Espoon ympäristölautakunta
Espoo 2001

KUVAILULEHTI

Julkaisija	Espoon ympäristölautakunta		Julkaisun päivämäärä 15.5.2001
Tekijä	Satu Vuorikoski, Suunnittelukeskus Oy		
Julkaisun nimi	Pohjois-Espoon järvien happamoitumiskehityksestä v. 2000		
Tiivistelmä	<p>Työssä tarkasteltiin veden laadun muutoksia erityisesti happamoitumiskehityksen kannalta yhteensä 52 Pohjois-Espoon ja Vihdin järvessä. Tutkimus on jatkoa vuosina 1984 ja 1989 tehdyille Nuuksion ylängön järvien happamoitumistilannetta tarkastelleille selvityksille.</p> <p>Vesinäytteet otettiin 45 järvestä yhden metrin syvyydestä syystäyskierron aikana veden lämpötilan ollessa noin 6 - 8 °C. Näytteitä ei otettu valtakunnalliseen happamoitumis seurantaan kuuluvista seitsemästä järvestä, vaan niiden osalta tulosten tarkasteluun sisällytettiin viimeisimmät käytettävissä olevat vastaavan ajankohdan vedenlaatu havainnot.</p> <p>Tutkitut vedenlaatutekijät antoivat happamoitumiskehityksestä pääpiirteittäin samansuuntaisen kuvan kuin pohjoismaisissa järvissä yleisemmin 1980-luvulla. Alkaliteetin ilmentämä puskurikyky oli järvissä keskimäärin 0,014 mmol/l, osoittaen selkeää happamoitumisalttiutta ja puskurikyvyn laskevaa suuntausta edelliseen vuoden 1989 seuranta havaintokertaan verrattuna. Aiempaa useammassa järvestä alkaliteetti oli laskenut negatiiviseksi merkiten käytännössä bikarbonaattiin perustuvan puskurikyvyn puuttumista. Veden happamuuden eli pH-arvon perusteella tilanne vastasi vuosia 1984 ja 1989.</p> <p>Laajemman valtakunnallisen pintavesien happamoitumis seurannan lailla Nuuksion järvi aineistossa oli erotettavissa happamoittavan rikkikuormituksen vähenemää ilmentävä sulfaattipitoisuuden lasku. Yleiseen kuormituksen vähenemiseen viittasi myös sähköjohtokyvyn lievä aleneminen. Lisäksi tutkittujen maa-alkali- ja alkalimetallien pitoisuuksissa oli pitemmällä aikavälillä nähtävissä merkkejä pitoisuustason vähäisestä alenemisesta.</p> <p>Kokonaisuutena näissä erityisen happamoitumisherkiksi katsotuissa ja sijaintinsa takia suuremmalle kuormitukselle altistuneissa Nuuksion ylänköalueen järvissä ei ollut kolmen seurantavuoden tulosten perusteella nähtävissä Pohjoismaiden järvien 1990-luvun kaltaista selkeämpää happamoitumisesta toipumista. Tulosten antama kuva poikkeaa siten vuosien 1987 - 1998 valtakunnallisen, vuosittaiseen näytteenottoon perustuvan happamoitumis seurantatutkimuksen antamasta. Kyseisessä tutkimuksessa alkaliteettitulokset ovat osoittaneet tilastollisesti merkitsevän positiivisen pitkäaikaismuutoksen yleisemmin, mukaan lukien mm. nyt tutkitut Kattilajärvi, Orajärvi, Velskolan pohjoinen Hauklampi, Saaren Musta ja Iso Lehmälampi. Tämä ero korostaa mahdollisimman moneen havaintoon perustuvien aikasarjojen merkitystä ja luotettavuutta pitemmän ajanjakson kehitysuuntia arvioitaessa ja viittaa edelleen puskurikyvyn toipumista ilmentävän kehityksen mahdollisuuteen myös useammassa nyt tutkituista järvistä, mikäli käytettävissä olisi vastaava tiheämpään havainnointiin pohjautuva tulossarja. Väriluvun mukaan tutkitut Espoon ja Vihdin järvet olivat keskimäärin humuspitoisia ja ravinne pitoisuuksien suhteen aiempaa vastaten pääasiassa karuja.</p>		
Avainsanat	alkaliteetti, Espoo, happamoituminen, järvet, Nuukio, rikkilaskeuma, vedenlaatu.		
Sarja	Espoon ympäristölautakunnan julkaisu	ISBN 951-857-421-9	ISSN 1456-2316
Sivuja	16+21		
Painopaikka	Espoon kaupungin painatuskeskus, Espoo		

PRESENTATIONSBLAD

Utgivare	Esbo stads miljönämnd	Utgivningsdatum 15.5.2001	
Författare	Satu Vuorikoski, Suunnittelukeskus Oy		
Publikationens namn	Pohjois-Espoon järvien happamoitumiskehityksestä v. 2000 (Försurningen i sjöarna i norra Esbo år 2000)		
Sammandrag	<p>Vi undersökte förändringar i vattenkvaliteten, i synnerhet försurningen, i 52 sjöar i norra Esbo och Vichtis. Undersökningen är en fortsättning på utredningar 1984 och 1989 om försurningen i sjöarna på Nouxplatån.</p> <p>Vi tog vattenprov under höstcirkulationen från en meters djup i 45 sjöar vars temperatur var 6-8 °C. I de sju sjöar som ingår i den rikstäckande övervakningen av försurningen tog vi inga prover, utan använde i stället denna undersöknings färskaste observationer i dessa sjöar vid motsvarande tid på året.</p> <p>Sjöarna har på basis av de undersökta kvalitetsfaktorerna försurats enligt i stort sett samma mönster som sjöar i Norden i allmänhet under 90-talet. Ett mått på vattnets buffringsförmåga, d.v.s. motståndskraft mot försurning, är dess alkalitet. Den var i genomsnitt 0,014 mmol/l, vilket är klart mindre än 1989. I fler sjöar än tidigare var alkaliteten negativ, vilket innebär att de saknar på bikarbonat baserad buffringsförmåga. Vattnets pH-värde svarade mot 1984 och 1989 års värden.</p> <p>Sulfathalten har liksom i den rikstäckande övervakningen sjunkit också i Noux, vilket indikerar att den försurande svavelbelastningen minskat. Konduktiviteten har minskat en aning, vilket också pekar på mindre belastning. Dessutom tyder resultaten på att jordalkali- och alkalimetallhalterna är i avtagande över en längre period sett.</p> <p>De undersökta sjöarna på Nouxplatån anses särskilt känsliga för försurning och utsätts för stor belastning på grund av sitt läge. På basis av de tre undersökningarna kan i dessa sjöar som helhet inte skönjas en sådan klar återhämtning från försurning som ägt rum i sjöarna i Norden under 1990-talet. Den utveckling som resultaten av undersökningen ger för handen skiljer sig sålunda från den bild som kan utläsas ur den rikstäckande undersökningen, som baserades på årlig provtagning 1987-1998. I denna undersökning indikerar den uppmätta alkaliniteten en statistiskt signifikant positiv förändring på långsikt i sjöarna som helhet, inklusive de nu undersökta Kattilajärvi, Orajärvi, Hauklampi norr om Vällskog, Saaren Musta och Iso Lehmälampi. Denna skillnad betonar betydelsen av och pålitligheten hos tidsserier som baserar sig på möjligast många observationer, vid bedömningen av utvecklingen under en längre tidsperiod. Den pekar också på att man kanske skulle kunna skönja en återhämtning av buffertkapaciteten även i de flesta av de nu undersökta sjöarna, ifall man hade tillgång till en motsvarande serie av tätare observationer. De sjöar i Esbo och Vichtis, vars färgvärde undersöktes, var i genomsnitt humushaltiga och i enlighet därmed huvudsakligen näringsfattiga.</p>		
Ämnesord	alkalitet, Esbo, försurning, sjöar, Noux, surt nedfall, vattenkvalitet.		
Serie	Esbo miljönämnds publikationsserie	ISBN 951-857-421-9	ISSN 1456-2316
Sidor	16+21		
Tryckeri	Esbo stads tryckningscentral, Esbo		

