



ELINA JOENSUU JA PASI LAIHONEN

ILMAN LAADUN SEURANTA TURUN JA PORIN LÄÄNISSÄ

TAUSTA-ALUEEN BIOINDIKAATTORI- JA MAAPERÄSEURANNAN KÄYNNISTÄMINEN

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLITUS
TURUN VESI- JA YMPÄRISTÖPIIRI
Helsinki 1995

202

ELINA JOENSUU JA PASI LAIHONEN

**ILMAN LAADUN SEURANTA TURUN JA
PORIN LÄÄNISSÄ**

TAUSTA-ALUEEN BIOINDIKAATTORI- JA MAAPERÄSEURANNAN KÄYNNISTÄMINEN

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLITUS
TURUN VESI- JA YMPÄRISTÖPIIRI
Helsinki 1995

Etukannen kuva: Neulaskato harventaa mäntyjen latvaosia ja saa puiden lehvästön näyttämään harsuuntuneelta.
Kuva: Ilkka Jussila

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

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLINNON JULKAISUJA koskevat tilaukset:
Painatuskeskus Oy, PL 516, 00101 Helsinki
puh. (90) 566 0266

ISBN 951-47-9985-2
ISSN 0786-9592

Helsinki 1995

Julkaisija
Vesi- ja ympäristöhallitus
Turun vesi- ja ympäristöpiiri

Julkaisun päivämäärä
Tammikuu 1995

Tekijä(t) (toimielimestä: nimi, puheenjohtaja, sihteeri)
Elina Joensuu ja Pasi Laihonon

Julkaisun nimi (myös ruotsinkielinen)

Ilman laadun seuranta Turun ja Porin läänissä. Tausta-alueen bioindikaattori- ja maaperäseurannan käynnistäminen.

Övervakning av luftkvalitet i Åbo- och Björneborgs län. Igångsättning av bakgrundområdets bioindikator- och jordövervakning.

Julkaisun laji

Kehittämissuunnitelma

Toimeksiantaja

Toimielimen asettamispvm

Julkaisun osat

Tiivistelmä

Bioindikaattorimenetelmät ja niitä tukevat fysikaalis-kemialliset mittaukset on todettu tehokkaiksi laajojen alueiden ilmaperäisen kuormituksen vaikutusten seurantamenetelmiksi. Metsien ja maaperän seurantaan pohjautuva laajakin seurantaverkosto on mahdollista perustaa ja ylläpitää kohtuullisin kustannuksin. Selvityksessä esitettävä tausta-alueiden seurantaverkosto tulee täydentämään bioindikaattori- ja maaperäseurannan koko Turun ja Porin läänin alueen kattavaksi. Verkoston avulla saadaan alueellista ja paikallista tietoa ilman laadun ja ympäristön tilan muutoksista ympäristöviranomaisten tarpeita varten.

Ilman laadun vaikutusten seuranta on tärkeä osa maaympäristön tilan seurantaa. Esitettävä seurantaverkosto voi palvella valtakunnallisena mallina järjestettäessä maaympäristön tilan seurantaa perustettavissa alueellisissa ympäristökeskuksissa.

Asiasanat (avainsanat)

Bioindikaattorit, maaperä, maaympäristö, seuranta, ilmansuojelu

Muut tiedot

Sarjan nimi ja numero

Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja
- sarja A 202

ISBN

951-47-9985-2

ISSN

0786-9592

Kokonaissivumäärä

51

Kieli

suomi

Hinta

Luottamuksellisuus

julkinen

Jakaja

Painatuskeskus Oy
PL 516, 00101 Helsinki

Kustantaja

Vesi- ja ympäristöhallitus
PL 250, 00101 Helsinki

PRESENTATIONSBLAD

Utgivare
Vatten- och miljöstyrelsen
Åbo vatten- och miljödistrikt

Utgivningsdatum
Januari 1995

Författare (uppgifter om organet: namn, ordförande, sekreterare)
Elina Joensuu och Pasi Laihonen

Publikation (även den finska titeln)

Övervakning av luftkvalitet i Åbo- och Björneborgs län. Igångsättning av bakgrundområdets bioindikator- och jordövervakning.

Ilman laadun seuranta Turun ja Porin läänissä. Tausta-alueen bioindikaattori- ja maaperäseurannan käynnistäminen.

Typ av publikation
Utvecklingsplan

Uppdragsgivare

Datum för tillsättandet av organet

Publikationens delar

Referat

Bioindikatormetoder och stödande fysikalisk-kemiska mätningar har befunnits vara effektiva i övervakning av luftbelastningens effekt. Det är möjligt med dessa metoder att grundlägga och med måttliga kostnader underhålla relativt omfattande övervakningsnätverk. I den här utredningen framställande bakgrundområdets övervakningsnätverk kommer att utsträcka bioindikator- och jordövervakning till hela Åbo- och Björneborgs läns område. Genom nätverket är det möjligt att till miljöförvaltningens behov få regional och lokal information om luftkvalitetets och miljötillståndets förändringar.

Övervakningen av luftkvalitetets effekt är en viktig del av den hela terrestriska miljöns övervakningen. Övervakningsnätverket kan fungera som en hela riket omfattande modell när den terrestriska miljöns övervakningen organiseras i de kommande regionala miljöcentra.

Sakord (nyckelord)

Bioindikatorer, jord, terrestriska miljö, övervakning, luftskydd

Övriga uppgifter

Seriens namn och nummer
Vatten- och miljöförvaltningens publikationer
- serie A 202

ISBN
951-47-9985-2

ISSN
0786-9592

Sidantal
51

Språk
finska

Pris

Sekretessgrad
offentlig

Distribution
Tryckericentralen Ab
PB 516, 00101 Helsingfors

Förlag
Vatten- och miljöstyrelsen
PB 250, 00101 Helsingfors

DOCUMENTATION PAGE

Published by
National Board of Waters and the Environment
Turku Water and Environment District

Date of publication
January 1995

Author(s)
Elina Joensuu and Pasi Laihonen

Title of publication
Monitoring of air quality in the province of Turku and Pori. Initiating the monitoring of bioindicator- and soil parameters in the background area.

Type of publication *Commissioned by*
Development plan

Parts of publication

Abstract
Bioindicator methods including physical and chemical measurements have proven effective in air quality monitoring. An extensive monitoring network based on forest and soil parameters can be established and maintained with fairly low costs. The background area network presented in this report will expand the monitoring network to cover the entire area of the province of Turku and Pori. The network will give environmental authorities local and regional data on air quality and environmental changes.

Monitoring the effects of air quality is an important part of the monitoring of terrestrial environment. The network presented can be used as a national model for organising the monitoring of terrestrial environment for the needs of regional environmental administration.

Keywords
Bioindicators, soil, terrestrial environment, monitoring, air protection

Other information

Series (key title and no.)
Publications of the Water and Environment
Administration - series A 202

ISBN
951-47-9985-2

ISSN
0786-9592

Pages
51

Language
Finnish

Price

Confidentiality
Public

Distributed by
Painatuskeskus
P.O. Box 516, SF-00101 Helsinki, Finland

Publisher
The National Board of Waters and the Environment
P.O. Box 250, SF-00101 Helsinki, Finland

ALKUSANAT

Ympäristöntutkimus ja ympäristön tilan seurannan järjestäminen ovat Suomessa aina noudattaneet lainsäädännön ja ympäristöhallinnon kehittymistä. Ympäristön saastuminen havaittiin ensiksi vesissä ja vesiympäristön suunnitelmallinen seuranta aloitettiinkin lainsäädännön pohjalta jo 1960-luvulla. Ilmansuojelulakiin perustuvia päätöksiä ja niistä johtuvia ilmansuojeluinvestointeja on tehty 1980-luvun alkupuolelta lähtien. Päätösten ja investointien ympäristövaikutusten arviointi ja mahdolliset ilmansuojelupolitiikan tarkistukset voidaan tehdä ainoastaan luotettavan seurantatiedon pohjalta. Ilmansuojelun tuloksia arvioidaan pääasiassa maaympäristön tilan seurannan avulla.

Maaympäristön järjestelmällinen seuranta on vasta käynnistymässä. Tälle työlle voidaan asettaa ainakin kaksi selkeää tavoitetta. Seurannan tulee palvella sekä maakekosysteemien yleisen muutoksen havaitsemista, että tarkemmin yksilöitävien ympäristöongelmien suoraa havainnointia. Merkittävä tarkemmin yksilöitävä maaympäristön ympäristömuutosten aiheuttaja on ilman kautta tuleva kuormitus. Bioindikaattorimenetelmät ja niitä tukevat fysikaalis-kemialliset mittaukset on todettu tehokkaiksi laajojen alueiden ilmaperäisen kuormituksen seurantamenetelmiksi.

Alueellinen ilman laadun seuranta rajoittuu toistaiseksi lähes kokonaan toiminnanharjoittajien ja muiden seurantavelvollisten kustantamiin päästölähteiden välittömien vaikutusalueiden seurantoihin. Vesiympäristön seurannoissa tilanne on olennaisesti parempi, sillä jokainen vesi- ja ympäristöpiiri käyttää vuosittain usean henkilön työpanoksen päästölähteiden välittömän vaikutuksen ulkopuolisten vesialueiden seurantaan. Alueellisen ympäristöhallinnon uudistamisen yhteydessä tulevat kaikki sekä maa- että vesiympäristöön vaikuttavat ympäristöalan viranomaistehtävät samalle virastolle. Muutos asettaa entistä suurempia vaatimuksia maaympäristön seurannan järjestämiselle ja merkittävä osa ympäristöhallinnon tulevien aluekeskusten tutkimustoiminnasta tulee palvelemaan maaympäristön seurantaa.

Turun ja Porin läänin ympäristönsuojelun viranomaistehtävissä ilmansuojelulla ja siihen liittyvällä tutkimuksella on suuri merkitys. Alueella syntyy runsaasti ilmaa kuormittavia päästöjä ja ilman epäpuhtauksien kaukokulkeuman vaikutus on suuri. Tämä selvitys toimii suunnitelma-asiakirjana Turun ja Porin läänin alueen ilman laadun bioindikaattoritutkimusten järjestämisessä. Työtä voidaan käyttää mallina myös muissa alueellisissa ilman laadun seurannan kehittämishankkeissa. Työtä ohjasi asiantuntijaryhmä, jonka jäseninä eri vaiheissa olivat Pirjo Gyllenberg, Eljas Hietämäki ja Esko E Rannikko (Turun ja Porin lääninhallitus), Mikko Jokinen (Turun kaupunki), Ilkka Jussila ja Mikko Ojanen (Turun yliopisto, Satakunnan ympäristöntutkimuskeskus), Pasi Laihonen ja Veli-Matti Tiainen (Turun vesi- ympäristöpiiri), Matti Lankiniemi (Porin kaupunki), Jarmo Muurman (Ympäristöministeriö), Pertti Niiranen (Neste Oy, Naantali), Raimo Rantalahti (Outokumpu Harjavalta Metals), Tuija Ruoho-Airola (Ilmatieteen laitos) ja Maija Salemaa (Metsäntutkimuslaitos). Käytännön työn teki Turun vesi- ja ympäristöpiirin toimeksiannosta tutkija Elina Joensuu, joka toimi myös ryhmän sihteerinä. Käsikirjoituksesta saatiin viralliset lausunnot Ilmatieteen laitokselta, Metsäntutkimuslaitokselta, Satakuntaliitosta ja Varsinais-Suomen liitosta.

SISÄLLYS

ALKUSANAT	6	
1	ILMAPERÄINEN KUORMITUS TURUN JA PORIN LÄÄNISSÄ	9
1.1	Alueen päästöt	9
1.2	Kokonaislaskeuma	9
1.3	Kriittisen kuormituksen rajan ylittyminen	14
2	ILMAN LAADUN SEURANNAN NYKYTILANNE TURUN JA PORIN LÄÄNISSÄ	14
2.1	Kertaluonteiset ilman laadun selvitykset	14
2.2	Ilman epäpuhtauksien vaikutuksiin liittyvät tutkimukset	15
2.3	Pitkäaikaiseksi suunniteltu ilman laadun seuranta	16
2.3.1	Mittaukset ja mallit	16
2.3.2	Käynnistynyt bioindikaattori- ja maaperäseuranta	16
3	EHDOTUS TAUSTA-ALUEEN ILMAN LAADUN SEURANNAKSI TURUN JA PORIN LÄÄNISSÄ	17
3.1	Seurannan tavoitteet	17
3.2	Seuranta metsien bioindikaattorien ja maaperän kemian avulla	19
3.2.1	Yleistä	19
3.2.2	Seurattavat reaktiobioindikaattoritunnukset	22
3.2.2.1	Männyn neulaskato	22
3.2.2.2	Männyn epifyyttijäkälät	23
3.2.2.3	Viherlevä kuusen neulasilla	24
3.2.3	Seurattavat kertymäbioindikaattoritunnukset	24
3.2.3.1	Männyn neulasten rikkipitoisuus	24
3.2.3.2	Männyn neulasten typpipitoisuus	25
3.2.3.3	Männyn neulasten muut alkuainepitoisuudet	25
3.2.3.4	Metsäsammalien raskasmetallipitoisuus	25
3.2.4	Seurattavat maaperän happamoitumistunnukset	26
3.2.5	Havaintoalaverkoston luominen	26
3.2.6	Aineiston käsittely ja tulosten raportointi	27
3.2.7	Seurannan voimavaratarve	27
3.2.7.1	Tutkimusryhmä	27
3.2.7.2	Laboratorio	28
3.2.7.3	Tietojenkäsittely	28
3.2.7.4	Aikataulu- ja kustannusarvio	28
3.2.8	Yleiset kehittämistarpeet	30
3.2.8.1	Otanta ja seurannan toistamisväli	30
3.2.8.2	Bioindikaattori- ja maaperätutkimuksen soveltaminen	30
3.2.8.3	Aineiston numeerinen käsittely	31
3.2.8.4	Laboratorioanalytiikka	31
3.2.8.5	Rekisteri	31
3.3	Seurantaverkosto	31

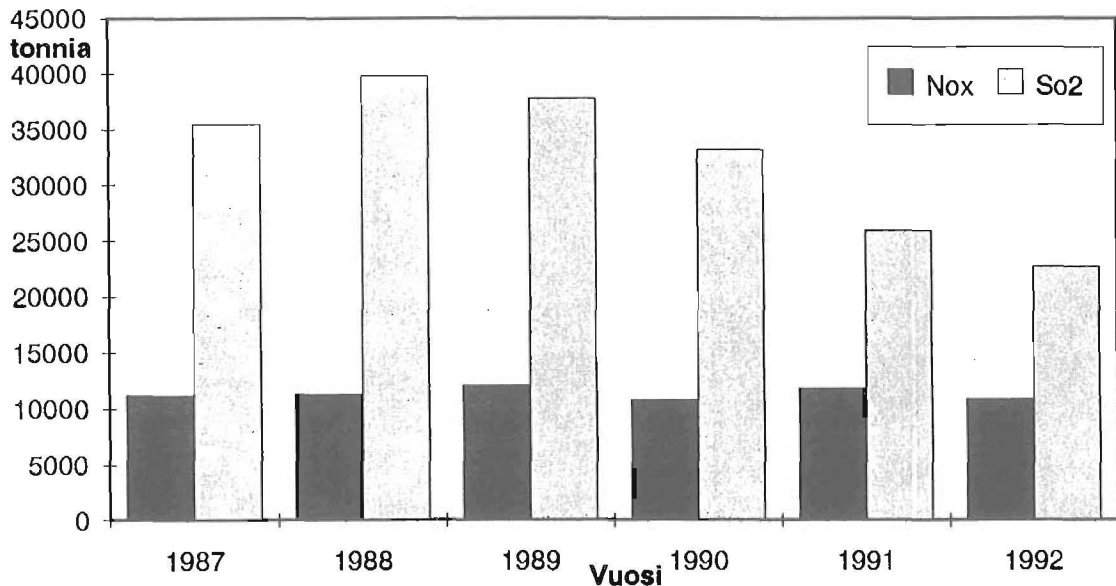
4	OSAPUOLET	33
4.1	Ilmansuojelun viranomaistoiminta	33
4.1.1	Lääninhallitus	33
4.1.2	Vesi- ja ympäristöpiiri	35
4.1.3	Asiantuntijat	35
4.1.4	Kunnat	36
4.1.5	Toiminnanharjoittajat	37
4.2	Ehdotus osapuolien työnjaoksi	37
4.2.1	Ilman laadun seuranta	37
4.2.2	Seurantamenetelmien kehittäminen	37
5	YHTEENVETO	38
6	KIITOKSET	39
	KIRJALLISUUS	40
	LIITE	44
1	Havaintoalan perustaminen ja tutkimusmenetelmät	

1 ILMAPERÄINEN KUORMITUS TURUN JA PORIN LÄÄNISSÄ

1.1 Alueen päästöt

Turun ja Porin läänissä ilmansuojelulain perusteella ilmoitusvelvollisten laitosten rikkidioksidipäästöt olivat vuonna 1992 noin 23 000 tonnia. Typen oksidien päästöt olivat vuonna 1992 ilmoitusvelvollisten laitosten osalta noin 11 000 tonnia. Rikki-päästöt ovat alentuneet viiden vuoden aikana, mutta typpipäästöt ovat pysyneet lähes ennallaan (kuva 1). Liikenteen typpipäästöt ovat suuremmat kuin laitosten. Liikenteen typen oksidien päästöt olivat noin 15 000 tonnia vuonna 1987 (Kuntien tieliikenteen... 1990). Ilmoitusvelvollisten laitosten kuntakohtaiset rikki- ja typpipäästöt on esitetty kuvissa 2 ja 3.