ESIPUHE

Happamoitumista aiheuttaa hapan laskeuma, joka on kansallisten ja kansainvälisten ilmansuojelutoimien seurauksena vähentynyt laajoilla alueilla koko Euroopassa. Happamoitumista aiheuttavia yhdisteitä ovat erityisesti rikkidioksidi ja typen oksidit. Suurin osa happamoittavista päästöistä aiheutuu fossiilisia polttoaineita käyttävästä energiantuotannosta, teollisuudesta ja liikenteestä. Paikallisten päästöjen lisäksi Espoonkin järvien happamoitumiseen vaikuttaa kaukokulkeutuma.

Happamoituminen koettiin ongelmaksi erityisesti 1980-luvulla, jolloin vesistöjen happamoitumista alettiin laajemmin seurata. Nuuksion järviylängön järvet ja lammet ovat erityisen herkkiä happamoitumaan, ja Espoon ympäristökeskus onkin seurannut Nuuksion järvien happamoitumistilannetta vuodesta 1984 lähtien. Tämä vuonna 2000 tehty laaja kartoitus on jatkoa vuosina 1984 ja 1989 tehdyille selvityksille. Viime aikojen tulokset ovat rohkaisevia, sillä happamoitumiskehitys näyttää taittuneen osassa järviä. Happamoitumista pidetäänkin usein jo voitettuna ympäristöongelmana. Vielä ei ole kuitenkaan syytä huokaista helpotuksesta, sillä happamoituminen saattaa edetä pitkään päästöjen vähentymisen jälkeen.

Ympäristölautakunta haluaa kiittää selvityksen tekijää. Toivottavasti lisääntyvä tieto ympäristön tilasta vaikuttaa myös asenteisiin ja toimintaan siten, että yhteiset vesistömme säilyvät luonnontilaisina ja virkistyskäyttöön houkuttelevina myös tuleville sukupolville.

Juhani Kytö
Ympäristölautakunnan puheenjohtaja

Ritva Veijonen
Ympäristönsuojelupäällikkö

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO.....	6
2	TUTKIMUSALUEEN KUVAUS.....	6
3	AINEISTO JA MENETELMÄT.....	6
4	TULOKSET.....	7
5	VEDEN LAADUN KEHITYS.....	9
5.1	Alkaliteetti.....	9
5.2	Veden pH.....	9
5.3	Sulfaatti.....	9
5.4	Happikyllästys ja väriluku.....	9
5.5	Sähkönjohtokyky.....	10
5.6	Alumiini.....	10
5.7	Maa-alkali- ja alkalimetallit.....	10
5.8	Ravinnepitoisuudet.....	11
6	HAPPAMOITUMISHERKKYYDESTÄ.....	11
7	YHTEENVETO.....	14
	KIRJALLISUUS.....	15

LIITTEET (Ei sähköisessä muodossa)

1. Tutkimusjärvien sijainti
2. Käytetyt vesianalyysimenetelmät vuonna 2000
3. Järvikohtaiset vedenlaatutulokset vuosilta 1984, 1989 ja 2000
4. Järvien väri-, pH-, alkaliteetti-, sulfaatti-, kokonaistyyppi- ja kokonaisfosforihavaintojen sekä happamoitumisherkkyysluokitusten jakaumat
5. Alkaliteetti-, pH- ja sulfaattitulokset v. 1984-2000 kuvina

1 JOHDANTO

Happamoitumiskehityksessä valuma-alueen maaperän ja vesistön kyky vastustaa ilmaperäistä happanta laskeumaa heikentyy kuormituksen ylittäessä ns. kriittisen tason. Alueellisten päästölähteiden lisäksi happaman laskeuman suuruuteen vaikuttaa oleellisesti kaukokulkeutuminen. Happamoitumiselle herkimpiä ovat tyypillisesti pienikokoiset, karut ja kirkasvetiset kallioalueiden tai ohuiden maaperäkerrosten latvavesistöt ja suljetut järvet, kun taas humusjärvissä, rehevissä järvisä, savi- ja silttimaiden järvisä sekä läpivirtausjärvissä luontainen happamoitumisen vastustuskyky on parempi (Kämäri 1984; Puomio 1985).

Happamoitumista aiheuttavia yhdisteitä ovat erityisesti rikkidioksidi (SO₂) ja typen oksidit (NO_x). Merkittävin osa happamoittavista päästöistä aiheutuu fossiilisia polttoaineita käyttävästä energiantuotannosta, teollisuudesta ja liikenteestä (NO_x).

Happamoitumisessa veden puskurikyky ja seuraavassa vaiheessa pH laskevat vasteena sulfaattipitoisuuden kasvuun. Humuksen sedimentoituminen ja ravinteiden saostuminen lisääntyvät johtaen veden kirkastumiseen ja vesistön karuuntumiseen. Myös sähkönjohtokyky, vesieliöille haitalliset alumiini- ja raskasmetallipitoisuudet sekä helposti rapautuvilla alueilla maa-alkalimetallien pitoisuudet usein nousevat (Kortelainen ym. 1990).

Nuuksion ylängön järvien veden laatua on tarkasteltu useissa selvityksissä (mm. Pätilä 1980, 1981, 1982, 1984 ja 1986; Kämäri 1985 ja 1988; Puomio 1985; Tulonen 1985; Forsius 1987; Keto 1988; Peura 1990). Suuressa osassa näistä Espoon ja Vihdin alueella sijaitsevista pienvesistä happamoitumiseen viittaavien muutosten on katsottu olleen selvästi nähtävissä.

Tämä työ on jatkoa kahdelle aiemmalle 52 Nuuksion järven veden laatua erityisesti happamoitumiskehityksen kannalta käsitelleelle tutkimukselle (Pätilä 1984; Peura 1990). Työn tarkoituksena oli erottaa happamoitumiseen liittyviä pitemmän aikavälin kehityssuuntia edellisen vuonna 1989 toteutetun tutkimuksen jälkeen.

2 TUTKIMUSALUEEN KUVAUS

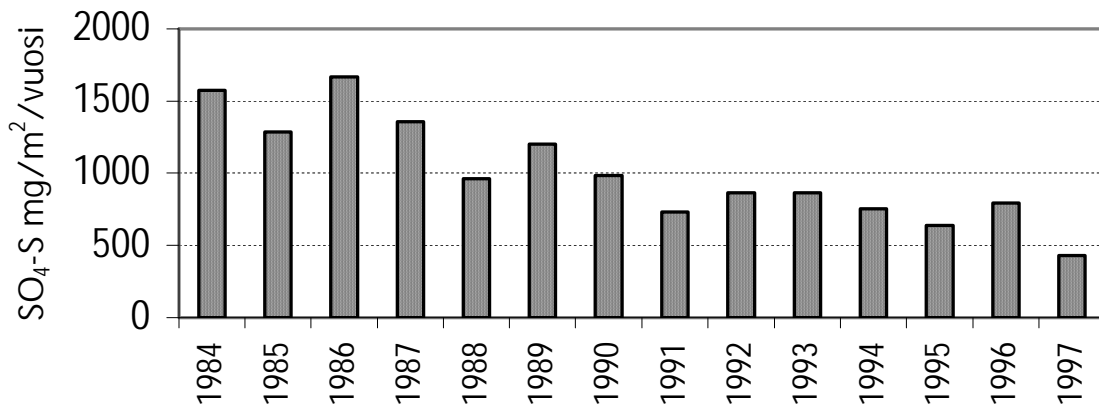
Tutkimuksen kohteena olevat 52 järveä sijaitsevat Vantaanjoen, Espoonjoen ja Mankinjoen valuma-alueiden latvaosissa (liite 1). Järvistä 28:n valuma-alueella ei ole muita järviä.

Tutkimusjärvien pinta-ala on keskimäärin noin 11 ha, valuma-alueen ala 1,1 km², valuma-alueen järvisyys 3 % ja vedenpinnan korkeus merenpinnasta lähes 70 metriä. Valuma-alueilla suhteellisesti vallitsevia ovat kalliit sekä sora- ja moreenimaat. Järvien ja niiden valuma-alueiden ominaisuuksia on kuvattu tarkemmin vuoden 1989 tulosten yhteydessä (Peura 1990).

Kansallisten ja kansainvälisten ilmansuojelutoimien seurauksena hapan laskeuma ja erityisesti rikin määrä on vähentynyt laajoilla alueilla koko Euroopassa (mm. Stoddard ym. 1999). Tutkimusalueen lähellä sijaitsevalla Suomen ympäristökeskuksen Espoon havaintoasemalla sulfaattirikin laskeuma laski alle tason 0,5 g S/m²/vuosi vuonna 1997, osoittaen pitemmällä aikavälillä selvää laskevaa suuntausta (kuva 1, Järvinen & Vänni 1990a-f, 1992a ja b, 1994a ja b, 1996-1998; Vuoremaa ym. 1999).

Arvioita järvien kriittisestä rikkikuormituksesta eli suurimmasta arvosta, jonka alapuolella ei pitkällä aikavälillä aiheudu merkittäviä haitallisia vaikutuksia, on esitetty taulukossa 1. Vuonna 1997

Rikkilaskeuman kehitys Espoossa vuosina 1984 - 1997



Kuva 1. Rikkilaskeuman kehitys Suomen ympäristökeskuksen Espoon havaintoasemalla (nro 45) vuosina 1984 – 1997 (Järvinen & Vänni 1990a-f, 1992a ja b, 1994a ja b, 1996-98; Vuorenmaa ym. 1999).

Espoossa mitattu rikkilaskeuma ylitti kriittiselle kuormitukselle esitetyn arvon ainoastaan korkeintaan 10 %:ssa Etelä-Suomen järvistä (kuva 1, taulukko 1). Kriittiselle kuormitukselle on kuitenkin ominaista huomattava alueellinen vaihtelu (Kämäri ym. 1992) ja Nuuksion ylängön järvet on tullut erityisen happamoitumisherkeiksi.

Taulukko 1. Kriittisen rikkikuormituksen keskimääräisiä arvoja Etelä-Suomen alueen järville laskettuna (Kämäri ym. 1992).

Kriittisen rikkikuormituksen prosentuaalinen jakauma	
1 % järvistä*	0,22 g S/m ² /vuosi**
5 % järvistä	0,33 g S/m ² /vuosi
10 % järvistä	0,46 g S/m ² /vuosi
15 % järvistä	0,51 g S/m ² /vuosi
20 % järvistä	0,55 g S/m ² /vuosi
25 % järvistä	0,60 g S/m ² /vuosi
30 % järvistä	0,64 g S/m ² /vuosi
40 % järvistä	0,71 g S/m ² /vuosi
50 % järvistä	0,79 g S/m ² /vuosi

* Prosenttiosuus ilmoittaa suhteellisen osuuden alueen järvistä, joissa kriittinen kuormitus on kyseisen arvon suuruinen.

** Kuormitusarvot ovat keskiarvoja kolmesta Etelä-Suomen EMEP-ruudusta (ruudut 20 25, 20 26 ja 21 26).

3 AINEISTO JA MENETELMÄT

Vesinäytteet otettiin happamoitumistutkimuksille tyypillisesti syystäyskierron aikana 30.10. - 12.11.2000 välisenä ajankohtana. Veden lämpötila oli metrin syvyydessä 5,5 - 8,0 °C. Näytteet otettiin Limnos-noutimella keskeltä järveä tai syvänteestä, mikäli järven syvyyskartta oli käytettävissä. Näytteenottosyvyys oli 1 m. Näytteenotosta vastasi sertifioitu näytteenottaja.

Näytteenotto käsitti aiempien tutkimusten (Pätälä 1984; Peura 1990) mukaisesti yhteensä 45 Espoossa tai Vihdissä sijaitsevaa järveä. Tutkimusjärvien sijainti on esitetty liitteessä 1.

Näytteitä ei otettu niistä seitsemästä järvestä, jotka kuuluvat valtakunnalliseen happamoitumis seurantaan (11. Ruuhijärvi, 17. Orajärvi, 20. Kattilajärvi, 22. Velskolan pohjoinen Hauklampi, 36.

Saaren Musta, 37. Iso Lehmälampi ja 42. Majalampi). Näistä järvistä tulosten tarkasteluun sisällytettiin vuoden 1999 valtakunnallisen seurannan syystäyskierron aikaiset tulokset (näytteenottoavm 2.11. - 16.11.1999). Vuoden 2000 vastaavat analyysitulokset eivät valmistuneet ajoissa.

Näytteet analysoitiin Suunnittelukeskus Oy:n ympäristölaboratoriossa Helsingissä lukuun ottamatta alkaliteetti- ja sulfaattimäärityksiä. Alkaliteettimäärityksistä vastasi Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö ry ja sulfaattimäärityksistä Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen laboratorio. Käytetyt analyysimenetelmät on esitetty liitteessä 2.