Raskasmetallien merkittävin päästölähde Suomessa ovat Turun ja Porin läänissä sijaitsevat Outokumpu Harjavalta Metals Oy:n tehtaat (Taipaleenmäki 1991).

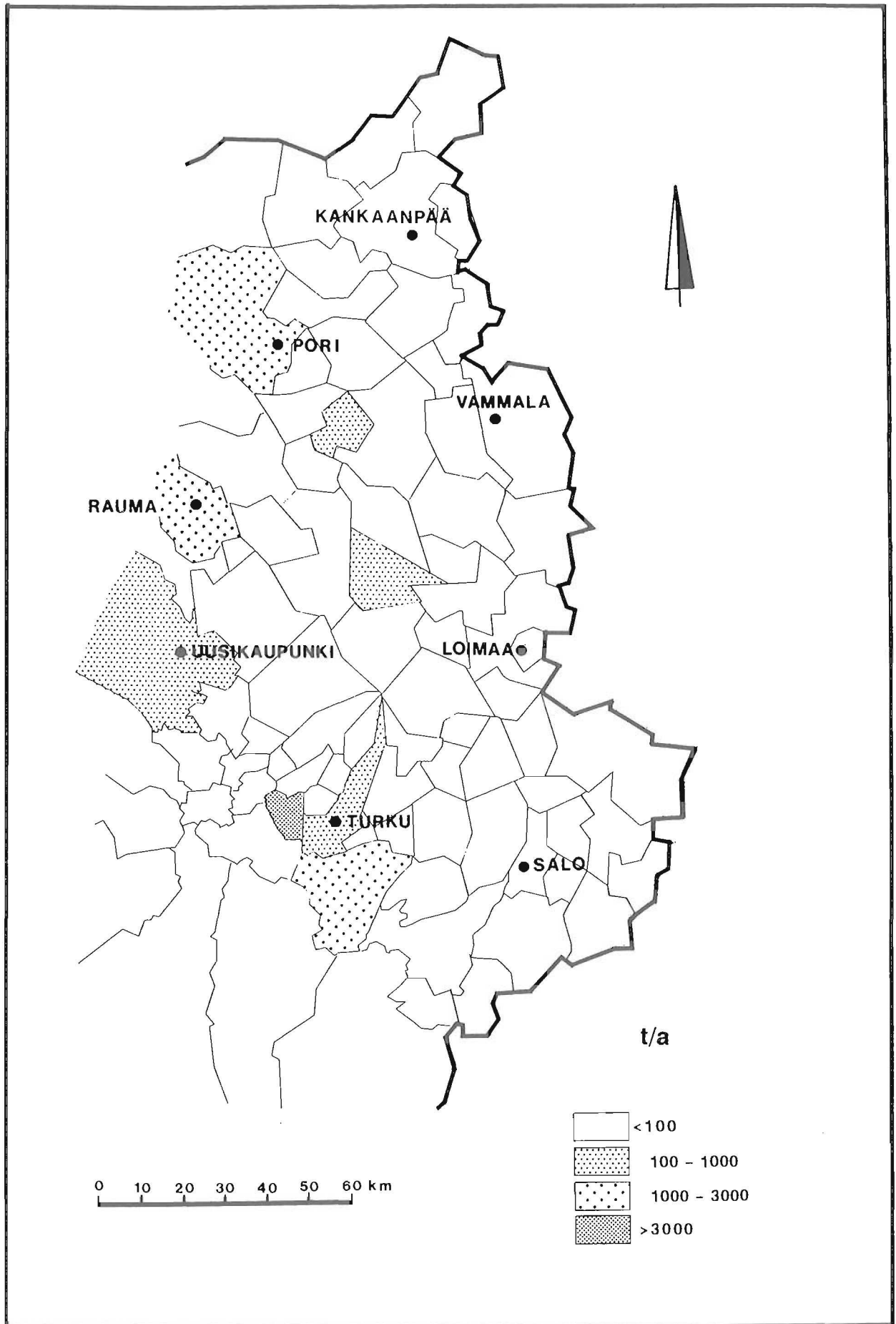


Kuva 1. Typen oksidien ja rikkidioksidin päästöjen kehitys kuuden vuoden aikana Turun ja Porin läänissä.

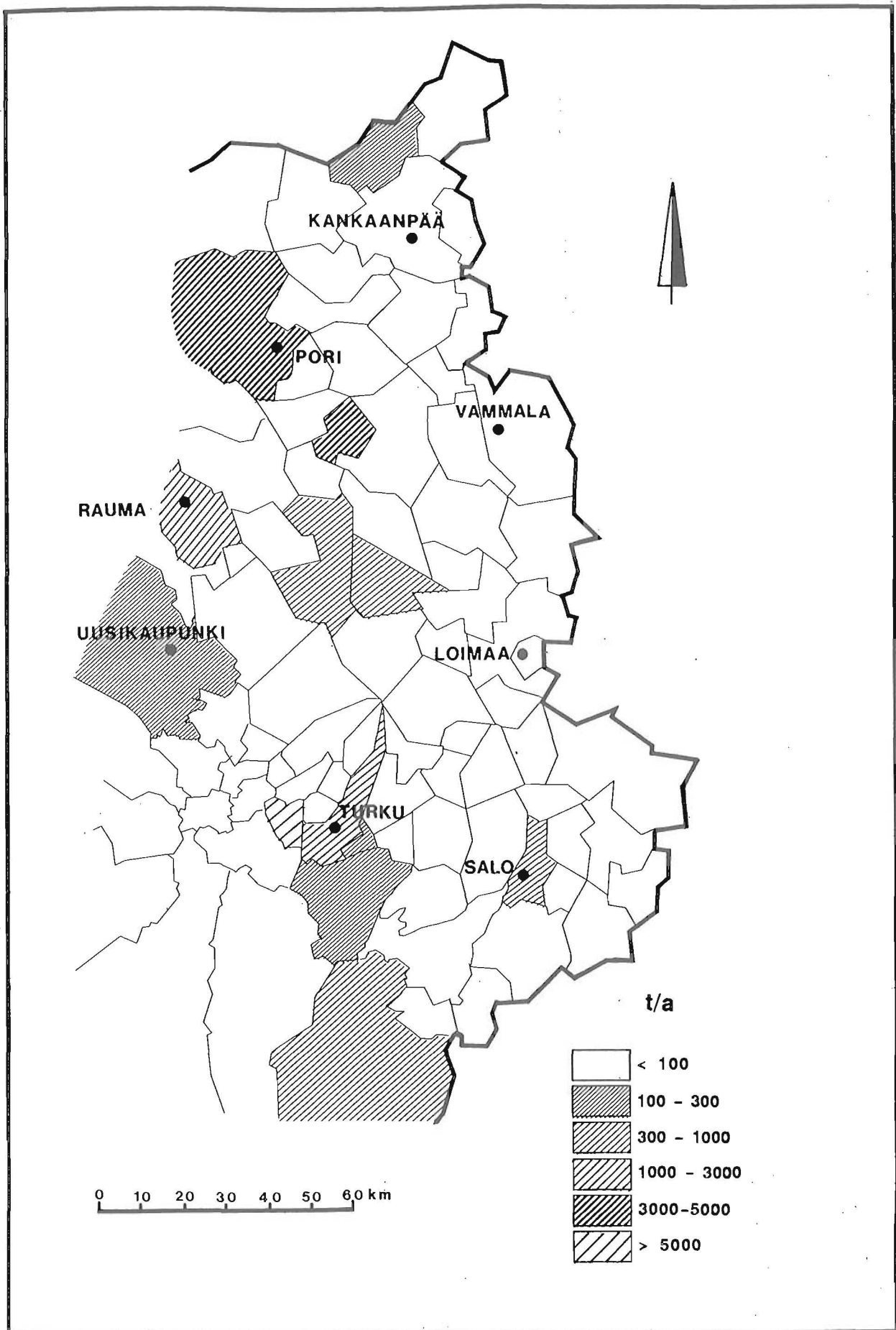
1.2 Kokonaislaskeuma

Happamoittava kokonaislaskeuma on peräisin Suomen omista päästöistä sekä ulkomailta tulevista päästöistä.

Suomen rikkikuorma oli vuosina 1990–1991 noin 166 000 tonnia vuodessa (Ympäristökatsaus 1993). Suomen omien päästöjen osuus rikkilaskeumasta on vuosina 1985–1990 ollut 24 % (Rikkitoimikunta II:n mietintö 1993). Suomen ja muun Euroopan rikkipäästöt ovat vähentyneet vuodesta 1980 lähtien. Useat Euroopan maat ovat ilmoittaneet Euroopan talouskomissiolle (ECE) rikkipäästöjen vähentämistavoitteensa. Mikäli tavoitteet toteutuvat, rikkipäästöt vähenevät vuoden 1980 tasosta 39 % vuoteen 2000 mennessä.

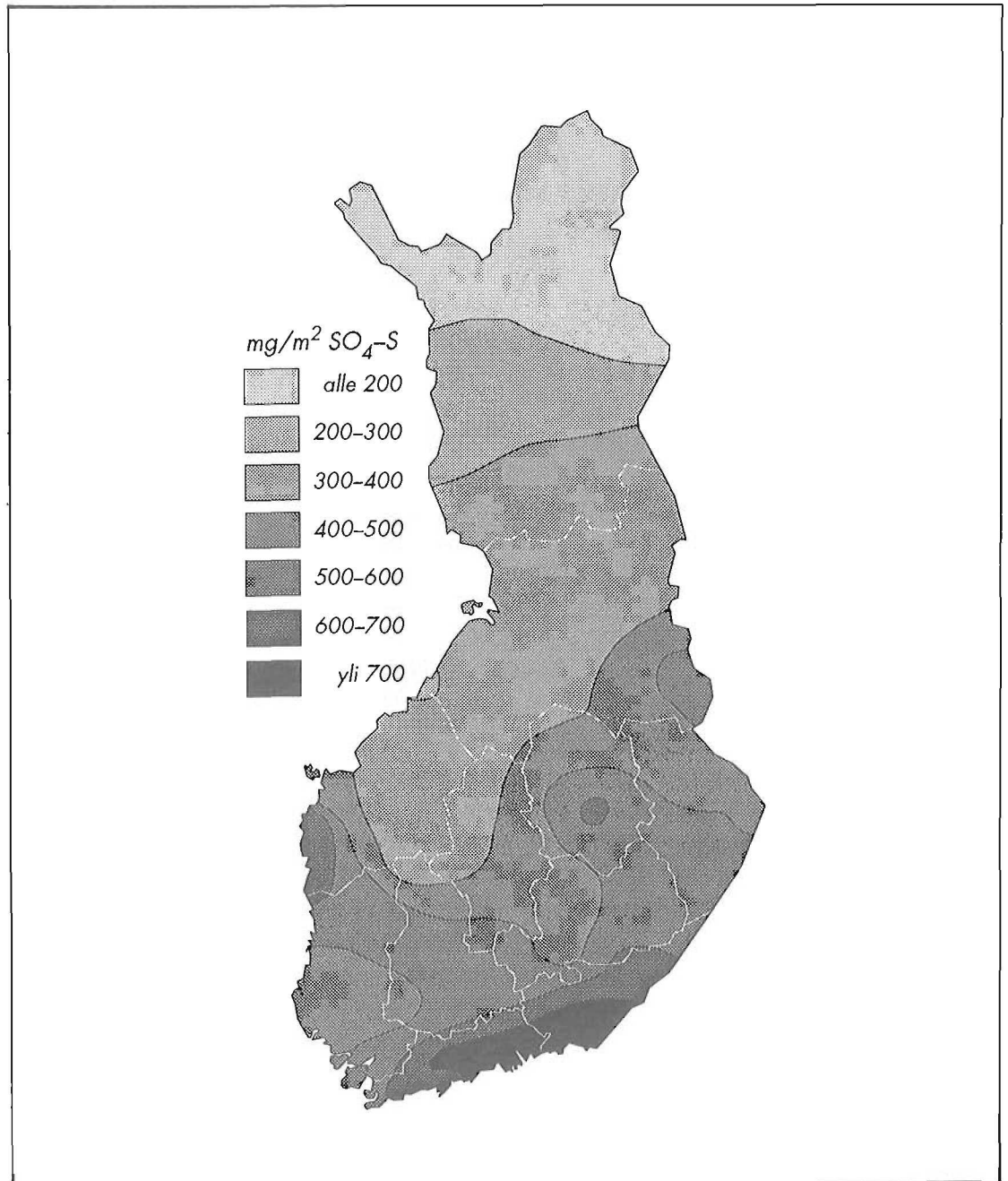


Kuva 2. Ilmansuojelulain mukaan ilmoitusvelvollisten laitosten rikkidioksidipäästöt vuonna 1992 kunnittain Turun ja Porin läänissä.

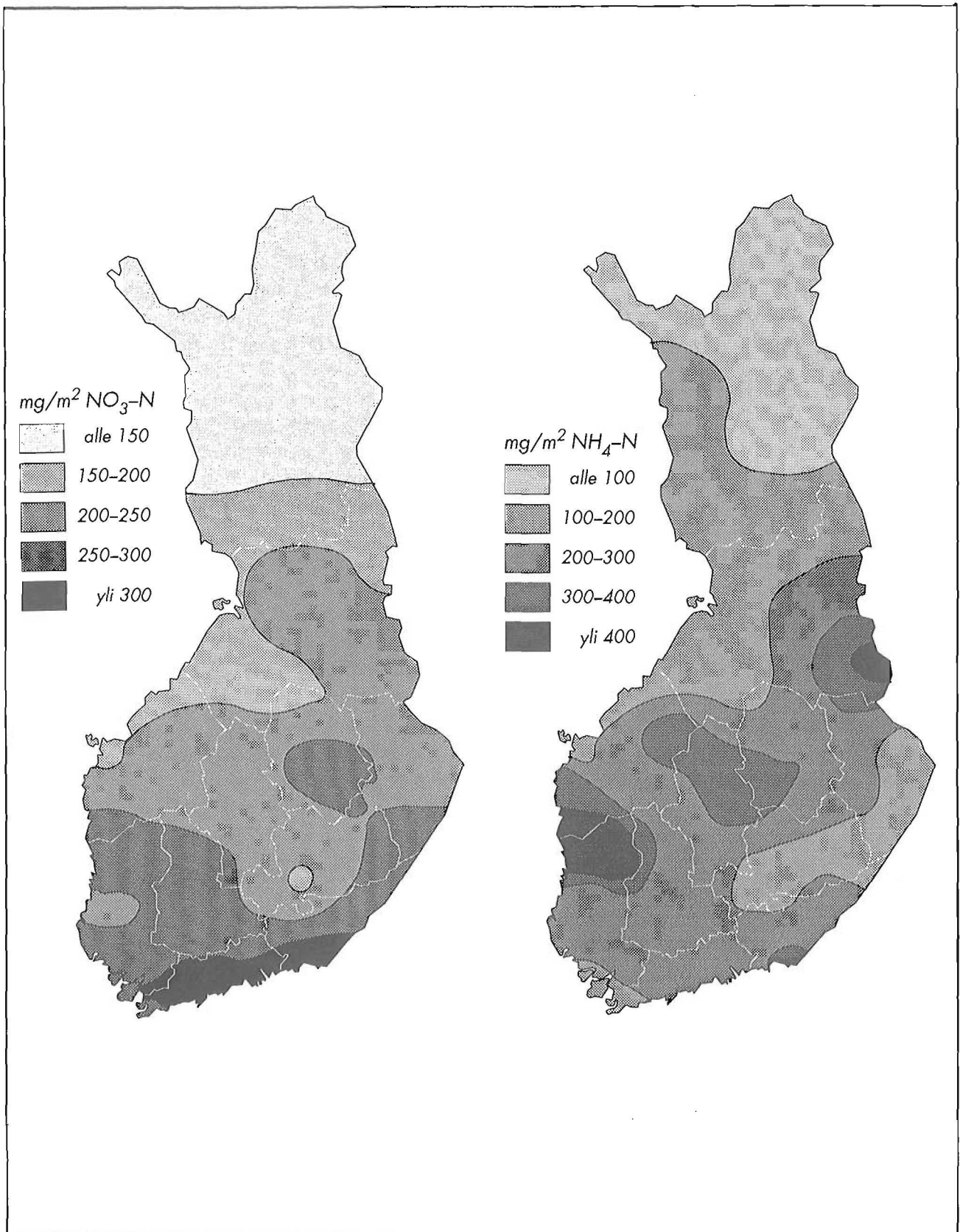


Kuva 3. Ilmansuojelulain mukaan ilmoitusvelvollisten laitosten tyyppien oksidien päästöt vuonna 1992 kunnittain Turun ja Porin läänissä.