Määritysmenetelmät valittiin siten, että tulokset olisivat mahdollisimman vertailukelpoisia kyseisten järvien vuosien 1984 ja 1989 havaintojen sekä toisaalta valtakunnallisen happamoitumis seurannan tulosten kanssa. Merkittävimmät erot analyysimenetelmissä kolmen seurantavuoden välillä ovat seuraavat:

1. Alkaliteetti määritettiin vuonna 1984 ns. yhden pisteen titrausmenetelmällä, jolla ei saada negatiivisia tuloksia.
2. Alkaliteetti määritettiin Kattilajärvestä ja Isosta Lehmälammesta vuonna 1999 ns. kahden pisteen titrauksella.
3. Sulfaatti määritettiin vuonna 1984 ns. thoriinimenetelmällä (Pätälä 1984).
4. Sulfaatti määritettiin vuonna 1989 menetelmällä Standardiehdotus INSTA-VYH 79, 1984-05.
5. Vuosina 1984 ja 1989 määritettiin kokonaisalumiini (SFS 3043, pyrokatekoliviolettimenetelmä).
6. Vuonna 1989 määritettiin ns. happoliukoinen alumiini (Standardiehdotus INSTA-VYH 95, 1989).
7. Vuoden 1999 valtakunnallisessa seurannassa määritettiin ns. reaktiivinen alumiini (ei happokäsittelyä).
8. Vuonna 2000 määritettiin ns. happoliukoinen alumiini (SFS 5736).

Vastaavia analyysimenetelmiin liittyviä merkintöjä on käytetty taulukossa 2 ja liitteessä 3.

4 TULOKSET

Vuoden 2000 järviakohtaiset vedenlaatutulokset on esitetty liitteenä 3 olevassa taulukossa. Taulukoon on koottu myös vastaavien vedenlaatumuuttujien tulokset aiemmilta seurantavuosilta 1984 ja 1989 sekä seitsemän järven osalta valtakunnalliset vuoden 1999 seurantatulokset. Keskiarvot, mediaanit, minimi ja maksimit sisältävä yhteenveto analyysituloksista on koottu taulukoon 2. Aiempien vuosien lailla pH-tuloksille on laskettu aritmeettinen keskiarvo huomioimatta pH-asteikon logaritmisuutta. Vuonna 1984 näytteenottoajankohta oli kesä-heinäkuu ja vuodelta 1989 on huomioitu syystäyskierron aikaiset tulokset.

Tuloksia on havainnollistettu havaintojen jakaumia sekä alkaliteetin, pH:n ja sulfaatin osalta pitemmän aikavälin kehitystä ilmentävin kuvin, jotka ovat liitteinä 4 ja 5.

Muutoksia vuoden 1989 ja 2000 havaintoaineistojen välillä on edellisen selvityksen (Peura 1990) lailla testattu tilastollisesti parittaisten koetulosten 2-suuntaisella t-testillä (t-test: paired two samples for means, Microsoft Excel 97 SR-2). Tilastolliset merkitsevyydet on esitetty taulukossa 2. Alumiinituloksia ei testattu tilastollisesti menetelmäeroavaisuuksien takia ja kloridipitoisuuksien tilastollinen tarkastelu sivuutettiin useimpien tulosten jäätyä alle määritysrajan (<2 mg/l). Alle määritysrajan oleville tuloksille (kiintoaine, kemiallinen hapenkulutus_{Cr}, kokonaisfosfori ja kloridi) on kuvissa ja tilastollisia tunnuslukuja laskettaessa annettu arvo määritysraja/2.

Taulukko 2. Yhteenveto vuosien 1984, 1989 ja 2000 vedenlaatutuloksista (keskiarvo, mediaani, minimi ja maksimi, n=52) sekä vuosien 1989 ja 2000 havaintojen välisten erojen tilastollinen merkitsevyys.

Muuttuja	Vuosi	Keski- arvo	Mediaani	Minimi	Maksimi	Tilast. merkitsev.
Happi mg/l	1984	8.4	8.5	5.8	11.6	
	2000	9.6	9.7	6.4	12.7	Ei test.
Sameus FTU	1984	0.75	0.72	0.39	1.5	
	1989	0.92	0.64	0.26	8.7	
	2000	1.3	1.0	0.45	5.2	*
Väri-luku mg Pt/l	1984	33	20	5	180	
	1989	30	20	5	100	
	2000	51	35	5	200	***
Kiintoaine mg/l	2000	<1	<1	<1	2	Ei test.
KHT _{Cr} mg O ₂ /l	2000	19	17	<10	54	Ei test.
pH	1984	5.4	5.3	4.2	6.9	
	1989	5.6	5.6	4.3	6.5	
	2000	5.6	5.6	4.2	6.7	-
Johtokyky mS/m	1984	3.7	3.5	2.5	5.6	
	1989	3.5	3.4	2.3	6.0	
	2000	2.9	2.7	1.8	5.8	***
Alkaliteetti mmol/l	1984 ¹⁾	0.041	0.040	0.000	0.160	
	1989	0.031	0.027	-0.028	0.180	
	2000 ²⁾	0.014	0.012	-0.068	0.175	***
Kok-N µg/l	1984	230	210	50	580	
	1989	310	290	86	540	
	2000	320	300	150	590	-
Kok-P µg/l	1984	11	8	0	74	-
	1989	10	8	2	30	
	2000	8	8	<7	18	
Kloridi mg/l	1984	2.4	2.1	1.5	8.3	
	1989	1.9	1.8	1.1	4.0	
	2000	<2	<2	<2	9	Ei test.
Sulfaatti mg/l	1984 ³⁾	8.1	8.1	4.9	11.0	
	1989 ⁴⁾	8.9	9.0	6.0	18.0	
	2000	4.9	4.9	2.1	7.5	***
Natrium mg/l	1984	1.5	1.4	0.8	4.3	
	1989	1.5	1.3	0.8	3.4	
	2000	1.4	1.2	0.8	5.7	-
Alumiini µg/l	1984 ⁵⁾	130	120	10	420	
	1989 ⁵⁾	110	93	14	370	
	1989 ⁶⁾	86	73	10	370	
	1999 ⁷⁾	73	60	20	130	
	2000 ⁸⁾	150	120	20	510	Ei test.
Kalium mg/l	1984	0.4	0.4	0.2	1.0	
	1989	0.4	0.4	0.1	0.9	
	2000	0.3	0.2	0.1	0.8	***
Kalsium mg/l	1984	1.9	1.9	1.2	4.4	
	1989	1.7	1.7	1.0	3.1	
	2000	1.6	1.5	0.6	3.7	**
Magnesium mg/l	1984	0.8	0.8	0.3	1.7	
	1989	0.7	0.7	0.3	1.5	
	2000	0.5	0.5	0.2	1.7	***

Analyyssimenetelmien merkinnät ^{1) - 8)}: ks. kohta 3 "Aineisto ja menetelmät".