Suomen typen oksidien päästöt oli vuonna 1991 noin 286 000 tonnia (Ympäristökatsaus 1993). Suomen omien päästöjen osuus typpilaskeumasta oli vuonna 1988 nitraattitypen osalta 20 % ja ammoniumtypen osalta 48 % (Typenoksiditoimikunnan mietintö 1990). Typen oksidien päästöjen rajoittamiseen ja vähentämiseen pyritään kansainvälisin sopimuksin. Typpipäästöjen ennustetaan kasvavan sekä nitraatti- että ammoniumtypen osalta, mikäli rajoitustoimiin ei ryhdytä. Suomen rikki- ja typpilaskeumat on esitetty kuvissa 4 ja 5.



Kuva 4. Sulfaattirikin vuosilaskeuma vuonna 1991 vesi- ja ympäristöhallituksen sadeveden havaintoasemilta kerättyjen näytteiden perusteella (Ympäristökatsaus 1993).

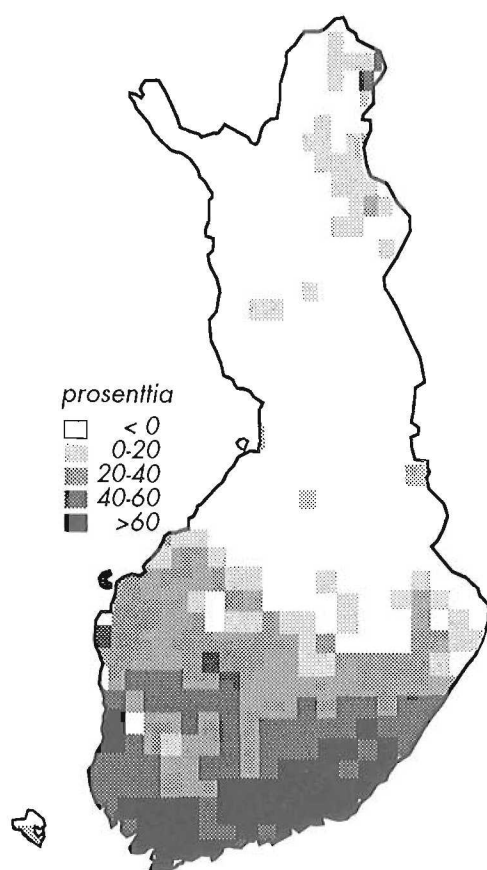


Kuva 5. Nitraattitypen (vasemmalla) ja ammoniumitypen (oikealla) vuosilaskeuma vuonna 1991 vesijäyrympäristöhallituksen sadeveden havaintoasemilta kerättyjen näytteiden perusteella (Ympäristökatsaus 1993).

1.3 Kriittisen kuormituksen rajan ylittyminen

Ympäristön kriittisellä kuormituksella tarkoitetaan sitä luontoon tulevien epäpuhtausien määrää, jonka ekosysteemit voivat vaurioitumatta kestää. Ilmaperäisen happaman laskeuman osalta yleisimmin käytetyn määritelmän mukaan "kriittinen kuormitus on korkein happolaskeuma, joka ei aiheuta kemiallisia muutoksia, jotka johtaisivat pitkällä aikavälillä haitallisiin muutoksiin oleellisissa ekosysteemin ominaisuuksissa" (Kauppi ym. 1990).

Happaman laskeuman kriittinen kuormitus voidaan kohdentaa erikseen rikille ja typelle. Turun ja Porin läänin alueella kuormitus on niin suurta, että luonnon sietokyky ylittyy. Jotta kriittisen kuormituksen raja ei ylittyisi, happamoittavan kokonaislaskeuman vähennystarve läänin alueella on 20–70 % (kuva 6).



Kuva 6. Happamoittavan kokonaislaskeuman vähennystarve prosentteina vuoden 1985 arvoista, jotta metsämaiden kriittiset kuormitukset eivät ylittyisi (Ympäristökatsaus 1992).

2 ILMAN LAADUN SEURANNAN NYKYTILANNE TURUN JA PORIN LÄÄNISSÄ

2.1 Kertaluonteiset ilman laadun selvitykset

Turun ja Porin läänin alueella on tehty ilman laatua selvittäviä tutkimuksia 1970-luvulta lähtien. Tutkimukset ovat olleet paikallisia kohdistuen joko tietyn ilmaa kuormittavan päästölähteen vaikutusten tutkimiseen tai hallinnollisen alueen – kunnan tai kuntainliiton – ilman laadun selvittämiseen. Suurimmissa kaupungeissa sekä erityisen kuormitetuilla alueilla tutkimuksia on toteutettu pitkällä aikavälillä ja useita kertoja. Kertaluonteisten tutkimusten menetelmät ja käytetyt tunnuksot vaihtelevat.

Tällaiset tutkimukset antavat tietoa yksittäisen alueen hetkellisestä ilman laadusta joidenkin tunnusten suhteen. Tutkimusten alueellinen ja ajallinen pirstaleisuus sekä käytettyjen menetelmien erilaisuus kuitenkin vaikeuttavat kattavan käsityksen saamista ilman epäpuhtauksien leviämisestä ja vaikutuksista.

Kertaluontoiset selvitykset jakaantuvat kolmeen pääryhmään:

1. Raskasmetallitutkimuksissa ovat olleet mielenkiinnon kohteena sekä metallien kulkeutuminen (kartoitus) että niiden kertyminen eri eliöihin (perustutkimus). Tutkimukset on tehty lähinnä Harjavallan ja Äetsän seuduilla. Harjavallassa bioindikaattoreina on käytetty muun muassa metsäsammalia, sammalpalloja, sieniä, puolukoita, viljelykasveja, kaneja ja ihmisiä. Äetsässä on käytetty sammalpalloja, sieniä ja pikkunisäkkäitä.
2. Ilmatieteen laitoksen ilmanlaatuosasto on tehnyt toimeksiantoina runsaasti päästömittauksia ja laskennallisia kartoituksia sekä laskeumaennusteita. Tutkimuksissa on usein mukana biologinen vaikutusosa.
3. Yliopistot ovat tehneet toimeksiantoina bioindikaattoritutkimuksia. Porin kaupungin ympäristönsuojelutoimisto on myös itse toteuttanut tutkimuksia (Tuominoro 1989).

2.2 Ilman epäpuhtauksien vaikutuksiin liittyvät tutkimukset

Turun ja Porin läänin alueella on käynnissä tutkimuksia, joiden tavoite ei varsinaisesti ole ilman laadun seuranta, mutta joiden antamia tuloksia voidaan mahdollisesti käyttää hyväksi seurannassa.

Metsäntutkimuslaitos tekee säännöllistä valtakunnan metsien inventointia, joista meneillään on kahdeksas (VMI-8). Valtakunnan metsien inventoinnissa selvitetään Suomen metsävarat, niiden hyväksikäyttö sekä metsien kunto. Kahdeksannen inventoinnin yhteydessä on perustettu pysyvä 3 009 alaa käsittävä havaintoalaverkosto. Verkostoa käytetään otoskehikkona vuosina 1992–1996 käynnissä olevassa metsien terveydentilan tutkimusohjelmassa. Ohjelma koostuu kaikkiaan kolmesta hankeryhmästä:

valtakunnalliset hankkeet

- metsien elinvoimaisuuden kartoitus
- metsäkasvillisuus ja metsikkökarike ympäristöindikaattoreina
- metsämaiden viljavuus ja happamoituminen
- raskasmetallikartoitukset bioindikaattorien avulla

alueelliset hankkeet

- Itä-Lapin metsävaurioprojekti
- Länsi-Suomen metsien terveydentila
- Karjalan metsien terveydentila

erillishankkeet

- ilman epäpuhtauksien vaikutus metsäekosysteemin toimintaan

- soluvaurioiden diagnostiikka - kokeelliset altistukset
- metsäekosysteemin typensietokyky
- metsän terveyslannoitus
- kansainvälinen yhdennetty ympäristön seuranta.

Valtakunnallisten hankkeiden verkosto käsittää Turun ja Porin läänin alueella joitakin kymmeniä havaintoaloja. Aloilla tehdään tutkimusta hankkeesta riippuen yhdestä kymmeneen vuoden välein. Verkoston aloilta kerätään myös Euroopan pohjoisten maiden metsäsammalista (ja vuodesta 1995 alkaen myös humuksesta ja kivennäismaasta) tehtävän raskasmetallikartoituksen näytteitä.

Länsi-Suomen metsien terveydentila -hanke käynnistyi vuonna 1992. Viisivuotisen hankkeen tavoitteena on muun muassa tuottaa alueellista ilman epäpuhtauksien päästö-, pitoisuus- ja laskeumatietoa, kartoittaa Satakunnan happamoitumiselle herkkien mäntykankaiden terveydentilaa ja kehittää metsien terveydentilaa kuvaavia indikaattoreita. Turun ja Porin läänissä on hankkeen havaintoaloja sijoitettu Hämeen-Pohjankankaalle, Säskylänharjulle, Harjavaltaan sekä Poriin yhteensä 30 (kuva 7).

Olkiluodon ydinvoimalan vaikutuksia ympäröiviin metsiin on selvitetty kertaluontoisesti 60 havaintoalalla (kuva 7). Alat on perustettu kesällä 1992 ja merkitty pysyvästi, joten niillä on mahdollista tehdä seurantaa.

2.3 Pitkäaikaiseksi suunniteltu ilman laadun seuranta

2.3.1 Mittaukset ja mallit

Ilmatieteen laitos tuottaa ilman epäpuhtauksien päästö-, kulkeuma- ja laskeumatietoa kansainvälisen, valtakunnallisen ja alueellisen tason mittauksilla ja laskennallisilla malleilla. Laitoksella on Turun ja Porin läänin alueella yksi pysyvä ilman laadun mittausasema Korppoon Utössä.

Vesi- ja ympäristöhallituksella on sadeveden laadun mittausasemia läänin alueella Korppoossa, Peipohjassa, Oripäässä ja Jämijärvellä.

Turussa, Raisiossa, Naantalissa, Raumalla, Harjavallassa ja Porissa on lisäksi käynnissä jatkuva ilman laadun mittaus yhdessä tai muutamassa mittauspisteessä kerrallaan. Mitattavia tunnuksia ovat ilman rikkidioksidin, typen oksidien ja hiukkasten pitoisuudet.

2.3.2 Käynnistynyt bioindikaattori- ja maaperäseuranta

Turun ja Porin läänin voimakkaimmin kuormitetuissa osissa on vuodesta 1990 lähtien tehty alusta alkaen toistuvaksi suunniteltua, pysyvien havaintoalojen avulla tapahtuvaa ilman laadun bioindikaattori- ja maaperäseurantaa. Kuntien ja teollisuuden vapaaehtoinen yhteistyö on käynnistynyt lääninhallituksen aloitteesta. Tutkimuksen tekijänä on ollut Turun yliopiston Satakunnan ympäristöntutkimuskeskus.

Porin-Harjavallan alueelle ja Turun seudulle havaintoalaverkosto perustettiin vuonna 1990, Paraisille vuonna 1991, Pyhäjärvisseudulle vuonna 1992 ja Rauman-Uudenkaupungin alueelle vuonna 1993. Rauman-Uudenkaupungin alueen seurannasta jättäytyi

pois kuusi kuntaa: Eurajoki, Lappi TL, Kodisjoki, Vehmaa, Taivassalo ja Kustavi. Seuranta toistettiin ensimmäisenä Porin–Harjavallan alueella vuosina 1992–1993 (Kuva 7).

Havaintoalat on sijoitettu asukastiheyden, paikallisten ilmaa kuormittavien päästölähteiden sijainnin sekä maantieteellisten olosuhteiden perusteella tausta-alueita kohti harvenevaksi verkostoksi. Tiheimmillään verkoston tiheys on 30 havaintoalaa/100 km². Tausta-alueilla verkoston tiheys on neljä havaintoalaa/100 km². Verkosto käsittää nyt yhteensä 820 havaintoalaa, joilla on 553 mäntyalaa ja 267 kuusialaa.

Seurannassa tutkittavat tunnuksat ovat havupuiden neulaskato, männyn ja kuusen epifyyttijäkälät, männyn neulasten alkuainepitoisuudet, sekä maaperän happamoitumistunnuksat ja alkuainepitoisuudet. Porin–Harjavallan alueella on lisäksi tutkittu hyönteisten esiintymistä ja taimikoiden kasvua.

Osa-alueiden havaintoalojen seuranta on suunniteltu toteutettavaksi viiden vuoden välein. Havaintoalaverkostojen perustamisvuoden mukaisesti seuranta-aikataulu on seuraava:

osa-alue	perustettu	seurantavuodet
Turun seutu ja Parainen	1990	1995, 2000, jne.
Porin–Harjavallan alue	1990	1996*, 2001, jne.
Pyhäjärvisseutu	1992	1997, 2002, jne.
Rauman–Uudenkaupungin alue	1993	1998, 2003, jne.

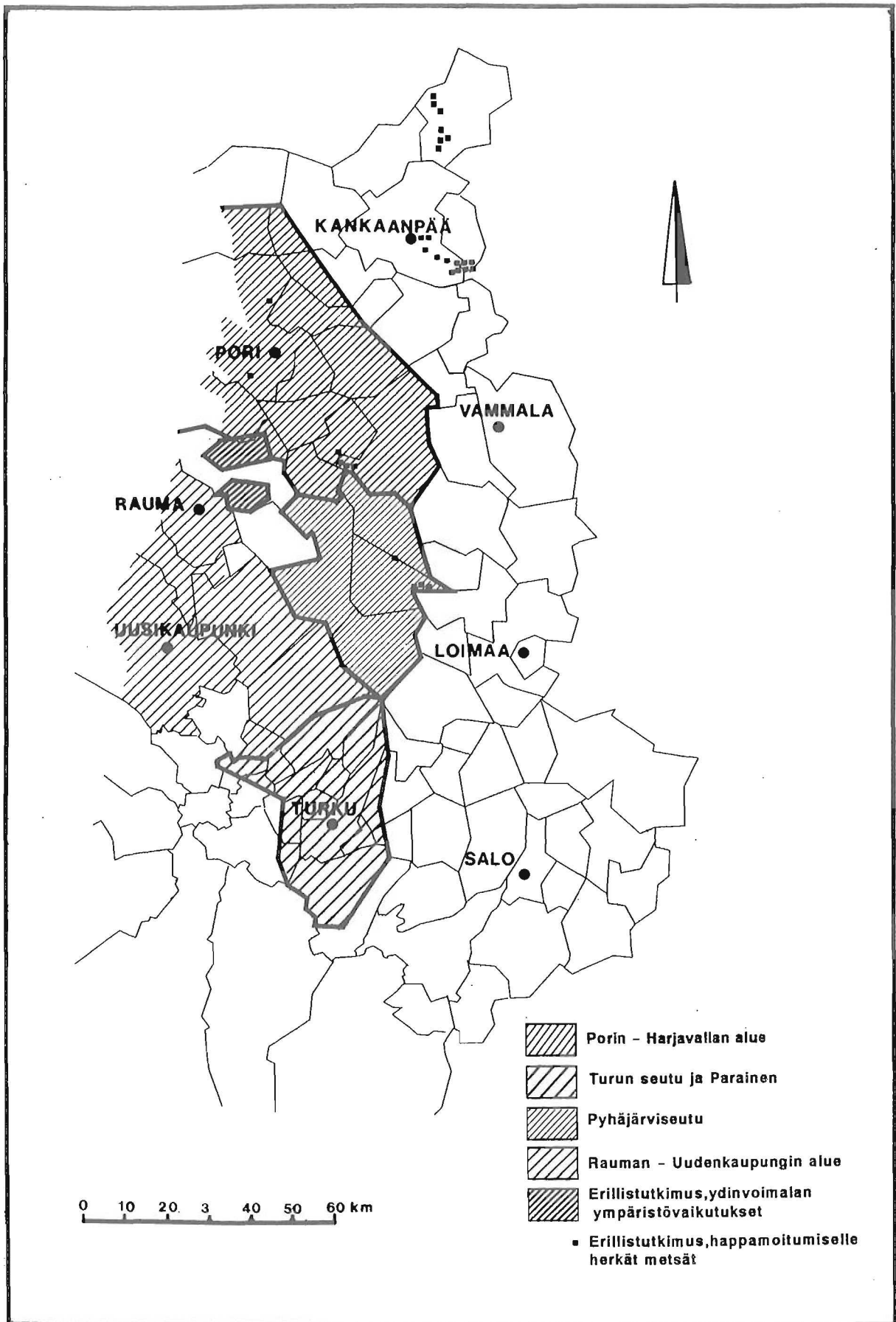
* Porin–Harjavallan alueen ensimmäinen väliseuranta toteutettiin vuosina 1992–1993. Kattava seuranta siirtyy vuodella osa-alueiden seurantojen porrastamiseksi.

Euroopan pohjoisten maiden raskasmetallikartoituksen metsäsammalnäytteitä kerätään koko valtakunnan alueella valtakunnan metsien inventoinnin koelaverkostosta. Kartoituksen toistamisväli on viisi vuotta, ja seuraava kartoitus tehdään vuonna 1995, jolloin kerätään myös humus- ja kivennäismaanäytteitä. Turun ja Porin läänin alueella kartoituspisteitä on 50–60.

3 EHDOTUS TAUSTA-ALUEEN ILMAN LAADUN SEURANNAKSI TURUN JA PORIN LÄÄNISSÄ

3.1 Seurannan tavoitteet

Turun ja Porin läänin kuormitetuimpien alueiden ulkopuolelle jäävän tausta-alueen ilman laadun seuranta on välttämätöntä etenkin kaukokulkeuman pitkän ajan kuluessa mahdollisesti aiheuttaman happamoitusvaikutuksen todentamiseksi. Tausta-alueella on lisäksi kohtalaisesti paikallista kuormitusta. Seurannan tavoitteena on saada käsitys ilman epäpuhtauksien – erityisesti rikki- ja typpiyhdisteiden sekä raskasmetallien – leviämisestä ja vaikutuksista koko läänin alueella.



Kuva 7. Turun ja Porin läänin kuormitetuimpiin osiin on vuodesta 1990 alkaen perustettu pysyviä ilman laadun bioindikaattori- ja maaperäseurantaverkostoja. Olkiluodon ydinvoimalan ympäristövaikutuksia ja Satakunnan happamoitumiselle herkkien metsien terveydentilaa on selvitetty erillisissä tutkimuksissa.

Laajojen alueiden ilman laadun seurannassa ovat yleistymässä bioindikaattori- ja maaperätutkimukseen perustuvat havaintoalaverkostot. Eliöt ja maaperä reagoivat ilman laadun muutoksiin tutkimuksissa todennetuilla tavoilla, ja niitä voidaan käyttää muutoksien osoittajina – indikaattoreina. Tutkimusta voidaan tehdä kohtuullisin kustannuksin useissa, samoina pysyvissä kohteissa pitkän ajan kuluessa. Tällainen sekä alueellisesti että ajallisesti kattava seuranta ei ole käytännössä mahdollista muilla menetelmillä.

Seurannan tarkoitus on tuottaa tietoa ilman epäpuhtauksien ympäristövaikutuksista etenkin alue- ja paikallishallinnon ilmansuojeluviranomaisten – lääninhallituksen ja kuntien ympäristölupaviranomaisten – ilmansuojelulain mukaisen päätöksenteon tarpeisiin. Seurannan tutkimustietoa voitaneen hyödyntää myös valtakunnallisessa ja kansainvälisessä ilmansuojelupolitiikassa.

3.2 Seuranta metsien bioindikaattorien ja maaperän kemian avulla

3.2.1 Yleistä

Bioindikaattorit

Ympäristön tilan kartoituksessa ja seurannassa käytetään muun muassa bioindikaattoreita. Bioindikaattorilla tarkoitetaan eliötä, jota käytetään mittaamaan ympäristössä tapahtuvia, yleensä ihmisen aikaansaamia muutoksia. Suomen standardisoimisliiton standardien (SFS 5669, 5670, 5671 ja 5672) mukaan

"bioindikaattori on eliö, eliöyhdyskunta tai sen osa, jonka avulla tutkitaan ympäristön laatua. Eliön, eliöyhdyskunnan tai sen osan rakenteen, toiminnan, kemiallisen koostumuksen tai alkuainepitoisuuden muutos osoittaa esimerkiksi epäpuhtauksien esiintymistä, levinneisyyttä tai vaikutuksia".

Edelleen standardien mukaan

"bioindikaatio on bioindikaattoreilla tehtävä tutkimus, jossa saadaan yleensä samalla arvio eri epäpuhtauksien merkityksestä havaittujen muutosten synnyssä".

Bioindikaattoreita käytetään tutkittaessa niin ilmassa, maassa kuin vedessä tapahtuvia muutoksia. Bioindikaattoreina voidaan käyttää kasveja, eläimiä sekä näiden osia. Bioindikaattorit ovat tavallisimmin eläviä, mutta myös eräitä kuolleita eliöitä tai niiden osia – esimerkiksi kaarnaa – voidaan käyttää.

Bioindikaatio voidaan jakaa kahteen pääryhmään (Arndt ym. 1987). **Reaktioindikaatio** mittaa eliöissä tai eliöyhteisöissä tapahtuvaa muutosta. Muutos voi tapahtua esimerkiksi eliöiden vaurioasteissa tai lajien runsaussuhteissa. **Kertymäindikaatio** mittaa aineiden kvantitatiivisia muutoksia ympäristössä.

Ilman epäpuhtauksien vaikutuksia on arvioitu jo pitkään bioindikaattorien avulla. Ensimmäisiä havaintoja puiden rungoilla kasvavien jäkälien häviämisestä ilmansaasteiden vaikutuksesta tehtiin jo 1800-luvulla Englannissa. Kokonaisia kaupunkoja kattavia jäkäläkartoituksia on tehty ensimmäisten joukossa Münchenissa (1891–1901) ja Tukholmassa (1926). Suomen ensimmäinen jäkälävauriokartoitus tehtiin Helsingissä 1930-luvulla. Ilman epäpuhtauksien vaikutusten bioindikaattoritutkimukset alkoivat

yleistyä 1970-luvulla, ja bioindikaation avulla tapahtuva kartoitus on saavuttamassa vakiintuneen aseman ilman laadun seurannassa.

Ilman epäpuhtauksien vaikutuksia erilaisiin eliöihin on selvitetty runsaasti maasto- ja laboratorio-oloissa. Kokeellista tutkimusta tehdään muun muassa maaperämikrobeilla ja -eläimillä, mykorritsasienillä, sammalilla, varvuilla, ruohovartisilla kasveilla ja puilla. Lisäksi esimerkiksi neulasvauriodiagnostiikan ja kariketutkimuksen avulla voidaan saada lisää tietoa epäpuhtauksien vaikutuksista.

Varsinaisissa kartoituksissa on reaktioindikaattoreina yleisimmin käytetty puiden jäkäläepifyyttien esiintymistä ja kuntoa sekä havupuiden neulaskadon voimakkuutta. Myös viherlevän, tuhohyönteisten, perhosten teollisuusmelanisin sekä jäkälien, neulasten ja lehtien solutason vaurioiden esiintymistä on kartoitettu.

Kertymäindikaatiomenetelmistä kartoituksissa tavallisimpia ovat havupuiden neulasten rikkipitoisuuden sekä metsäsammalien tai sammalpallojen raskasmetallipitoisuuksien määrittäminen. Aineiden kertymäindikaattoreina on lisäksi käytetty esimerkiksi jäkäliä - etenkin sormipaisukarvetta, kaarnaa ja sieniä.

Ympäristön tilan kartoitus ja seuranta edellyttävät laaja-alaisia havaintoalaverkostoja. Tutkimusmenetelmien tulee olla luotettavia, vertailukelpoisia ja kohtuullisin kustannuksin toteutettavia. Kartoituksessa ja seurannassa mittareina käytettäville bioindikaattoreille voidaan tämän vuoksi asettaa seuraavia vaatimuksia:

- indikaattorilajilla on laajahko levinneisyysalue ja laji on geneettisesti yhtenäinen
- indikaattori reagoi herkästi ja spesifisesti
- vaikutus ilmenee indikaattorissa selvänä ja yksiselitteisenä
- indikaattori on helposti tunnistettava ja käsiteltävä.

Vaatimukset täyttävien bioindikaattoreiden löytäminen on usein ongelmallista. Useiden mahdollisten menetelmien bioindikaatioarvo on toistaiseksi selvittämättä ja käytännössä testaamatta. Kartoituksissa ja seurannoissa jo käytettävien menetelmienkin kehittäminen on vielä välttämätöntä. Yhtenäisiä, standardisoituja menetelmiä on toistaiseksi muutamia. Suomen standardisoimisliitto on laatinut ilmansuojeluun liittyviä bioindikaation standardimenetelmiä havupuiden neulasten ja metsäsammalien käytöstä kertymäindikaattoreina sekä jäkäläkartoituksen käytöstä reaktioindikaattorina seuraavasti:

SFS 5669

Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Havupuiden neulasten kokonaisrikkipitoisuus. Näytteenotto, esikäsittely ja tulosten esittäminen.

SFS 5671

Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Sammalten kemiallinen analyysi. Näytteenotto, esikäsittely ja tulosten esittäminen.

SFS 5672

Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Havupuiden neulasten fluoridipitoisuus. Näytteenotto ja kemiallinen määrittäminen.

SFS 5670

Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Jäkäläkartoitus.

Valmisteilla on lisäksi ehdotuksina sammalpollomenetelmä-kertymäindikaatiostandardi ja eräitä analyysimenetelmästandardeja:

SFS E 221

Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Sammalpollomenetelmä.

SFS E 217

Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Havupuiden neulasten rikki- ja raskasmetallipitoisuuden määrittäminen röntgenfluoresenssimenetelmällä.

SFS E 218

Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Neulasten rikki- ja raskasmetallipitoisuuden määrittäminen ICP-emissiospektrometrillä.

SFS E 219

Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Neulasten rikki- ja raskasmetallipitoisuuden määrittäminen IR-menetelmällä polttamalla korkeassa lämpötilassa.

SFS E 220

Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Neulasten rikki- ja raskasmetallipitoisuuden määrittäminen ionikromatografisesti.

Maaperän kemia

Maaperän happamoituminen johtuu toisaalta luonnon prosesseista ja toisaalta ilman epäpuhtauksista. Ilman epäpuhtauksien vaikutus luontoon tapahtuu usein välillisesti maaperän kautta. Happamoitumisteorian mukaan hapan laskeuma aiheuttaa pitkän ajan kuluessa kasveille elintärkeiden ravinteiden huuhtoutumista syviin maakerrokseen juurten ulottumattomiin ja myrkyllisten metallien, kuten alumiinin liukenemistä.

Maaperän kemiallisilla mittauksilla voidaan arvioida happamoitumisen etenemistä ja niitä käytetään usein ilman laadun seurantatutkimuksissa. Maaperänäytteiden otolle ja kemiallisille määrittämisille ei ole toistaiseksi olemassa standardisoituja menetelmiä.

Kehittäminen

Turun ja Porin läänin tausta-alueelle suunniteltu ilman laadun seurannan verkosto käsittää useita satoja havaintoaloja. Tutkittavat biologiset tunnuksot koostuvat reaktio- ja kertymäbioindikaattoreista. Maaperätunnusten avulla selvitetään maan happamoitumista. Tunnuksot ovat olleet yleisesti käytössä suomalaisissa tutkimuksissa. Tutkimusmenetelmät on standardisoitu Suomen standardisoimisliitossa ja/tai luetteloitu kansainvälisissä menetelmäsuosituksissa. Valtaosa tunnuksista on käytetty myös vuodesta 1990 lähtien käynnistyneissä pitkäaikaisseurannoissa Turun ja Porin läänin alueella.

Eräitä kiinnostavia tunnuksia jätetään ainakin seurannan alkuvaiheessa käyttämättä korkeiden kustannusten tai menetelmien hankaluuden vuoksi tai siksi, että ne ovat vasta kehittämissä vaiheissa. Esimerkiksi maaperän mikrobiologista aktiivisuutta voidaan tutkia muun muassa maahengityksen tai entsyymiaktiivisuuden avulla. Menetelmät ovat kuitenkin kartoitusseurannassa vaivalloisia ja herkkiä virhelähteille (esim. Heinonen-Tanski 1992). Ilman epäpuhtauksien aiheuttamat neulasten solutason vauriot näkyvät mikroskooppitarkastelussa ennen silmin näkyvien vaurioiden syntymistä.

Soluvauriodiagnostiikkaa kehitetään (esim. Sutinen 1992) ja menetelmä saattaa muodostua merkittäväksi epäpuhtauksien kartoituksessa. Puiden kasvutunnusten seuraaminen voi niin ikään osoittautua aiheelliseksi (Korhonen 1988, Lamppu 1989). Edelleen Lähde ja Nieppola (1986) ovat todenneet metsäkasvillisuuden pohja- ja kenttäkerroksissa tapahtuneen merkittäviä muutoksia 1950-luvulta lähtien, eikä ilman epäpuhtauksien mahdollista vaikutusta ole voitu sulkea pois.

Biologisessa aineistossa esiintyy aina runsaasti luontaista vaihtelua. Tähän saakka tehdyissä bioindikaattori- ja maaperätutkimuksissa sattumanvaraisesti valittu otoskoko ja havaintoalojen sekä menetelmien epäyhtenevyys alentavat usein tulosten luotettavuutta ja vaikeuttavat ajallista ja alueellista vertailua (Ruohomäki ym. 1994). Tämä edellyttää otannan ja aineiston käsittelyn erityisen tarkkaa suunnittelua.

Tutkimustulosten vertailukelpoisuuden varmistamiseksi ja aineiston luontaisen vaihtelun minimoimiseksi laajan tutkimusalueen havaintoalat perustetaan mahdollisimman samankaltaisiin metsiköihin. Alat ja havainnoitavat yksilöt ovat samat seurannasta toiseen ja ne merkitään pysyvästi. Havainnointi-, mittaus-, ja näytteenottomenetelmät vakioidaan. Ongelmaksi jää tutkimuksen suorittaminen osa-alueittain eri vuosina. Sekä elollisissa että elottomissa ympäristötekijöissä esiintyy tunnuksiin vaikuttavaa ajallista vaihtelua, minkä seurauksena alueellinen vertailukelpoisuus saattaa vaikeutua. Bioindikaattori- ja maaperätunnukset reagoivat kuitenkin ympäristömuutoksiin yleensä melko hitaasti ja erikoiset olosuhteet, kuten tautiepidemiat ja poikkeukselliset sääolot voidaan dokumentoida ja ottaa huomioon tulosten arvioinnissa.

3.2.2 Seurattavat reaktiobioindikaattoritunnukset

3.2.2.1 Männyn neulaskato

Yhteyttävän biomassan väheneminen on merkki puun elinvoimaisuuden alenemisesta. Biomassan määrän muutoksia voidaan selvittää esimerkiksi punnitsemalla, seuraamalla varisevan karikkeen määrää ja mittaamalla latvuksen valonläpäisevyyttä. Käytännössä biomassan muutoksia havainnoidaan yleisimmin silmänvaraisesti neulas- tai lehtikatona maastossa, jolloin erityisiä tutkimusvälineitä ei tarvita. Suomessa havainnoitavia puita ovat yleisesti havupuut mänty ja kuusi. Lehtipuiden lehtikatohavainnointia on tehty vain vähän, vaikka menetelmää käytetään muualla Euroopassa. Menetelmä ei ole spesifinen epäpuhtauksille, vaan neulas- ja lehtikatoon voivat vaikuttaa useat tekijät. Toisaalta havupuiden tiedetään olevan herkkiä ilman epäpuhtauksille. Suomen oloissa voimakkaimmin vaikuttava epäpuhtaus on yleensä rikkidioksidi (Laaksovirta 1984).

Jukola-Sulosen ym. (1990) mukaan teollisuus- ja taajamaympäristöissä puissa on ilmennyt yleisesti neulaskatoa, mutta niin sanotuilla tausta-alueilla neulaskadon ja kuormituksen välillä ei ole ollut yhteyttä. Etelä-Suomessa on tosin havaittu yleisesti keskimääräistä suurempaa neulaskatoa ja todettu sillä olevan yhteys rikkilaskeumaan (Salemaa ym. 1991). Epäpuhtauksien vaikutus neulaskadon määrään on osoitettu useissa Turun ja Porin läänin bioindikaattoritutkimuksissa (Jussila ym. 1991a, Jussila ym. 1991b, Jussila ja Ojanen 1993). Itä-Uudellamaalla tehdyssä tausta-alueen kartoituksessa neulaskadon määrä ilmentää hyvin epäpuhtauksien leviämistä (Manninen ym. 1990).

Havupuiden neulaskatoa on käytetty tunnuksena lähes kaikissa suomalaisissa ilman epäpuhtauksien vaikutuksia selvittävässä tutkimuksissa. Neulaskadon arviointi on myös hyväksytty ympäristön yhdenmetyen seurannan (Manual for integrated monitoring ... 1993) ilman epäpuhtauksien indikaattoriksi.

Havainnoitavaksi puulajiksi on tässä selvityksessä suunniteltuun seurantaan valittu mänty. Havaintoaloiksi valitaan kasvupaikaltaan, iältään ja muilta ominaisuuksiltaan samankaltaisia metsiköitä.