*** = tilastollisesti erittäin merkitsevä, p<0,001

** = tilastollisesti merkitsevä, p<0,01

* = tilastollisesti suuntaa antava, p<0,05

- = ei tilastollista merkitsevyyttä, p>0,05.

5 VEDEN LAADUN KEHITYS

5.1 Alkaliteetti

Tutkittujen Pohjois-Espoon ja Vihdin järvien alkaliteettitulokset eivät olleet yhdenmukaisia yleisemmän happamoitumiskehityksen lieventymistä ja vesistöjen puskurikyvyn kohoamista laajemmilla alueilla korostavan käsityksen (mm. Stoddard ym. 1999; Mannio 2001) kanssa. Vuoden 2000 järviaineistossa keskimääräinen alkaliteetti oli 0,014 mmol/l (vrt. 0,031 mmol/l vuonna 1989), ja tilastollisesti tarkasteltuna vuosien 1989 ja 2000 alkaliteettitulosten välinen ero oli erittäin merkitsevä ($p < 0,001$). Vuoden 1989 lailla alkaliteetti oli edelleen suurimmassa osassa (58 %) järviä välillä 0 - 0,049 mmol/l. Bikarbonaattiin perustuvaa puskurikykyä ilmentävä alkaliteetti oli nyt kuitenkin laskenut negatiiviseksi useammassa järvessä (v. 2000 15 järveä ja v. 1989 kymmenen järveä). Ainoastaan Kurkijärvessä alkaliteetti vastasi tyydyttävää ($> 0,1$ mmol/l). Vuonna 1989 myös Hepolammessa alkaliteetti oli ollut tyydyttävä (0,13 mmol/l), mutta nyt kyseisen lammen puskurikyky oli huomattavasti alhaisempi (0,013 mmol/l) ja huonoa vastaava. Myös esimerkiksi Igelträskissä ja Luukin Myllyjärvessä alkaliteetti jäi vuotta 1989 varsin selvästi alhaisemmaksi. Alkaliteettitulosten vertailua vuoden 1984 tuloksiin hankaloittaa analyysimenetelmän (ns. yhden pisteen titraus) erilaisuus vuosiin 1989 ja 2000 verrattuna (Granin titraus).

5.2 Veden pH

Veden pH:n suhteen tutkimusjärvien veden laadussa ei ollut alkaliteetin lailla merkitsevää eroa vuosien 1989 ja 2000 välillä ($p > 0,05$). Veden pH oli alle arvon 5,5 yhteensä 22 järvessä (v. 1989 20 järvessä). Yhdeksässä järvessä pH jäi alle happamoituneisuutta ilmentäväksi katsotun ja kaloille mahdollisesti haitallisen tason 5,0 (Haslam 1990). Selvemmin vuosien 1984 ja 1989 tuloksia alhaisempi pH-luku havaittiin nyt seuraavissa järvissä: Lajalampi (pH 5,7-6,3; v. 2000 pH 5,1), Multilampi (pH 4,4-5,0; v. 2000 pH 4,2), Hepolampi (pH 6,2; v. 2000 pH 5,8) ja Igelträsk (pH 6,1-6,2; v. 2000 pH 5,2). Selvempi pH-tason nousu oli puolestaan erotettavissa lähinnä Valklammessa (pH 5,3-5,4; v. 2000 pH 6,0) ja Pöksynhaarassa (pH 4,6-4,8; v. 2000 pH 5,2). Kolmen vuoden seurantatulosten perusteella merkkejä myönteisestä pH-kehityksestä oli kuitenkin nähtävissä useammassa järvessä (mm. Pieni Lehmälampi).

5.3 Sulfaatti

Tarkasteltaessa sulfaatin, happamoitumiseen osaltaan oleellisesti liittyvän vedenlaatutekijän, pitoisuuskehitystä Espoon järvissä tulee tiedostaa analyysimenetelmän vaihtuminen ja kehittyminen seurantavuosien välillä. Vuonna 2000 ionikromatografisella menetelmällä määritettyjen sulfaattipitoisuuksien taso oli vuosia 1984 ja 1989 selkeästi alhaisempi, ja tulokset osoittivat muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta selvän laskevan suuntauksen vasteena vähentyneeseen rikkilaskeumaan. Vuoteen 1989 verrattuna ero oli tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p < 0,001$). Sulfaattipitoisuus oli nyt 85 % järvistä alle 6 mg/l, kun taas vuonna 1989 pitoisuus oli kaikissa tutkituissa järvissä tätä korkeampi.

5.4 Happikyllästys ja väriluku

Happikyllästys oli kolmessa järvessä (Sikalammet, Kalatoin ja Mustalampi) ajankohtaan nähden yllättävän alhainen (52 - 57 %). Myös neljässä seuraavassa järvessä happikyllästys jäi alle 70 % tason: Valklampi, Vähä-Majalampi, Kaliton ja Pieni Sorlampi.

Seurantajärvien keskimääräinen väriluku oli 51 mg Pt/l, mikä on jonkin verran korkeampi kuin vuonna 1989 (keskiarvo 30). Ero vuosien 1989 ja 2000 väritulosten välillä oli tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p < 0,001$). Järvikohtaisesti tarkasteltuna väriluku oli nyt noin viidesosassa järvistä aiempien vuosien tasoa melko selvästi korkeampi. Väriluku ylitti arvon 50 yhteensä 22 järvessä, kun vuonna 1989 vastaava arvo ylittyi vain yhdeksässä järvessä. Korkein väriluku (200) havaittiin vuoden 1984 lailla Multilammessa, jossa se kemiallisesti happea kuluttavan aineksen ja pH-luvun perusteella ilmentää humusyhdisteiden huomattavaa vaikutusta. Marraskuussa 2000 myös satoi tavanomaista huomattavasti runsaammin, mikä on lisännyt valuma-alueelta tapahtuvaa huuhtoutumista ja vaikuttanut pintavesien laatuun mm. värilukua lisäävästi. Marraskuussa juuri Espoossa mitattiin koko maan suurin, keskimääräiseen tasoon nähden noin kaksinkertainen kuukausisademäärä (143 mm).

5.5 Sähkönjohtokyky

Elektrolyyttipitoisuus oli kaikissa järvissä alhainen (1,8 - 5,8 mS/m), ja keskiarvon ja mediaanin perusteella sähkönjohtokykytulokset olivat yleisesti ottaen vuotta 1989 jonkin verran alhaisempia. Tilastollisesti tarkasteltuna ero vuosien 1989 ja 2000 sähkönjohtokykyhavaintojen välillä oli erittäin merkitsevä ($p < 0,001$).