Neulaskadon havainnointi tapahtuu silmänvaraisesti, jolloin arvio on subjektiivinen. Eri havainnoitsijoiden välillä saattaa olla vaihtelua neulaskatoluokituksessa ja samankin havainnoitsijan arviotaso saattaa vaihdella tutkimuksen kestäessä (Innes 1988). Suomalaisessa kartoituksessa on toisaalta on todettu (Salemaa ym. 1991) eri henkilöiden arvioeron pysyvän kohtuullisena ja henkilön tason vakaana eri vuosina. Henkilöiden arviot olivat yhtäpitävämpiä männyllä kuin kuusella. Hyvä perehdyttäminen neulaskadon arviointiin, maastossa hankittu kokemus ja säännöllinen arviotason tarkastaminen lisäävät menetelmän luotettavuutta.

3.2.2.2 Männyn epifyyttijäkälät

Jäkälä on sekovartinen sienen ja yhteyttävän symbionttisen viherlevän tai sinilevän yhteenliittymä. Jäkälät reagoivat herkästi ilman epäpuhtauksiin, varsinkin rikki-dioksidiin ja fluorivetyyn, mutta myös tyyppiyhdisteillä, otsonilla ja raskasmetalleilla saattaa olla vaikutusta niihin.

Ilman epäpuhtauksien vaikutukset ilmenevät jäkälien fysiologisina muutoksina (esim. hengityksen aleneminen), anatomisina muutoksina solukkotasolla, morfologisina muutoksina (esim. sekovarren pieneneminen, värin ja liuskaisuuden muutos, kuolleiden laikkujen ilmaantuminen), jäkälälajien alenevina tai lisääntyvinä peittävyysinä ja häviämisenä sekä epäpuhtauksia kestävien lajien lisääntymisenä. Eri jäkälälajit reagoivat eri tavoin ilman epäpuhtauksiin. Epäpuhtauksia kestävimpiä ovat viherkuperujäkälä ja -levä sekä seinänsuomujäkälä ja sormipaisukarve. Vähiten epäpuhtauksia kestävät lupot ja naavat (Kuusinen ym. 1990).

Puiden kaarnalla kasvavat jäkälät ovat hyviä ilman epäpuhtauksien indikaattoreita, sillä ne ottavat tarvitsemansa ravinteet ja kosteuden yksinomaan ilmasta ja niiltä puuttuu suojaava pintakerros eli kutikula. Sekovarteen keräytyy tehokkaasti kuiva- ja märkälasseumasta tulevia epäpuhtauksia. Kaarnalla kasvavat jäkälät ovat lisäksi jatkuvasti alttiina ilman epäpuhtauksien vaikutuksille, toisin kuin maassa kasvavat jäkälät, joita talvisin peittää lumi.

Suomessa käytetyimpiä bioindikaattoreita ilman laadun seurannassa ovat olleet männyn kaarnajäkälät. Kaarnajäkälisiin perustuva kartoitusmenetelmä on standardisoitu Suomen standardisoimisliitossa (SFS 5670). Sormipaisukarpeen *Hypogymnia physodes* esiintymistä kuusen rungolla ja oksilla on lisäksi käytetty tunnuksena ainakin pääkaupunkiseudun sekä Turun ja Porin läänin länsiosien tutkimuksissa. Metsäntutkimuslaitoksen valtakunnallisessa jäkäläkartoituksessa vuosina 1985–1986 oli mukana sekä mäntyjä että kuusia. Eräissä tutkimuksissa on tarkasteltu koivun ja muidenkin lehtipuiden runkojäkäliä. Runkojäkäliä käytetään pääasiassa reaktioindikaattoreina. Varsinkin sormipaisukarvetta on käytetty myös alkuaineiden kertymäindikaattorina (Kubin 1990).

Jäkälälajiston koostumukseen vaikuttavat muun muassa puulaji, puun ikä, valaistus, kosteus sekä mahdollisesti muut kasvupaikkatekijät. Ilman epäpuhtauksien vaikutuskartoituksessa kasvupaikkatekijöiden tulisi havaintoaloilla olla mahdollisimman yhtenäiset.

Lajiston kunnan arvioiminen on subjektiivinen menetelmä ja edellyttää harjaantumista. Vaurioluokat on tutkimuksissa määritelty sanallisoin kuvauksin jäkälien ulkonäöstä. Vaurioluokituksista ei kuitenkaan vielä ole – standardin sormipaisukarvejäkälän vaurioluokituksen kuvitusta lukuun ottamatta – saatavilla kasvinäyte- tai valokuvasarjoja.

3.2.2.3 Viherlevä kuusen neulasilla

Levien tiedetään hyötyvän typpilaskeuman lannoittavasta vaikutuksesta ja olevan toisaalta melko vastustuskykyisiä rikkidioksidille. Levät ovat siten hyvä typpilaskeuman indikaattori. Puilla kasvavat levät ovat pääasiassa viherleviä. Ne kasvavat usein vain rungoilla ja oksilla, mutta saattavat joskus levitä neulasille. On todettu, että neulasten vahapeitteen kulumisen ja neulasista huuhtoutuvat ravinteet saattavat edistää levän kasvua (Hyvärinen ym. 1993).

Viherlevän esiintyminen puiden rungoilla on yhdistetty typpilaskeumaan muun muassa Porin–Harjavallan alueen sekä Turun ja Pyhäjärven seutujen bioindikaattoritutkimuksissa (Jussila ym. 1991a, Jussila ym. 1991b, Jussila ja Ojanen 1993). Osan laskeumasta on katsottu olevan kaukokulkeumaa. Valtakunnallisen kartoituksen mukaan leväpeitettä esiintyy kuusten neulasilla runsaasti etenkin Lounais-Suomessa (Merilä 1992).

Levien havainnoiminen puiden rungoilta etenkin kuivalla säällä on melko vaikeaa. Erityisesti mäntyjen rungoilta levälaikkujen havaitseminen on joskus sattumanvaraista ja levän runsautta on vaikea arvioida.

Kuusen neulasilta havainnointi on helpompaa. Menetelmän ongelma on, että havaintoalat perustetaan mäntymetsiköihin ja on mahdollista, että kaikilta aloilta sopivia havaintokuusia ei löydy.

3.2.3 Seurattavat kertymäbioindikaattoritunnukset

3.2.3.1 Männyn neulasten rikkipitoisuus

Rikkiä kertyy puiden neulasiin suoraan ilmasta neulasten ilmarakojen kautta. Toisaalta rikki on kasveille elintärkeä ravinne, jota ne ottavat juuristollaan maaperästä. Ilman ja maaperän kohonneiden rikkiyhdisteiden pitoisuuksien on havaittu aiheuttavan neulasten rikkipitoisuuksien nousua (esim. Lamppu ja Huttunen 1992, Manninen ym. 1991). Koko Turun ja Porin läänin alueella rikkilaskeuma ylittää laskennallisen ympäristölle kriittisen kuormituksen rajan (Kämäri ym. 1992).

Neulasten kokonaisrikkipitoisuus kuvastaa ilman rikkiyhdisteiden kulkeutumista. Bioindikaatiomenetelmä on standardisoitu näytteenoton, esikäsittelyn ja tulosten esittämisen osalta Suomen standardisoimisliitossa (SFS 5669). Edelleen neljä neulasten kokonaisrikkipitoisuuden analyysimenetelmää on standardisoimisvaiheessa (SFS E 217, 218, 219, 220).

3.2.3.2 Männyn neulasten typpipitoisuus

Typpi on kasveille elintärkeä pääravinne, jota metsäekosysteemeissä on yleensä optimaalista kasvua varten liian vähän. Nykyisellä ilman kautta tulevalle typpilaskeumalla on kasveille yleensä lannoittava vaikutus. Typen ylimäärä saattaa aiheuttaa myös talveutumisen häiriytymistä ja tätä kautta kohtalokkaidenkin pakkasvaurioiden syntymistä. Toisaalta typpilaskeumalla – typpihapolla ja ammoniumtyypellä – on myös happamoittava vaikutus.

Typpi kertyy neulasiin toisaalta suoraan ilmasta neulasten ilmarakojen kautta ja toisaalta kasvit ottavat typpeä juuristollaan maaperän kautta. Typen päästölähteiden vaikutusalueilla on todettu neulasissa kohonneita typpipitoisuuksia (esim. Ferm ym. 1990, Lamppu ja Huttunen 1992, Jussila ja Ojanen 1993). Koko Turun ja Porin läänin alueella typpilaskeuma ylittää laskennallisen ympäristölle kriittisen kuormituksen rajan (Kämäri ym. 1992).

3.2.3.3 Männyn neulasten muut alkuainepitoisuudet

Neulasten ravinnetila ilmaisee ilmansaasteiden neulasten ravinteita huuhtovaa vaikutusta ja kuvastaa välillisesti maaperän happamoitumisesta aiheutuvaa ravinteiden huuhtoutumista juurten ulottumattomiin.

Analysoitavat alkuaineet ovat ympäristön yhdennetyn seurantaohjelman (Manual on methodologies ... 1989) mukaisesti fosfori, kalium, kalsium, magnesium, rauta, mangaani, sinkki, kupari, boori, molybdeeni ja pii.

3.2.3.4 Metsäsammalien raskasmetallipitoisuus

Metsäsammalet ottavat tarvitsemansa ravinteet ja kosteuden ilmasta ja pidättävät samalla pinnalleen kertyneitä epäpuhtauksia. Tiheät sammalmatot absorboivat lähes kaiken laskeuman. Metsäsammalia esiintyy yleisesti ja runsaasti tutkimusalueella. Menetelmä on standardisoitu näytteenoton, esikäsittelyn ja tulosten esittämisen osalta Suomen standardisoimisliitossa (SFS 5671).

Raskasmetallien kertyminen kasvillisuuteen kuvastaa yleisesti ihmistoiminnasta kuten teollisuudesta, lämmityksestä ja liikenteestä syntyvien epäpuhtauksien leviämistä. Lisäksi Turun ja Porin läänissä Harjavallan teollisuuden päästöt aiheuttavat Suomen oloissa poikkeuksellisen laajaa raskasmetallikuormitusta.

Metsäsammalista analysoitavat metallit ovat samat kuin Euroopan pohjoisten maiden raskasmetallikartoituksessa (Rühling ym. 1992): kadmium, kromi, kupari, rauta, lyijy, nikkeli, vanadiini ja sinkki. Lisäksi tutkitaan sammalien arseeni- ja elohopeapitoisuudet.

3.2.4 Seurattavat maaperän happamoitumistunnukset

Suomen metsäekosysteemien maaperä on luontaisesti – maan raakoostumuksesta, ilmaston humidisuudesta ja kasvipeitteestä johtuen – hapan, emäsköyhä ja heikosti puskuroitunut. Ilman epäpuhtauksilla oletetaan lisäksi olevan happamoittava vaikutus maaperään vetyionilisäyksen kautta. Happamoitumisen seurauksena kasveille elintärkeitä ravinteita voi huuhtoutua syviin maakerrokseen juurten ulottumattomiin ja toisaalta voi liueta myrkyllisiä metalleja kuten alumiinia. Maaperäanalyysien avulla arvioidaan maaperän happamoitumistilannetta ja ravinnetasoa.

Happamoitumiselle herkimpiä ovat jäkälä- ja kanervatyypin metsät (Kärenlampi 1990). Turun ja Porin läänissä happamoitumiselle erityisen herkiksi alueiksi on arvioitu lounaisrannikko, Säköharju–Virttaankangas sekä Hämeen kangas–Pohjan kangas (Tamminen ja Mälkönen 1986). Kerättävistä humusnäytteistä analysoidaan pH, johtokyky, orgaanisen aineksen osuus ja vaihtohappamuus. Analysoitavat alkuaineet ovat ympäristön yhdenntyn seurantaohjelman (Manual on methodologies ...1989) mukaisesti vety, kalium, kalsium, magnesium, mangaani, rauta, alumiini (vaihtuvat kationit) sekä hiili, typpi, fosfori ja rikki.

Aineistosta lasketaan kationinvaihtokapasiteetti, emäskyllästysaste, hiili:typpi:fosfori –suhde ja kalsium:alumiini –suhde.

3.2.5 Havaintoalaverkoston luominen

Havaintoalat perustetaan pitkäaikaista seuranta varten, joten niiden valinnassa on mahdollisuuksien mukaan otettava huomioon metsikön pysyvyys. Metsikön pysyvyyttä voidaan arvioida tarkastamalla esimerkiksi kaavavarauksia tai metsätaloussuunnitelmia. Koska havaintoalat kuitenkin menetelmällisistä syistä (katso liiteosa) perustetaan uudistuskypsiin tai lähellä uudistuskypsyyttä oleviin metsiköihin, on niiden osittaiseen häviämiseen varauduttava. Esimerkiksi Porin–Harjavallan alueen vuonna 1990 perustetun mäntyalaverkoston ensimmäisessä seurannassa kesällä 1993 todettiin hakuiden seurauksena hävinneen yhdeksän alaa 133:sta, eli 6,8 %. Hävinneiden alojen tilalle valitaan seurannassa uudet lähimmästä vaatimukset täyttävästä metsiköstä.

Ilman epäpuhtauksien seuranta pyrkii hyvään maantieteelliseen kattavuuteen. Aineiston satunnaisen vaihtelun minimoimiseksi on tärkeää, että seurantaverkoston havaintoalueet ovat mahdollisimman yhtenäisiä biologisilta ja maantieteellisiltä ominaisuuksiltaan.

Havaintoalueen perustamiselle asetetaan seuraavat vaatimukset:

1. Metsikön, jolle ala perustetaan tulee olla vähintään hehtaarin (100 x 100 metrin) laajuinen, mahdollisimman luonnontilainen (lannoittamaton ja viimeisestä hakkuusta on kulunut vähintään kolme vuotta), puustoltaan mäntyvaltainen, metsätalouden luokituksen mukaan uudistuskypsä tai lähes uudistuskypsä sekä täystiheä, kuitenkin niin, että latvuspeittävyys on alle 75 %.
2. Metsikön tulee sijaita kasvullisella kivennäismaalla (ei esimerkiksi suolla, turvekankaalla tai kalliolla) – ja kasvupaikkatyypin tulee olla kuivahkoa tai kuivaa kangasta (metsätyypin joko puolukkatyyppiä VT tai kanervatyyppejä CT).

3. Ympyrän muotoisella, seitsemän aarin (säde noin 15 m) kokoisella havaintoalalla tulee olla vähintään kymmenen elävää, vapaasti kasvavaa, yksirunkoista, kolmen metrin korkeuteen saakka oksatonta, ei-kilpikaarnaista ja rinnankorkeusläpimitaltaan yli 20 cm valtapuuta tai lisävaltapuuta.
4. Havaintoala tulee sijoittaa ensisijaisesti ympäristöään hieman korkeammalle kumpareelle, ei metsän reunaan, korkealle vuorelle tai syvään notkoon.
5. Sadan metrin etäisyydellä havaintoalasta ei saa olla peltoja, moottoriliikennettä tai rakennuksia.

Havaintoalalta satunnaisotannalla valitut tutkimuspuut merkitään pysyvästi ja näytteenotto vakioidaan. Lisäksi dokumentoidaan perustietoja kasvillisuudesta, topografiasta, ym. (katso liiteosa).

3.2.6 Aineiston käsittely ja tulosten raportointi

Aineisto käsitellään paikkatietojärjestelmässä (geographic information system, GIS), jossa karttoihin sijoitetaan numeerista paikkatietoaineistoa. Useista GIS-järjestelmän ohjelmistoista on saatavana kustannuksiltaan kohtuullinen mikrotietokoneversio.

Aineiston tilastollisessa käsittelyssä lasketaan havaintoalueittain indikaattorimuuttujien keski- ja hajontaluvut. Indikaattorimuuttujien keskinäisiä sekä indikaattori- ja ympäristömuuttujien suhteita kuvataan korrelaatiomenetelmillä ja mahdollisesti monimuuttujamenetelmillä. Ajallista muutosta testataan aluksi parittaisilla t-testeillä tai vastaavilla ei-parametrisillä testeillä. Seurannan toistuttua useita kertoja voidaan käyttää aikasarja-analyysejä.

Tulokset raportoidaan vuosittain osa-alueittain ja tarvittaessa kuntakohtaisina. Eri tunnuksien tila esitetään omina karttoinaan. Yhtenä esitystapana ovat myös laskeumaa ja happamoitumista kuvastavat usean tunnuksen *summakartat*.

3.2.7 Seurannan voimavaratarve

3.2.7.1 Tutkimusryhmä

Seurannan tutkimusryhmän muodostavat tutkija ja assistentti. Vuotuisen seurannan työvoimatarve on yhteensä 11 henkilötyökuukautta. Tutkijan osuus on yhdeksän kuukautta muodostuen tutkimuksen suunnittelusta, kesä- ja talviaikaisesta maastotyöstä, aineiston numeerisesta käsittelystä ja raportoinnista. Assistentin osuus on kaksi kuukautta kesäaikaisessa maastotyössä.

Seurannan asianmukaisen suorittamisen ja aikataulussa pysymisen vuoksi tutkimuksen suorittajalta on edellytettävä soveltuvaa akateemista koulutusta ja hyvää työkokemusta. Assistentilta on edellytettävä soveltuvaa koulutusta ja työkokemusta. Lisäksi vuotuinen koulutus tutkijoiden "kalibroimiseksi" silmänvaraisten tunnuksien havainnoinnissa on tarpeen.

3.2.7.2 Laboratorio

Männyn neulasten alkuainepitoisuudet, metsäsammalien raskasmetallipitoisuudet, maaperän happamoitumistunnukset ja maaperän alkuainepitoisuudet analysoidaan vuosittain 92–130 havaintoalalta. Näytteiden esikäsittely eli neulas- ja sammalnäytteiden fraktiointi, kuivatus ja jauhatus sekä humusnäytteiden seulonta vievät aikaa noin kaksi henkilötyökuukautta. Humusnäytteiden pH, johtokyky, hehkutushäviö ja vaihto happamuus voidaan määrittää joko Turun vesi- ja ympäristöpiirin laboratoriossa tai määrittäykset voidaan teettää. Omana työnä aikaa kuluu noin yksi henkilötyökuukausi. Neulas-, metsäsammal- ja humusnäytteiden alkuaineanalyyseissä voidaan käyttää useita analyysimenetelmiä. ICP-emissiospektrometrianalyytit ovat tällä hetkellä monipuolisimpia ja edullisimpia. Elohopean määrittäminen tehdään erikseen AAS-kylmähöyrymenetelmällä. Humusnäytteiden hiili, typpi ja vety voidaan analysoida LECO-analysaattorilla ja neulasten typpi Kjeldahl-poltton menetelmällä. Turun vesi- ja ympäristöpiirillä on toistaiseksi valmius vain eräisiin typpi-analyyseihin.

3.2.7.3 Tietojenkäsittely

Tutkimusaineisto pystytään käsittelemään mikrotietokoneella. Aineiston käsittelyssä tarvitaan paikkatieto-ohjelmisto sekä tietokanta-, tekstinkäsittely- ja tilastomatemattiset ohjelmat.

3.2.7.4 Aikataulu- ja kustannusarvio

Vuotuisen seurannan kuusi päätyövaihetta ovat seurannan suunnittelu, maastotyö kesällä, maastotyö talvella, aineiston laboratoriokäsittely, aineiston numeerinen käsittely sekä raportointi. Kustannukset muodostuvat tutkimusvälineistöistä, kuljetuskuluista, päivärahoista, tutkijoiden ja laboratoriohenkilökunnan palkoista, analyysikustannuksista sekä raportointikuluista.

Tutkittavien tunnusryhmien – reaktioindikaattorien, kertymäindikaattorien ja maaperän kemiallisten ominaisuuksien – kustannukset ovat varsin erilaiset. Reaktioindikaattoritutkimus koostuu kesäaikaisista maastohavainnoista ja aineiston numeerisesta käsittelystä. Kertymäindikaattorien ja maaperän kemiallisten ominaisuuksien tutkimus edellyttää laboratorioanalyysejä. Lisäksi neulasanalyysejä varten joudutaan näytteet keräämään talvella, mikä edellyttää erillisiä maastokäyntejä havaintoaloilla. Reaktioindikaattorien osuus aineiston keruu- ja käsittelykustannuksista on noin 30 %, kertymäindikaattorien noin 40 % ja maaperän kemiallisten ominaisuuksien noin 20 %.

Taustaseurannan alue on jaettu viiteen osa-alueeseen, joista kukin kartoitetaan yhden vuoden aikana. Yhdellä osa-alueella on 92–130 havaintoalaa.

Vuotuinen aikataulu- ja kustannusarvio laskettuina 120 havaintoalan mukaan:

Vuotuinen aikatauluarvio

	ta	he	ma	hu	to	ke	he	el	sy	lo	ma	jo
Seurannan suunnittelu												
Maastotyö kesällä												
Maastotyö talvella												
Laboratorioanalyysit												
Numeerinen käsittely												
Raportointi												

Vuotuinen kustannusarvio

Seurannan suunnittelu	mk 20 000
Maastotyö kesällä	mk 110 000
Maastotyö talvella	mk 60 000
Laboratorioanalyysit	
- neulasanalyysit	mk 40 000
- sammalanalyysit	mk 60 000
- humusanalyysit	mk 50 000
Numeerinen käsittely	mk 40 000
Raportointi	mk 40 000
Yhteensä	mk 420 000

Kustannusarviossa palkkojen osuus on laskettu kertomalla bruttopalkat luvulla 1.6. Laboratorioanalyysien kustannukset on arvioitu Turun yliopiston Satakunnan ympäristöntutkimuskeskuksen vuonna 1993 järjestämän tarjouskilpailun tulosten perusteella.

3.2.8 Yleiset kehittämistarpeet

3.2.8.1 Otanta ja seurannan toistamisväli

Seurantaverkosto sijoitetaan systemaattisesti tutkimusalueelle tiheydellä neljä havaintoalaa/100 km². Tätä tiheyttä on käytetty muissakin tausta-alueiden seurannoissa (esim. Jussila 1991a, Manninen 1990). Tavoitteena on saada alueellisesti kattava käsitys ilman epäpuhtauksien vaikutuksista ja leviämisestä sekä tuottaa paikallista ja kuntakohtaista tietoa. Verkoston tihentäminen tai harventaminen kauttaaltaan tai joissakin kohdissa saattaa osoittautua tarkoituksenmukaiseksi seurannan kestäessä ja uuden tiedon karttuessa.

Havaintoaloilla tutkittavien tunnusten otanta suoritetaan satunnaisesti (esimerkiksi puiden valinta) tai systemaattisesti (esimerkiksi maanäytteiden otto). Eri tunnusten luotettavasta, satunnaisen vaihtelun poistavasta otoskoosta on olemassa varsin vähän tutkittua tietoa. Esimerkiksi neulasten alkuaineiden pitoisuuksien metsikönsisäistä vaihtelua on selvitetty. Salemaan ym. (1991) mukaan tarvittava näytepuiden määrä vaihtelee tutkittavan alkuaineen mukaan seitsemästä kahteenkymmeneen. Tutkimuksissa käytetään kuitenkin yleisesti viiden tai kymmenen puun otosta, ja tämä on myös havupuiden kokonaisrikkipitoisuuden ja fluoridipitoisuuden näytteenoton määrä standardien SFS 5669 ja SFS 5672 mukaan. Jäkäläkartoitusstandardin SFS 5670 mukainen näytepuiden määrä on viisi. Otoksoon luotettavuutta ei ole kuitenkaan erikseen selvitetty.

Seurannan otannat noudattavat vastaavanlaisissa tutkimuksissa yleisesti käytettyjä otantoja. Tulosten luotettavuuden parantamiseksi tunnuksien satunnaisen vaihtelun poistavat otoskoot tulisi selvittää ja edelleen tarkoituksenmukaiset käytännön otoskoot (kuinka paljon vaihtelua sallitaan seurannassa) määrittää erillistutkimuksissa.

Seurannan toistamisväli on viisi vuotta. Muutokset tutkittavissa tunnuksissa ovat yleensä hitaita, neulaskadon vaihtelua ehkä lukuun ottamatta. Suomessa on toistaiseksi vain pääkaupunkiseudulla tehty bioindikaattoriseuranta viitenä peräkkäisenä vuotena. Yhden vuoden aikana käytetyissä tunnuksissa ei tapahtunut merkittäviä muutoksia. Järkevän hyöty-kustannussuhteen tuottavan seurannan toistamisvälistä saadaan käsitys seurannan kestäessä, ja toistamisväliä voidaan tarvittaessa muuttaa.

3.2.8.2 Bioindikaattori- ja maaperätutkimuksen soveltaminen

Ilman laadun tarkkailun parantamiseksi on tarpeen entistä käyttökelpoisempien – tarkempien ja spesifimpien, mutta helppokäyttöisten ja edullisten – tunnuksien etsiminen ja tutkimusmenetelmien soveltaminen sekä standardoiminen käytännön seurannatutkimuksiin.

Ilman epäpuhtauksien seurannoissa käytettävät bioindikaattorit eivät kaikilta osin täytä hyvän indikaattorin vaatimuksia – herkkä, spesifinen, helppo käsitellä ja edullinen tutkia. Nykyiset tunnuksukset kuvastavat lähinnä rikin, typen ja raskasmetallien laskeumaa.

Havupuiden neulaskato on laajasta käytöstä huolimatta epäspesifinen tunnus. Jäkälillä tiedetään olevan laajoja eroja ilmansaasteisiin reagoimisessa, mutta lisätutkimuksia kaivataan tiedon hyödyntämiseksi seurannoissa. Joitakin tunnuksia – kuten neulasten vahapeitteen vaurioiden ja sormipaisukarve-jäkälän solukkovaurioiden tarkastelua

– on käytetty tunnuksena erillisissä kartoituksissa, mutta niiden käytännön indikaatioarvoa ei ole selvitetty laajalti. Maaperätutkimuksissa käytetyt menetelmät vaihtelevat paljon ja maaperämuuttujien hajonnan on todettu olevan erityisen suurta (esim. Kiikkilä ja Fritze 1990, Kiikkilä ym. 1992).

Havainnointimenetelmät ovat useiden tunnuksien kohdalla silmänvaraisia ja siten subjektiivisia. Menetelmiä voidaan parantaa toisaalta tarkkoja mittalaitteita kehittämällä ja toisaalta laatimalla perehdyttäviä näyte- ja kuvasarjoja vaurioluokituksesta.

3.2.8.3 Aineiston numeerinen käsittely

Bioindikaattoritutkimuksissa on ilmennyt suuria puutteita ja virheitä aineiston tilastollisessa käsittelyssä. Useissa pohjoismaisissa tutkimuksissa tilastollinen testaus on ollut riittämätöntä ja vääriä testejä on käytetty (Ruohomäki ym. 1994). Epätäydellinen tai väärä testaus on ollut yleistä erityisesti ei-kokeellisissa tutkimuksissa.

Bioindikaatioseurannassa tutkitaan ilman epäpuhtauksien vaikutusten alueellisia ja ajallisia eroja ja muutoksia. Tutkimuksen kulloisetkin tavoitteet tulee asettaa selkeästi suunnitteluvaiheessa, ja aineiston tilastollinen käsittely suunnitella ennen aineiston kokoamista, tarpeen vaatiessa tilastotieteen asiantuntijoiden avulla.

3.2.8.4 Laboratorioanalytiikka

Kertymäbioindikaattori- ja maaperäanalyysyjä tehdään vaihtelevilla menetelmillä ja useissa laboratorioissa. Analyysimenetelmistä ainoastaan neulasten fluoridipitoisuuden kemiallinen määrittäminen on standardisoitu Suomen standardisoimisliitossa (SFS 5672). Neulasten kokonaisrikkipitoisuuden määrittämisestä on tekeillä neljä menetelmästandardia (SFS E 217, 218, 219 ja 220).

Analyysimenetelmien kirjavuuden vuoksi eri tutkimusten vertailu on vaikeaa. Bioindikaattori- ja maaperätutkimusten yleistyessä ja vakiintuessa ilman laadun seurantamenetelmiksi analyysimenetelmiä on saatettava standardisoiduiksi vesien analyysimenetelmien tavoin. Seurantojen alueellinen ja ajallinen vertailu edellyttävät lisäksi tutkimuslaboratorioiden laadunvalvontaa ja interkalibrointia.

3.2.8.5 Rekisteri

Ilman laadun bioindikaattori- ja maaperäseurantaa tehdään koko Suomen alueella. Tavoitteeksi tulee asettaa tutkimusmenetelmien yhtenäistäminen ja standardisointi. Ilmansuojelupoliittisen päätöksenteon pohjaksi seurantojen aineistot on syytä kerätä valtakunnalliseen rekisteriin, joka soveltuisi esimerkiksi osaksi Vesi- ja ympäristöhallinnon ympäristötietojärjestelmää.

3.3 Seurantaverkosto

Läänin kuormitetuimmissa osissa käynnistyneen ilman laadun bioindikaattori- ja maaperäseurannan alueen ulkopuolelle jäävään läänin osaan ehdotetaan perustettavaksi vastaava havaintoalaverkosto. Tausta-alueen verkoston ylläpidon kustannuksista

vastaisivat osaksi valtio ja mahdollisuuksien mukaan osaksi alueen ilmaa kuormittava teollisuus ja kunnat.

Seurantaverkosto perustetaan systemaattisesti tasavälein siten, että 5 x 5 km kokoiselle ruudulle tulee yksi havaintoala. Verkoston tiheys on siten neljä havaintoalaa/100 km². Havaintoalat perustetaan mahdollisimman samankaltaisiin mäntymetsiin ja tutkittavat bioindikaattori- ja maaperätunnukset ovat kaikilla aloilla samat. Näin saadaan mahdollisimman edustava käsitys ilman epäpuhtauksien vaikutuksista ja vaikutusten eroista eri alueilla. Laajojen viljelyalueiden tai vastaavien kohdalla käytetään tapauskohtaista harkintaa siten, että havaintoaloja joko ei sijoiteta lainkaan tai niitä siirretään lähellä oleville metsäalueille.

Havaintoalaverkoston kustannusjaon ja sijoittamisen sekä seurannan toistamisvälin ja tutkittavien tunnusten perustelut ovat:

Kustannusjako

Tausta-alueen kuntien ja teollisuuden voimavarat eivät yksin riitä ilman laadun seurannan toteuttamiseen, eivätkä niiden omat päästöt kohtuullisuusperiaatteen mukaan sitä edellyttäkään. Ympäristöviranomaisten osallistuminen seurantojen toteutukseen on perusteltua, sillä viranomaisten tehtävänä on olla selvillä ympäristön tilasta.

Verkoston tiheys

Havaintoalaverkosto on sijoitettu systemaattisesti tasavälein ja kohtuullisen tiheästi siten, että tutkimusten tuloksista voidaan tehdä alueellisesti riittävän tarkkoja päätelmiä. Seurannan kestäessä verkostoa voidaan tihentää alueilla, joilla tarkempi kartoitus näyttää tulosten perusteella olevan tarpeen. Tällaisia alueita voivat olla Kankaanpään, Vammalan-Äetsän ja Salon seudut, joilla on kohtalaisesti paikallista kuormitusta, tai happamoitumiselle herkäksi todetut alueet. Toisaalta verkostoa voidaan harventaa, mikäli se seurannan kestäessä osoittautuu järkeväksi.

Seurantaväli

Seurannan toistamisväli on viisi vuotta eli sama kuin kuormitetulla alueella. Maaperän ja bioindikaattorien reagointiaika ympäristömuutoksiin on eri tunnuksilla erilainen. Muutoksen havaitsemisen kannalta paras mahdollinen seurannan toistamisväli on muutamista kuukausista useisiin vuosiin. Toistaiseksi ei ole riittävästi tietoa useita tunnuksia käyttävän seurannan parhaan hyöty-kustannussuhteen tuottavasta tutkimusvälistä. Käytettävissä tunnuksissa ilman epäpuhtauksien vaikutukset ilmenevät yleensä pitkän ajan kuluessa kroonisen altistuksen seurauksena. Ilman laadun paraneminen vaikuttaa indikaattoreihin niin ikään hitaasti. Pääkaupunkiseudulla on vastikään päättynyt Suomen ensimmäinen joka vuosi toteutunut viisivuotinen bioindikaattori- ja maaperäseuranta (Pihlström ym. 1993), jonka tulokset osoittavat, että ilman laadun vaikutuksia kuvaavaa muutosta on tarkoituksenmukaista seurata usean vuoden tutkimusvälillä.

Alueet

Menetelmät ja tutkittavat tunnuksot on valittu kolmesta lähtökohdasta: menetelmät ja tunnuksot ovat yhtenevät läänin kuormitetuimman alueen seurannan kanssa, tunnusvalikoima toimii riittävän monipuolisena ja luotettavana ilman laadun "mittarina" ja tutkimus on kustannuksiltaan edullinen toteuttaa.

Koko tausta-alue jaetaan viiteen osa-alueeseen kuntarajoja noudattaen siten, että osa-alueille sijoittuu suunnilleen yhtä paljon havaintoaloja (kuva 8). Osa-alueilla seuranta tapahtuu peräkkäisinä vuosina kiertona, jolloin kunkin osa-alueen seurannan toistoväliksi tulee viisi vuotta. Tausta-alueen ja kuormitettujen alueiden seurannat toteutetaan samoina vuosina samoilla seuduilla.

Osa-alueiden seuranta aloitetaan Turun seudun itäpuolelle jäävältä alueelta vuonna 1995. Mukana on 11 kuntaa: Muurla, Salo, Halikko, Paimio, Parainen (osa), Sauvo, Kemiö, Perniö, Särkisalo, Dragsfjärd ja Västanfjärd. Perustettavia havaintoaloja on 123 kappaletta.

Vuonna 1996 aloitetaan Pohjois-Satakunnan alueen seuranta. Mukana on kymmenen kuntaa: Karvia, Honkajoki, Siikainen (osa), Merikarvia (osa), Kankaanpää, Jämijärvi, Pomarkku (osa), Noormarkku (osa), Lavia ja Suodenniemi. Perustettavia havaintoaloja on 130 kappaletta.