5.6 Alumiini

Sulfaatin lailla alumiinipitoisuuksissa tapahtuneiden muutosten arviointia rajoittaa määrittämisselimen vaihtelu. Osa analyysimenetelmistä kuvaa pikemminkin alumiinin kokonaismäärää kuin biologisten toimintojen kannalta haitallisen, liukoisen epäorgaanisen alumiinin osuutta. Vuonna 2000 Espoon järvi joukon alumiinipitoisuuksien taso vastasi tilastollisten tunnuslukujen perusteella pitkälti vuoden 1984 havaintoja, kun taas vuoteen 1989 verrattuna tulokset olivat nyt jonkin verran korkeampia. Järvikohtaisia tuloksia tarkasteltaessa alumiinipitoisuus oli joissakin tapauksissa aiempien havaintojen tasoa suhteellisen selvästi korkeampi (esimerkiksi Lajalampi ja Igelträsk, joissa myös pH-tasossa oli havaittavissa selvempi alenema). Korkein alumiinipitoisuus (510 µg/l) havaittiin Kalittomassa, jossa veden pH on kaikkina kolmena seurantavuonna ollut hyvin alhainen (pH 4,2-4,4). Yhteensä 14 järvessä alumiinipitoisuus oli Pätilän (1984) aiemmassa selvityksessä käyttämää raja-arvoa 200 µg/l korkeampi. Näistä järvistä seitsemässä pH-arvo oli alhaisempi kuin happamoituneisuutta ilmentäväksi katsottu taso pH 5. Järvien väriluvut olivat kuitenkin suhteellisen korkeita (ainoastaan kahdessa järvessä Al-pitoisuus \square 200 µg/l ja väriluku \square 20 mg Pt/l), minkä voitaneen katsoa viittaavan alumiinin mahdolliseen sitoutumiseen orgaaniseen ainekseen.

5.7 Maa-alkali- ja alkalimetallit

Tutkittujen maa-alkali- ja alkalimetallien (kalsium, magnesium, kalium ja natrium) pitoisuudet olivat järviaineistoa kokonaisuutena käsiteltäessä vuonna 2000 keskimäärin vuoden 1989 havaintoja hieman alhaisempia. Myös pitemmällä aikavälillä erot kolmen seurantavuoden tuloksissa olivat käytännössä lähinnä vähäisiä, mutta lievään laskevaan suuntaukseen viittaavia. Muutos vuosien 1989 ja 2000 välillä oli tilastollisesti tarkasteltuna merkitsevä ($p < 0,01$) kalsiumin osalta ja erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) kaliumin ja magnesiumin osalta. Kalsium- ja magnesiumitulokset viittasivat siten laskeuman vähentymiseen, eivätkä osoittaneet lisäystä näiden valuma-alueelta huuhtoutuvien ja maaperässä happamuutta neutraloivien yhdisteiden määrässä.

5.8 Ravinnepitoisuudet

Tutkitut kokonaisravinteiden pitoisuudet eivät kyseistä 52 järven joukkoa tarkasteltaessa osoittaneet tilastollisesti merkitsevää veden laadun muutosta vuoteen 1989 nähden ($p > 0,05$). Suurimassa osassa järvistä typpipitoisuus (75 % järvistä) ja fosforipitoisuus (94 % järvistä) olivat vuoden 1989 lailla karulle vesistölle ominaisia ($< 400 \mu\text{g N/l}$ ja $< 15 \mu\text{g P/l}$). Korkeimmillaankin ravinnepitoisuudet olivat ainoastaan lievää rehevyyttä ilmentäviä.

6 HAPPAMOITUMISHERKKYYDESTÄ

Aiemmissa Espoon happamoitumistutkimuksissa (Pätilä 1984; Peura 1990) järvien happamoitumisherkkyttä on tarkasteltu sekä pelkästään alkaliteettiin perustuvaa luokitusta käyttäen (Puomio 1985, taulukko 3) että Pätilän (1984) esittämän luokituksen avulla, joka alkaliteetin lisäksi huomioi pH-arvon ja orgaanisen aineksen puskuroivaa vaikutusta ilmentävän väriluvun (Pätilä 1984, taulukko 4).

Taulukko 3. Alkaliteettiin (mmol/l) perustuva järvien happamoitumisherkkyysluokitus (Puomio 1985).

Alkaliteetti mmol/l	Järven kyky vastustaa happamoitumista
$< 0,05$	huono
0,05 - 0,09	välttävä
0,1 - 0,19	tydyttävä
□ 0,20	hyvä

Taulukko 4. Alkaliteettiin (mmol/l), pH-arvoon ja värilukuun (mg Pt/l) perustuva järvien happamoitumisherkkyysluokitus (Pätilä 1984).

Väri-luku	pH □ 5,0 alk. □ 0,05	pH 5,1 – 5,6 alk. □ 0,05	pH > 5,6 alk. □ 0,1	pH > 5,6 alk. > 0,1
□ 20	ei puskurikykyä	huono	välttävä	tydyttävä
25 - 40	huono	välttävä	tydyttävä	tydyttävä
□ 45	välttävä	tydyttävä	tydyttävä	hyvä

Ainoastaan alkaliteettiin perustuvan luokituksen (Puomio 1985) mukaan puskurikyky oli vuonna 2000 suurimmassa osassa järviä huono (yhteensä 45 järveä, 87 % aineistosta) (liite 4, taulukko 5). Kuudessa järvestä (12 %) puskurikyky oli välttävä ja vain yhdessä (Kurkijärvi) tydyttävä. Syksyllä 1989 puskurikyvyn jakauma oli ollut kyseisen luokittelun mukaan hyvin samanlainen: huono puskurikyky 41 järvestä (79 %), välttävä yhdeksässä järvestä (17 %) ja tydyttävä kahdessa järvestä (Hepolampi ja Kurkijärvi).

Taulukko 5. Tutkimusjärvien puskurikyvyssä tapahtuneet muutokset vuoteen 1989 verrattuna alkaliteettiin perustuvan luokituksen (Puomio 1985) mukaan. H=huono, V=välttävä, T=tydyttävä ja HY=hyvä puskurikyky.

Happamoitumisherkkyuden muutos			
Heikentynyt -2 luokkaa	Heikentynyt -1 luokan	Tilanne sama	Parantunut +1 luokan
30. Hepolampi (T△H)	8. Meerlampi (V△H)	muut 42 järveä	15. Velsk. e. Haukl. (H△V)
	29. Pakank.Myllyj. (V△H)		21. Väärjärvi (H△V)
	31. Igelträsk (V△H)		46. Halkolampi (H△V)
	42. Majalampi (V△H)		
	43. Myllymajal. (V△H)		
	50. Luukin Myllyj. (V△H)		
Yht. 1	6		3

Alkaliteetin lisäksi pH-arvon ja väriluvun huomioivan luokituksen (Pätilä 1984) mukaan happamoitumisen puskurikyky oli vuonna 2000 kahdessa järvessä kokonaan menetetty (Iso Majaslampi ja Pieni Majaslampi) ja lisäksi kuudessa järvessä huono (yhteensä 16 % järvistä) (liite 4, taulukko 6). Puskurikyky oli välttävä 42 %:ssa ja tyydyttävä 40 %:ssa tutkituista järvistä. Ainoastaan Kurki-järvessä puskurikyky oli luokiteltavissa hyväksi. Vuoden 1989 tulosten perusteella puskurikyky oli katsottu menetetyksi Valkialammessa, Velskolan pohjoisessa Hauklammessa ja Saaren Mustassa. Kokonaisuutena tätä luokitusta käytettäessä oli nähtävissä positiivista kehitystä vuoteen 1989 verrattuna, sillä aiempaa useampi järvi lukeutui nyt luokkaan tyydyttävä (12△21) ja toisaalta luokkaan huono kuuluvien järvien määrä oli vähentynyt (14△6). Alkaliteetin vähäisen painoarvon takia kyseistä luokitusta on kuitenkin kritisoitu liian myönteisen käsityksen antavaksi (Peura 1990).