Vuonna 1997 aloitetaan Pyhäjärvisuudun itäpuolelle jäävän alueen seuranta. Mukana on kymmenen kuntaa: Kiikoinen, Vammala, Äetsä, Huittinen, Punkalaidun, Vampula, Alastaro, Oripää, Loimaan kunta ja Loimaa. Perustettavia havaintoaloja on 115.

Vuonna 1998 täydennetään Turun seudun itäpuolelle jäävän alueen seuranta. Mukana on 15 kuntaa: Pöytyä, Mellilä, Aura, Karinainen, Koski, Somero, Tarvasjoki, Marttila, Lieto (osa), Piikkiö (osa), Kuusjoki, Perteli, Kiikala, Suomusjärvi ja Kisko. Perustettavia havaintoaloja on 111.

Vuonna 1999 aloitetaan saariston ja sen lähialueiden seuranta. Mukana on yhdeksän kuntaa: Askainen (osa), Iniö, Velkua, Naantali (osa), Merimasku (osa), Houtskari, Korppoo, Rymättylä (osa) ja Nauvo. Perustettavia havaintoaloja on 92.

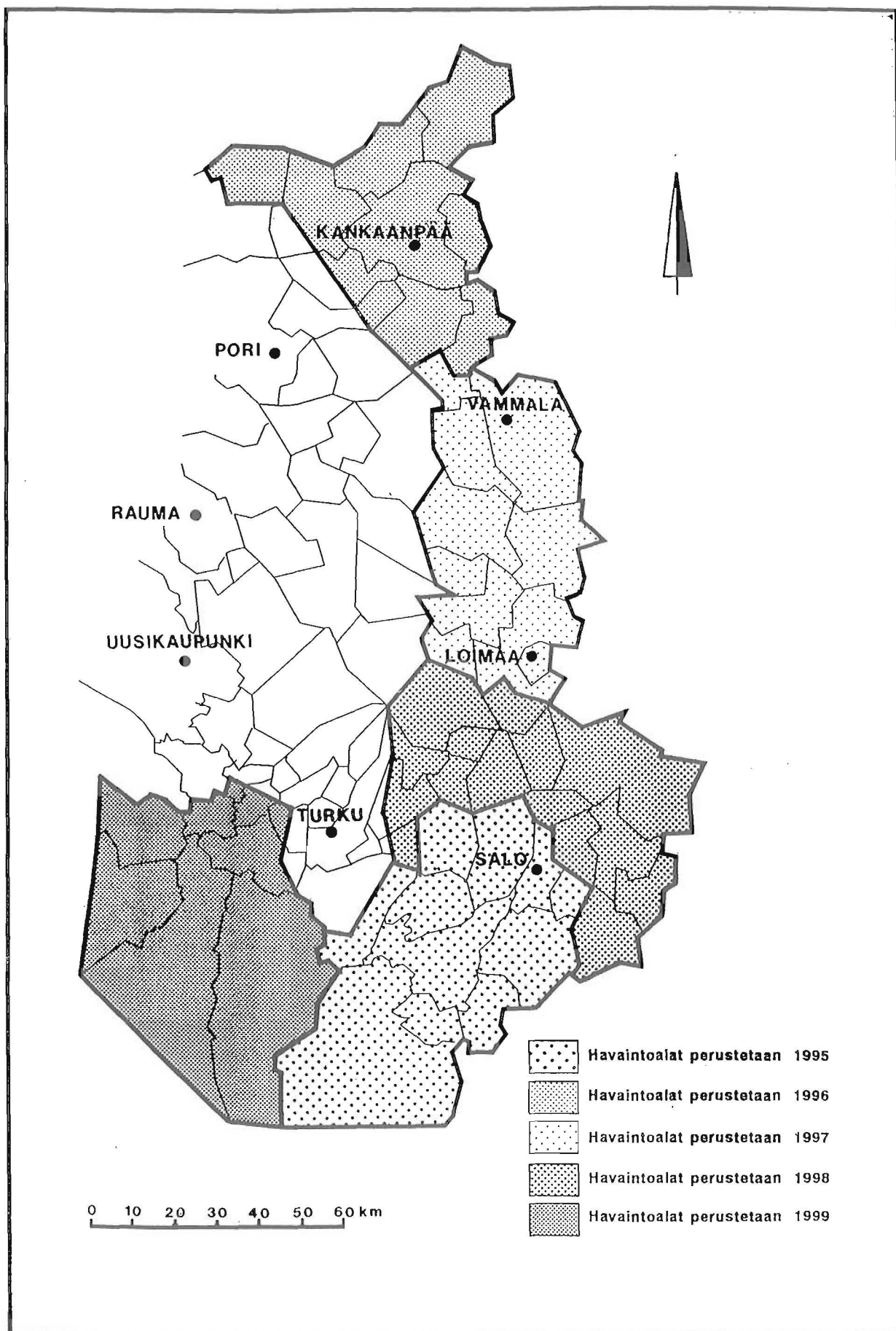
4 OSAPUOLET

4.1 Ilmansuojelun viranomaistoiminta

4.1.1 Lääninhallitus

Ilmansuojeluun liittyvät lääninhallituksen tehtävät on määrätty ilmansuojelulaissa ja -asetuksessa. Lääninhallitus valvoo ja ohjaa ilmansuojelua ja kerää ilmansuojeluun liittyvää tietoa läänin alueella. Lääninhallituksen sisällä tehtäviä hoitaa ympäristöosasto.

Valvonnan tärkein työväline on ilmansuojeluilmoitus. Ilmoituksen tekevät lain nojalla asetuksessa tarkemmin määritellyt, ilman pilaantumisen vaaraa aiheuttavat toiminnanharjoittajat. Lääninhallitus tarkastaa ilmoituksen ja antaa sen johdosta päätöksen, joka voi sisältää erityisiä määräyksiä päästöjen rajoittamisesta ja muista päästöjä koskevista ilmansuojelutoimista sekä päästöjä ja niiden vaikutuksia ilmanlaatuun koskevan tarkkailun järjestämisestä. Ilmansuojeluilmoitus tuli vuonna 1992 voimaan tulleen ympäristölupamenettelylain myötä osaksi ympäristölupaa. Lain nojalla osa ilmoitusvelvollisten toiminnanharjoittajien lupamenettelystä on siirtynyt kuntien ympäristölupaviranomaisille.



Kuva 8. Turun ja Porin läänin tausta-alueen ilman laadun bioindikaattori- ja maaperäseuranta ehdotetaan toteutettavaksi osa-alueittain. Havaintoalat perustetaan viitenä peräkkäisenä vuotena.

Lääninhallituksen tehtäviin kuuluu ilmansuojeluun liittyvien ohjeiden ja neuvojen antaminen kuntien ympäristöviranomaisten ilmansuojelutehtävien suorittamisesta. Toiminnanharjoittajien ohjaus on samoin lääninhallituksen tehtävä (Ohjeet lääninhallitusten ja kuntien ... 1987).

Turun ja Porin lääninhallitus on muun muassa koordinoanut ilmoitusvelvollisten toiminnanharjoittajien ja kuntien välistä ilmansuojeluyhteistyötä Porin-Harjavallan alueella, Turun seudulla, Pyhäjärvisseudulla sekä Uudenkaupungin-Rauman alueella, joilla on käynnistynyt bioindikaattori- ja maaperäseuranta. Lääninhallitus on myös ollut aloitteentekijänä Satakunnan happamoitumiselle herkkien mäntykankaiden terveydentilaa selvittävän Länsi-Suomen metsien terveydentila -hankkeen käynnistämässä. Lääninhallituksessa on myös vireillä saariston metsien terveydentilaa selvittävän hankkeen käynnistäminen.

4.1.2 Vesi- ja ympäristöpiiri

Vesi- ja ympäristöpiireillä on perinteisesti vahva asiantuntemus vesien tutkimus- ja suojelutyössä. Tämän seurauksena niissä on rakentunut yleensä koko toimialueen kattava vesien tilan seurantaverkosto. Maaympäristön tilan seuranta on ollut olennaisesti vähäisempää. Sen kehittäminen on kuitenkin osoittautunut välttämättömäksi. Valtakunnalliset ja kansainväliset maaympäristön tutkimukset ja kartoitukset eivät tuota tarpeeksi tarkkaa alueellista ja paikallista tietoa. Kuntien asiantuntemus ja voimavarat ovat usein riittämättömät seurannan järjestämiseksi.

Turun vesi- ja ympäristöpiirissä on vuonna 1992 käynnistynyt hanke maaympäristön tilan seurannan kehittämiseksi. Hankkeen ensimmäisen vaiheen tavoite on suunnitella ja käynnistää ilman laadun kattava seuranta. Tämä selvitys on hankkeen suunnittelu- vaiheen loppuraportti.

Turun ja Porin läänin alue jakaantuu Turun ja Tampereen vesi- ja ympäristöpiirien toimialueisiin. Vuonna 1995 toteutetaan lääninhallitusten ympäristöosastojen ja vesi- ja ympäristöpiirien yhdistäminen yhdeksi aluehallinnon ympäristöviranomaiseksi. Viranomaisen toimialueen rajat noudattavat läänien rajoja. Tällöin myös Turun ja Porin lääninhallituksen ympäristöosaston ja Turun vesi- ja ympäristöpiirin tehtävät yhdistetään, jolloin ilmansuojelun valvonta ja tutkimus ovat samassa yksikössä.

4.1.3 Asiantuntijat

Ilmansuojeluasetuksessa on määritelty asiantuntijat, joiden tehtävänä on suorittaa tutkimuksia ja antaa lausuntoja sekä muuta asiantuntija-apua ilmansuojeluviranomaisille tai toiminnanharjoittajille. Laissa ei ole määrätty eri asiantuntijoiden ilmansuojeluun liittyviä tehtäviä, vaan ne toimivat asiantuntijoina kukin omalla toimialallaan.

Sosiaali- ja terveysministeriö on asiantuntijaviranomainen ilmansuojeluun liittyvissä terveydellisissä asioissa. Kansanterveyslaitos tutkii ilman pilaantumisesta aiheutuvia terveysvaikutuksia.

Ilmatieteen laitos hoitaa erityisesti ilman epäpuhtauksien leviämistä ja ulkoilman pitoisuuksien mittausta koskevaa tutkimus-, suunnittelu- ja kehittämistyötä.

Valtion teknillinen tutkimuskeskus vastaa erityisesti prosessi- ja puhdistustekniikkaa sekä päästöjen mittaamista koskevista tutkimuksista ja päästömittauksista.

Maatalouden tutkimuskeskus selvittää ilman pilaantumisen vaikutuksia kasveihin ja maatalouteen.

Metsäntutkimuslaitos tutkii ilman pilaantumisen vaikutuksia metsiin, metsäkasveihin ja metsätalouteen.

Ilmansuojeluun liittyvää asiantuntemusta on myös muissa tutkimuslaitoksissa, yliopistoissa ja korkeakouluissa sekä yksityisissä yrityksissä.

Turun ja Porin läänin alueella ilmansuojeluun liittyvää tutkimusta ja kartoitusta ovat merkittävimmin tehneet Ilmatieteen laitos ja Metsäntutkimuslaitos (Tuominoro 1989) sekä Turun yliopiston Satakunnan ympäristöntutkimuskeskus. Ilmatieteen laitos on tehnyt ilman epäpuhtauksien päästöjen, leviämisen ja vaikutusten kartoituksia etenkin teollisuus- ja taajama-alueilla. Metsäntutkimuslaitos seuraa metsien elinvoimaisuutta vuotuisella valtakunnallisella kartoituksella. Satakunnan ympäristöntutkimuskeskus on perustanut pysyviä bioindikaattori- ja maaperätutkimusverkostoja läänin kuormiteuimmille alueille ilman epäpuhtauksien vaikutusten seuranta varten. Metsäntutkimuslaitoksen seuranta rahoitetaan laitoksen omista varoista. Ilmatieteen laitos ja Satakunnan ympäristöntutkimuskeskus ovat tehneet tutkimusta toimeksiantoina. Toimeksiantajina ovat olleet kunnat, kuntainliitot ja toiminnanharjoittajat. Satakunnan happamoitumiselle herkkien mäntymetsien terveydentila -hanke toteutetaan edellä mainittujen laitosten yhteistyönä. Hankkeen rahoittajat ovat Kauppa- ja teollisuusministeriö, Maa- ja metsätalousministeriö sekä Ympäristöministeriö.

4.1.4 Kunnat

Kuntien ilmansuojelutehtävät on määrätty kuntien ympäristönsuojelun hallinnosta annetussa laissa, ilmansuojelulaissa ja -asetuksessa sekä ympäristölupamenettelylaissa. Kunnan on muun muassa huolehdittava ympäristön tilan seurannasta sekä siihen liittyvistä tutkimuksista ja selvityksistä. Ilmansuojelulain mukaan kunnan on järjestettävä paikallisten olojen edellyttämä ilman laadun seuranta sekä tähän liittyvä ilmaan tulevien päästöjen yleinen tarkkailu. Ympäristöministeriön antamien ohjeiden (Ohjeet ilmanlaadun ... 1989) mukaan ilmanlaadun seuranta käsittää esiselvityksen ja tarvittaessa edelleen perusselvityksen ja varsinaisen jatkuvan tarkkailun. Kunnat voivat tehdä seuranta myös yhteistyössä.

Ympäristölupamenettelylain myötä kunnan ympäristölupaviranomaisen uudeksi tehtäväksi tuli eräiden ilmansuojeluilmoitusten käsittely ja päätöksenteko.

Kunnat ovat hoitaneet ilmansuojelutehtäviään vaihtelevasti. Kunnissa, joissa on runsaasti ilmaa pilaavaa teollisuutta ja muuta toimintaa, sekä päätoiminen ympäristöviranomaisen, tutkimuksia ja selvityksiä on yleensä tehty. Eräissä kunnissa ei kuitenkaan ole tehty edes ilman laadun esiselvitystä. Tutkimukset ovat usein olleet paikallisia kohdistuen lähinnä taajama-alueille ja niiden välittömään läheisyyteen. Tutkimusstrategia ja -menetelmät ovat vaihdelleet. Tarkkailun alueellinen pirstaleisuus ja tutkimusmenetelmien erilaisuus tuottavat rikkonaisen kokonaiskuvan. Kattavan alueellisen käsityksen antavaa, pitkäaikaiseksi suunniteltua, usean kunnan yhteistyössä tapahtuvaa ilman laadun seuranta on tehty vasta vuodesta 1990 alkaen läänin kuormitetuimmissa osissa.

4.1.5 Toiminnanharjoittajat

Ilman pilaantumisen vaaraa aiheuttavien toiminnanharjoittajien velvollisuus on noudattaa ilmansuojeluilmoituksista annetuissa päätöksissä olevia määräyksiä päästöjen rajoittamisesta ja päästöjen aiheuttamien vaikutusten tarkkailusta. Lääninhallitus voi määrätä tarkkailun laadusta, toistamisvälistä ja yhteistyöstä toiminnanharjoittajien kesken.

Turun ja Porin läänin kuormitetuimmassa osassa teollisuus ja kunnat ovat vapaaehtoisessa yhteistyössä käynnistäneet laajan, jatkuvan bioindikaattori- ja maaperäseurannan. Myös tausta-alueilla ilmoitusvelvollisten toiminnanharjoittajien edellytetään yleensä osallistuvan alueelliseen yhteistarkkailuun.

4.2 Ehdotus osapuolien työnjaoksi

4.2.1 Ilman laadun seuranta

Turun ja Porin läänin ilman laadun bioindikaattori- ja maaperäseuranta on tarkoituksenmukaista tehdä koko alueen kattavalla, pysyviin havaintoaloihin ja yhtenäisiin menetelmiin perustuvalla verkostolla. Seurannan osapuolien työnjaoksi ehdotetaan seuraavaa:

Turun ja Porin lääninhallituksen ympäristöosasto (1.3.1995 lähtien Lounais-Suomen ympäristökeskus) koordinoi kuntien ja toiminnanharjoittajien seurannan. Läni jakautuu paikallisen kuormituksen perusteella niin sanottuihin velvoiteseurannan ja taustaseurannan alueisiin (kuvat 7 ja 8). Velvoiteseurannan kustantavat alueen kunnat ja toiminnanharjoittajat. Taustaseurannan kustantavat valtio ja alueen kunnat sekä toiminnanharjoittajat. Lääninhallitus tekee ja neuvottelee koko läänin alueella valtion, kuntien ja toiminnanharjoittajien välisen seurannan kustannusjaon esimerkiksi kuntien asukaslukuun, niihin sijoittuvien havaintoalojen määrään ja toiminnanharjoittajien päästömääriin perustuen. Lääninhallitus myös tiedottaa taustaseurannan alueen kunnille ja teollisuudelle seurannan tavoitteista ja käynnistymisestä.

Turun vesi- ja ympäristöpiiri (1.3.1995 lähtien Lounais-Suomen ympäristökeskus) vastaa taustaseurannan toteuttamisesta sekä seurannan kustannuksista valtion osuudella. Vesi- ja ympäristöpiirillä on käytössään tutkimushenkilökuntaa, välineistöä, kuljetuskalustoa sekä laboratorio. Vesi- ja ympäristöpiiri voi teettää osan seurannasta myös toimeksiantona.