Taulukko 6. Puskurikyvyn muutos vuoteen 1989 verrattuna Pätilän (1984) luokituksen mukaan. EP=ei puskurikykyä, H=huono, V=välttävä, T=tyydyttävä ja HY=hyvä.

Puskurikyvyn muutos			
Heikentynyt -1 luokan	Tilanne sama	Parantunut +1 luokan	Parantunut +2 luokkaa
12. Iso Majaslampi (H△EP)	2. Ahvenlampi (V)	1. Oralampi (H△V)	4. Valklampi (H△T)
13. Pieni Majasl. (H△EP)	5. Lajalampi (T)	3. Kolmoislammet (V△T)	14. Pöksynhaara (H△T)
30. Hepolampi (T△V)	6. Multilampi (V)	9. Kolmperä (V△T)	16. Valkialampi (EP△V)
	7. Sikalammet (T)	10. Karjakaivo (H△V)	
	8. Meerlampi (T)	11. Ruuhijärvi (H△V)	
	17. Orajärvi (H)	15. Velsk. e. Haukl. (V△T)	
	18. Urja (V)	22. Velsk. p. Haukl. (EP△H)	
	20. Kattilajärvi (V)	24. Velsk. Pitkäjärvi (V△T)	
	21. Vääräjärvi (V)	34. Väärä Musta (V△T)	
	23. Hynken- lampi (V)	36. Saaren Musta (EP△H)	
	26. Häkläjärvi (H)	37. Iso Lehmä- lampi (H△V)	
	27. Sorvalampi (V)	39. Tuhkuri (V△T)	
	28. Kaitalampi (V)	46. Halkolampi (V△T)	
	29. Pakankylän Myllyjärvi (T)	48. Hepolampi (H△V)	
	31. Igelträsk (T)	51. Kaliton (H△V)	
	32. Saarijärvi (V)	55. Hakjärvi (V△T)	
	35. Vaakkoi (H)		
	38. Pieni Lehmä- lampi (H)		
	40. Kalatoin (V)		
	41. Vähä-Maja- lampi (T)		
	42. Majalampi (T)		
	43. Myllymajal. (T)		
	44. Väärälampi (T)		
	45. Mustalampi (V)		
	47. Kierlampi (V)		
	49. Luukin Hauklampi (V)		
	50. Luukin Myllyjärvi (T)		
	52. Kurkijärvi (HY)		
	53. Pieni Sorlampi (V)		
	54. Iso Sorlampi (T)		
Yht. 3	30	16	3

7 YHTEENVETO

Happamoitumiskehityksen on Pohjois-Espoon järvissä katsottu saavuttaneen huippunsa jo 1970-luvun lopulla. Vuosien 1979 - 1984 välillä veden laadun muutokset olivat vähäisiä (Pätälä 1984). Myös vuonna 1989 puskurikyky ja veden happamuus olivat keskimäärin samalla tasolla kuin vuonna 1984, ja veden laadun todettiin kokonaisuutena pitkälti vastanneen aiempaa tilannetta (Peura 1990).

Syksyllä 2000 alkaliteetin ilmentämä bikarbonaattipuskurikyky oli tutkituissa 52 Pohjois-Espoon ja Vihdin järvessä keskimäärin 0,014 mmol/l, ilmentäen selkeää happamoitumisalttiutta ja puskurikyvyn laskevaa suuntausta edelliseen seurantahavaintokertaan verrattuna (v. 1989 keskimääräinen alkaliteetti 0,031 mmol/l). Aiempaa useammassa järvessä alkaliteetti oli laskenut negatiiviseksi ja alkaliteettitaso 0,05 mmol/l ylittyi ainoastaan seitsemässä järvessä. Veden happamuuden eli pH-arvon perusteella tilanne sen sijaan vastasi edelleen vuosia 1984 ja 1989. Alumiinipitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa vuoden 1984 havaintojen kanssa.

Euroopan järvien lailla (Stoddard ym. 1999) Nuuksion järvissä havaittiin selvä happamoittavan kuormituksen vähenemistä osoittava lasku sulfaattipitoisuudessa. Tähän viittasi myös sähkönjohdokyvyn lievä väheneminen. Kolmen seurantavuoden sulfaattituloksiin vaikuttaa tosin jossain määrin muutos määritysanalytiikassa. Tutkittujen maa-alkali- ja alkalimetallien pitoisuuksissa oli pitemmällä aikavälillä nähtävissä merkkejä pitoisuustason lievistä alenemisistä, mikä liittyyneeseen laskeumaan.

Kokonaisuutena tutkittujen happamoitumiseen liittyvien vedenlaatutekijöiden kolmen seurantavuoden tulosten antama kuva oli siten samansuuntainen kuin Pohjoismaiden pintavesissä 1980-luvulla yleisemmin havaittu tilanne. Tällöin happamoitumisesta toipumisen hidastumisen (ts. alkaliteetin kohoamattomuuden) selvästä rikin päästövähennemästä huolimatta on esitetty mahdollisesti liittyvän emäskationien määrän vähenemiseen (Stoddard ym. 1999).

Pohjoismaiden järvien 1990-luvun havaintoihin (Stoddard ym. 1999) ja Suomen ympäristökeskuksen valtakunnalliseen vuosien 1987 - 1998 happamoitumis seurantaan (Mannio 2001) nähden Nuuksion järviaineiston alkaliteettitulosten antama kuva oli kuitenkin melko erilainen. Vuosittaiseen näytteenottoon perustuvassa valtakunnallisessa seurannassa tilastollisesti merkitsevä positiivinen alkaliteetin pitkäaikaisuusmuutos on ollut havaittavissa yleisemmin ja Nuuksion ylängön järvistä ainakin Kattilajärvessä, Orajärvessä, Velskolan pohjoisessa Hauklammessa, Saaren Mustassa ja Isossa Lehmälammessa (Kendall t-trenditesti vuosien 1987 - 1998 aineistosta) (Suomen ympäristökeskus, Happamoitumisen seuranta pintavesissä, J. Mannio, suull. tiedonanto 19.12.2000). Tämä ero korostaa tiheämpään näytteenottoon perustuvan aikasarjan pitkäaikaisuusmuutoksesta antaman kuvan parempaa luotettavuutta harvempaan, yksittäisiin havaintoihin perustuvaan aineistoon verrattuna. Edelleen tällä perusteella puskurikyvyn toipumista voisi vastaavanlaajuisten havaintosarjojen ollessa käytettävissä olla erotettavissa myös useammassa nyt tutkituista Pohjois-Espoon ja Vihdin järvistä.

Väri-luvun perusteella Nuuksion järvet olivat keskimäärin humuspitoisia, viitaten humuskuormituksen lisääntymiseen 1980-luvun lopulta. Ravinne-pitoisuudet olivat aiempaa vastaten pääasiassa karuille järville ominaisia.

KIRJALLISUUS

Forsius, M. 1987: Suomen järvien alueellinen happamoitumistilanne. – Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja 9. 108 s.

Haslam, S.M. 1990: River pollution: an ecological perspective. – 1. painos. 253 s.

Järvinen, O. & Vänni, T. 1990a: Sadeveden pitoisuus- ja laskeuma-arvot Suomessa vuonna 1984. – Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 231. Helsinki. 76 s.

Järvinen, O. & Vänni, T. 1990b: Sadeveden pitoisuus- ja laskeuma-arvot Suomessa vuonna 1985. – Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 232. Helsinki. 76 s.

Järvinen, O. & Vänni, T. 1990c: Sadeveden pitoisuus- ja laskeuma-arvot Suomessa vuonna 1986. – Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 233. Helsinki. 76 s.

Järvinen, O. & Vänni, T. 1990d: Sadeveden pitoisuus- ja laskeuma-arvot Suomessa vuonna 1987. – Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 234. Helsinki. 76 s.

Järvinen, O. & Vänni, T. 1990e: Sadeveden pitoisuus- ja laskeuma-arvot Suomessa vuonna 1988. – Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 235. Helsinki. 74 s.

Järvinen, O. & Vänni, T. 1990f: Sadeveden pitoisuus- ja laskeuma-arvot Suomessa vuonna 1989. – Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 236. Helsinki. 74 s.

Järvinen, O. & Vänni, T. 1992a: Sadeveden pitoisuus- ja laskeuma-arvot Suomessa vuonna 1990. – Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 378. Helsinki. 74 s.

Järvinen, O. & Vänni, T. 1992b: Sadeveden pitoisuus- ja laskeuma-arvot Suomessa vuonna 1991. – Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 400. Helsinki. 74 s.

Järvinen, O. & Vänni, T. 1994a: Sadeveden pitoisuus- ja laskeuma-arvot Suomessa vuonna 1992. – Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 510. Helsinki. 68 s.

Järvinen, O. & Vänni, T. 1994b: Sadeveden pitoisuus- ja laskeuma-arvot Suomessa vuonna 1993. – Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 579. Helsinki. 68 s.

Järvinen, O. & Vänni, T. 1996: Sadeveden pitoisuus- ja laskeuma-arvot Suomessa vuonna 1994. – Suomen ympäristökeskuksen moniste 13. Helsinki. 67 s.

Järvinen, O. & Vänni, T. 1997: Sadeveden pitoisuus- ja laskeuma-arvot Suomessa vuonna 1995. – Suomen ympäristökeskuksen moniste 78. Helsinki. 68 s.

Järvinen, O. & Vänni, T. 1998: Sadeveden pitoisuus- ja laskeuma-arvot Suomessa vuonna 1996. – Suomen ympäristökeskuksen moniste 120. Helsinki. 67 s.

Keto, J. 1988: Viiden Pohjois-Espoon pienen järven happamoitumiskehitys vuonna 1987. – Teoksessa: Pohjois-Espoon järvien happamoituminen, tutkimusraportit vuonna 1987. Espoon ympäristönsuojelulautakunnan julkaisu 2/88. 9 s.

Kortelainen, P., Mannio, J., Heitto, L. & Verta, M. 1990: Happamoituminen seurausilmiöineen. – Julkaisussa: Ilmavirta, V. (toim.), Järvien kunnostuksen ja hoidon perusteet. Helsinki. s. 134-151.

- Kämäri, J. 1984: Suomen karujen pienvesistöjen happamoitumisherkyys. – Vesihallituksen tiedotus 239. Helsinki. 85 s.
- Kämäri, J. 1985: A quantitative assessment of lake acidification in Finland. – *Aqua Fennica* 15(1): 11-20.
- Kämäri, J. 1988: Regional lake acidification: sensitivity and dynamics. – Helsingin yliopisto, limnologian laitos. 81 s.
- Kämäri, J., Forsius, M., Johansson, M. ja Posch, Maximilian. 1992: Happamoittavan laskeuman kriittinen kuormitus Suomessa. – Ympäristöministeriön ympäristönsuojeluosaston selvitys 111/1992. Helsinki. 59 s.
- Mannio, J. 2001: Recovery pattern from acidification of headwater lakes in Finland. – *Water, Air and Soil Pollution* (painossa).
- Peura, P. 1990: Happamoituminen Pohjois-Espoon järvissä. – Espoon ympäristönsuojelulautakunnan julkaisu 5/90. 34 s.
- Puomio, E-R. 1985: Järvien happamuus ja happamoitumisherkyys Helsingin vesipiirin alueella. – Vesihallituksen monistesarja 330. Helsinki. 24 s.
- Pätälä, A. 1980: Vesistöjen happamoituminen – vesikemialliset ja vesibiologiset vaikutukset. – Pro gradu –tutkielma, Helsingin yliopisto, ympäristönsuojelun laitos. 103 s.
- Pätälä, A. 1981: Karujen pienvesistöjen happamoitumisesta. – Laudatur-työ, Helsingin yliopisto, limnologian laitos. 45 s.
- Pätälä, A. 1982: Happamoitumisen vesikemialliset vaikutukset – havaintoja Etelä-Suomen karuista järvistä. – *Luonnon Tutkija* 86: 19-22.
- Pätälä, A. 1984: Pohjois-Espoon järvien happamoitumisherkyys 1984. – Espoon ympäristönsuojelulautakunnan julkaisu 8/84. 31 s.
- Pätälä, A. 1986: Survey of acidification by airborne pollutants in 52 lakes in southern Finland. – *Aqua Fennica* 16(2):203-210.
- Stoddard, J.L., Jeffries, D.S., Lükewille, A., Clair, T.A., Dillon, P.J., Driscoll, C.T., Forsius, M., Johannessen, M., Kahl, J.S., Kellogg, J.H., Kemp, A., Mannio, J., Monteith, D.T., Murdoch, P.S., Patrick, S., Rebsdorf, A., Sjelkvåle, B.L., Stainton, M.P., Traaen, T., van Dam, H., Webster, K.E., Wieting, J. & Wilander, A. 1999: Regional trends in aquatic recovery from acidification in North America and Europe. – *Nature* 401: 575-578.
- Tulonen, T. 1985: Alustava selvitys Uudenmaan vesistöjen happamoitumistilanteesta ja siitä aiheutuvista kalataloudellisista haitoista. – Uudenmaan kalastuspiirin kalastustoimiston tiedotus 1. Helsinki. 32 s.
- Vuorenmaa, J., Järvinen, O. & Vänni, T. 1999: Sadeveden pitoisuus- ja laskeuma-arvot Suomessa vuonna 1997. – Suomen ympäristökeskuksen moniste 165. Helsinki. 66 s.