Kunnat ja toiminnanharjoittajat vastaavat seurannan suunnittelusta ja toteuttamisesta velvoiteseurannan alueella. Ne voivat teettää seurannan myös toimeksiantona. Kunnat ja toiminnanharjoittajat vastaavat osaltaan seurannan kustannuksista ja osallistuvat seurannan valvontaan ja kehittämiseen ohjausryhmissä tai vastaavissa.

4.2.2 Seurantamenetelmien kehittäminen

Ilman laadun seurannan tulee olla luotettavaa ja kohtuullisin kustannuksin toteutettavaa. Bioindikaattorien ja maaperän kemian avulla toteutettava tarkkailu on vakiinnuttamassa asemaansa seurannassa. Käytetyt tutkimusmenetelmät ovat kuitenkin vielä osittain epätyytyttäviä. Tunnusten indikaatioarvoa ei tunneta riittävästi. Useiden

mahdollisten bioindikaatiomenetelmien soveltaminen käytäntöön on tekemättä. Tutkimusten otoskoko ei aina perustu tutkittuun tietoon ja satunnainen vaihtelu saattaa siten olla huomattava virhelähde. Yhtenäisiä, standardisoituja menetelmiä on vähän, ja nekin ovat vielä kehittämisen tarpeessa.

Seurantamenetelmien kehittämiseksi on tarpeellista käynnistää kehittämishanke, jossa arvioidaan bioindikaation, pitoisuusmittausten sekä matemaattisten leviämisen- ja laskeumamallien tuottamia tuloksia. Hankkeessa tulisi myös selvittää eri tunnusten bioindikaatioarvoa ja soveltuvuutta ilman laadun käytännön seurantaan sekä luotettavan otannan järjestämistä. Mahdollisia hankkeen yhteistyötahoja ovat ainakin Turun vesi- ja ympäristöpiiri, Turun ja Porin lääninhallitus, Turun yliopisto, Ilmatieteen laitos ja Metsäntutkimuslaitos.

5 YHTEENVETO

Ilman laatua on seurattu Turun ja Porin läänissä eri tavoin 1970-luvulta lähtien. Pitkäaikaisiksi tai pysyviksi suunniteltuja havaintoalaverkostoja on perustettu läänin kuormitetuimpiin osiin vuodesta 1990 alkaen. Näillä alueilla seuranta perustuu ilman epäpuhtauksien vaikutuksia ilmentäviin bioindikaattori- ja maaperätunnuksiin.

Tässä selvityksessä esitettävä tausta-alueiden seurantaverkosto tulee täydentämään bioindikaattori- ja maaperäseurannan koko läänin alueen kattavaksi. Bioindikaattori- ja maaperätutkimuksiin pohjautuva laajakin seurantaverkosto on mahdollista perustaa ja ylläpitää kohtuullisin kustannuksin. Verkoston avulla saadaan alueellista ja paikallista tietoa ilman laadun ja ympäristön tilan muutoksista ympäristöviranomaisten tarpeita varten.

Tausta-alueen seurantaverkosto jaetaan viiteen peräkkäisinä vuosina tutkittavaan osaluueeseen. Verkosto käsittää kaikkiaan 571 systemaattisesti tasavälein sijoitettavaa havaintoalaa. Tutkittavat reaktiobioindikaattorit ovat männyn neulaskato, männyn epifyyttijäkälät sekä viherlevä kuusen neulasilla. Tutkittavat kertymäbioindikaattorit ovat männyn neulasten rikki-, typpi- ja muut alkuainepitoisuudet. Lisäksi seurataan maaperän happamoitumistilannetta. Seurannan tavoitteena on tuottaa tietoa ilman epäpuhtauksien ympäristövaikutuksista viranomaisten päätöksenteon tarpeita varten. Seurannan vuotuisten kustannusten on arvioitu olevan runsaat 400 000 markkaa. Seurannan kustannuksista vastaavat osaksi valtio sekä osaksi kunnat ja toiminnanharjoittajat.

Bioindikaattori- ja maaperätutkimukset ovat vakiintumassa ilman laadun seurantamenetelmiksi. Menetelmien kehittäminen on kuitenkin vielä tarpeen. Kehittämistyötä voidaan tehdä esimerkiksi korkeakoulujen, valtion sektoritutkimuslaitosten ja ympäristöviranomaisten yhteistyöhankkeiden avulla.

6 KIITOKSET

Jaana Bäck, Veijo Jormalainen, Ilkka Jussila, Ilkka Niskanen ja Kai Ruohomäki tutustuivat raportin käsikirjoitukseen ja tekivät arvokkaita täsmennyksiä ja parannusehdotuksia. Leena Keskimäki ja Marja-Riitta Koivisto antoivat arvokasta apua kuvien tuottamisessa.

KIRJALLISUUS

- Arndt, U., Nobel, W. & Schweizer, B. 1987. Bioindikatoren. Möglichkeiten, Grenzen und neue Erkenntnisse. Eugen Ulmer. Stuttgart. 388 s.
- Ferm, A., Hytönen, J., Lähdesmäki, P., Pietiläinen, P. & Pätilä, A. 1990. Effects on high nitrogen deposition on forests: case studies close to fur animal farms. Teoksessa: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (toim.) Acidification in Finland. Ss. 635–668. Springer-Verlag. Berlin. Heidelberg. New York.
- Heinonen-Tanski, H. 1992. Teollisuuden ilmansaasteiden vaikutus metsämaan mikrobiologiseen aktiivisuuteen. Esimerkkinä Kuopion seutu. Savon Luonto 23:22–25.
- Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E-L., Mikkela, H. & Nieminen, T. (toim.). 1993. Metsäluonto ja ilmansaasteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 446. 221 s.
- Innes, J. L. 1988. Forest health surveys: problems in assessing observer objectivity. Canadian Journal of Forest Research 18(5): 560–565.
- Jukola-Sulonen, E-L., Lingren, M. & Salemaa, S. Metsäpuiden elinvoimaisuuden arviointi. Vuotuisen seurannan koealat 1992. Metsäntutkimuslaitos, metsien terveydentilan tutkimusohjelma 1992. 43 s. + liite.
- Jukola-Sulonen, E-L., Mikkola, K., & Salemaa, M. 1990. The vitality of conifers in Finland 1986–1988. Teoksessa: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (toim.) Acidification in Finland. Ss. 523–560. Springer-Verlag. Berlin. Heidelberg. New York.
- Jussila, I., Laihonen, P. & Jormalainen V. 1991a. Porin-Harjavallan alueen ilman laadun seuranta bioindikaattorien avulla vuonna 1990. Turun yliopisto, Satakunnan ympäristöntutkimuskeskus. Sykesarja B 2. 62 s.
- Jussila, I., Laihonen, P. & Jormalainen V. 1991b. Turun seudun ilman laadun seuranta bioindikaattorien avulla vuonna 1990. Turun yliopisto, Satakunnan ympäristöntutkimuskeskus. Sykesarja B 3. 61 s.
- Jussila, I. & Ojanen, M. 1993. Pyhäjärvi-seudun ilman laadun seuranta bioindikaattorien avulla vuosina 1992–1993. Turun yliopisto, Satakunnan ympäristöntutkimuskeskus. Sykesarja B 8. 55 s.
- Kauppi, P., Anttila, P., Karjalainen-Balk, L., Kenttämies, K., Kämäri, J. & Savolainen, I. 1990. Happamoituminen Suomessa. HAPRON loppuraportti. Ympäristöministeriön ympäristön ja luonnonsuojeluosaston sarja A 89. Valtion painatuskeskus. Helsinki. 89 s.
- Kiikkilä, O. & Fritze, H. 1990. Tutkimus ilmansaasteiden vaikutuksesta maaperän mikrobiologiaan Itä-Uudellamaalla 1990. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys r.y. Porvoo. 11 s.
- Kiikkilä, O., Fritze, H. & Myllyvirta, T. 1992. Metsämaan happamoitumiskartoitus Itä-Uudellamaalla ja Lahden seudulla 1991. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys r.y. Porvoo. 23 s. + liitteet

- Korhonen, M. 1988. Puuston kasvumittaukset ja bioindikaattorit teollisuusympäristön tilan seurannassa. *Ilmansuojelu-Uutiset* 2:29–30.
- Kubin, E. 1990. A survey element concentrations in the epiphytic lichen *Hypogymnia physodes* in Finland in 1985–1986. Teoksessa: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (toim.) *Acidification in Finland*. Ss. 412–446. Springer-Verlag. Berlin. Heidelberg. New York.
- Kuntien tieliikenteen pakokaasupäästöt 1987. Tietojärjestelmä LII-SA:n laskentatulosteet. 1990. Tie- ja liikennelaboratorio. Tutkimuslaskelma 762. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Espoo. 173 s.
- Kuusinen, M., Mikkola, K. & Jukola-Sulonen, M-L. 1990. Epiphytic lichens on conifers in the 1960's to 1980's in Finland. Teoksessa: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (toim.) *Acidification in Finland*. Ss. 397–420. Springer-Verlag. Berlin. Heidelberg. New York.
- Kämäri, J., Forsius, M., Johansson, M. & Posch, M. 1992. Happamoittavan laskeuman kriittinen kuormitus Suomessa. Ympäristöministeriö. Ympäristönsuojeluosasto. *Selvitys* 111:1–59.
- Kärenlampi, L. 1990. Maaekosysteemit vaarassa – uhkat ilmakehästä. *Kuopion Luonnon Ystävien Yhdistys r.y.* Kuopio. 111 s.
- Laaksovirta, Kari. 1984. Biologisten indikaattorien käyttö ilman saastumisen käytännön selvityksissä. *Ympäristö ja terveys* 2–3: 145–154.
- Lamppu, J. 1989. Männyn (*Pinus sylvestris* L.) paksuuskasvu Vantaan kalliometsissä ilmansaasteiden vaikutusten kannalta. *Moniste 7/1989*. Vantaan kaupunki. Ympäristöasiain keskus. 51 s. + liitteet.
- Lamppu, J. & Huttunen, S. 1992. Hämeen mäntymetsien neulas- ja maaperäkartoitus. Tutkimusraportti. Oulun yliopisto. Kasvitieteen laitos. 52 s. + liitteet.
- Lehto, J. & Leikola, M. 1987. Käytännön metsätyypit. 4. uudistettu painos. Kirjayhtymä. Oy Länsi-Suomi, Rauma. 90 s. + liitteet.
- Lähde, E. & Nieppola, J. 1986. Metsäkasvillisuuden muutoksista Etelä-Suomen vanhoissa männiköissä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 220. 21 s.
- Manninen, S., Huttunen, S. & Torvela, H. 1991. Needle and lichen sulphur analyses on two industrial gradients. *Water, Air and Soil Pollution* 59: 153–163.
- Manninen, S., Osmo, J. & Virkamäki, T. 1990. Ilman epäpuhtauksien leviämisen- ja vaikutustutkimus Itä-Uudellamaalla ja Lahden seudulla. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien- ja ilmansuojeluyhdistys r.y. 36 s. + liitteet.
- Manual for integrated monitoring. Programme phase 1993–1996. 1993. UN-ECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. International Co-operative Programme on Integrated Monitoring on Air Pollution Effects. Environmental report 5. Environment Data Centre. National Board of Waters and the Environment. Iisalmi. 114 s.

- Manual on methodologies and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis on the effects of air pollution on forests. 1989. United Nations Environment Programme (UNEP) and the Secretariat of the United Nations Economic Commission for Europe (UN-ECE). 96 s.
- Merilä, P. 1992. Viherleväkasvusto kuusen (*Picea abies* (L.) Karst.) neulasilla – bioindikaatiomerkitys ja levinneisyys Suomessa 1990. Pro gradu –tutkielma. Limnologian ja ympäristönsuojelun laitos. 79 s. + liitteet.
- Ohjeet lääninhallitusten ja kuntien ilmansuojelutehtävistä. 1987. Ympäristöministeriö. Ympäristön- ja luonnonsuojeluosasto. Sarja B 9/1987. Valtion painatuskeskus. 87 s.
- Ohjeet ilman laadun seurannasta. 1989. Ympäristöministeriö. Ympäristönsuojeluosasto. Sarja B 15/1989. Valtion painatuskeskus. 80 s.
- Pihlström M. Mäkinen, A. & Ruuhijärvi R. 1993. Pääkaupunkiseudun metsien bioindikaattoriseuranta vuonna 1992. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1993:16. 112 s. + liitteet.
- Rikkitoimikunta II:n mietintö. Komiteamietintö 1993:6. Ympäristöministeriö. Painatuskeskus Oy. Helsinki. 185 s. + liitteet.
- Ruohomäki, K., Mutikainen, P. & Pakula, S. 1994. Ilmansaasteiden vaikutukset metsiin: Pohjoismaisten tutkimusten otantamenetelmien ja aineiston tilastollisen käsittelyn arviointi. Turun yliopisto. Satakunnan ympäristöntutkimuskeskus. Sykesarja A 3. 30 s.
- Rühling, Å., Mäkinen, A., Rasmussen, L. & Steinnes, E. 1992. Atmospheric Heavy Metal deposition in Northern Europe 1990. Nord 12. The Nordic Council of Ministers. Göteborg. 44 s.
- Salemaa, M., Jukola-Sulonen, E-L., & Lindgren M. 1991. Forest condition in Finland, 1986–1990. *Silva Fennica* 25(3): 147–175.
- Salemaa, M. & Nieminen, T. 1991. Kuusen neulasten ravinnekoostumuksen vaihtelu. *Luonnon Tutkija* 95(1–2):19–23.
- Suomen Standardisoimisliitto. 1990. Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Havupuiden neulasten fluoridipitoisuus. Näytteenotto ja kemiallinen määrittäminen. Standardi SFS 5672. 4 s.
- Suomen Standardisoimisliitto. 1990. Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Havupuiden neulasten kokonaisrikkipitoisuus. Näytteenotto, esikäsittely ja tulosten esittäminen. Standardi SFS 5669. 4 s. + liite.
- Suomen Standardisoimisliitto. 1990. Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Jäkäläkartoitus. Standardi SFS 5670. 5 s. + liitteet.
- Suomen Standardisoimisliitto. 1990. Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Sammalten kemiallinen analyysi. Näytteenotto, esikäsittely ja tulosten esittäminen. Standardi SFS 5671. 4 s.
- Suomen Standardisoimisliitto. 1992. Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Neulasten rikkipitoisuuden määrittäminen ICP-emissiospektrometrillä. Standardiehdotus E 218.
- Suomen Standardisoimisliitto. 1992. Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Neulasten rikkipitoisuuden määrittäminen IR-menetelmällä polttamalla korkeassa lämpötilassa. Standardiehdotus E 219.

- Suomen Standardisoimisliitto. 1993. Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Havupuiden neulasten rikki-
pitoisuuden määrittäminen ionikromatografisesti. Standardiehdotus E 220.
- Suomen Standardisoimisliitto. 1993. Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Havupuiden neulasten rikki-
pitoisuuden määrittäminen röntgenfluoresenssimenetelmällä. Standardiehdotus E 217.
- Suomen Standardisoimisliitto. 1993. Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Sammalpallomenetelmä. Standar-
diehdotus E 221.
- Sutinen, S. 1992. Neulasten solurakenne ilmansaasteiden ja muiden haittatekijöiden ilmentäjänä.
Savon luonto 23:27-31.
- Taipaleenmäki, M. 1991. Rikkidioksidin ja typen oksidien päästöjen sekä happamoittavan laskeuman
kehitys Turun ja Porin läänissä 1980-2000. Turun ja Porin lääninhallituksen jul-
kaisusarja nro 38/91. 26 s. + kartat + liitteet.
- Tamminen, P. & Mälkönen, E. 1986. Kangasmaiden herkkyys happamoitumiselle. Metsäntutkimus-
laitoksen tiedonantoja 210. 25 s.
- Tuominoro, A. 1989. Turun ja Porin läänissä tehdyt ilmansuojeluun liittyvät tutkimukset vuoteen
1988. Turun ja Porin lääninhallituksen julkaisuja nro 14. 45 s.
- Typenoksiditoimikunnan mietintö. Komiteamietintö 1990:11. Ympäristöministeriö. Valtion paina-
tuskeskus. Helsinki. 212 s.
- Ympäristökatsaus 9/1992. Metsät. Ympäristötietokeskus. Helsinki. 16 s.
- Ympäristökatsaus 3/1993. Ilma. Ympäristötietokeskus. Helsinki. 28 s.

LIITE 1. HAVAINTOALAN PERUSTAMINEN JA TUTKIMUSMENETELMÄT

Havaintoalan perustaminen

Havaintoala perustetaan pitkäaikaista seuranta varten. Tästä syystä on ensiarvoisen tärkeää, että alan sijainti dokumentoidaan tarkasti ja selkeästi, ja ala merkitään pysyvillä merkeillä maastoon. Lähtökohtana tulee olla se, että tutkimusryhmä voi seurannan kestäessä vaihtua, ja toisaalta havaintoalaa voidaan käyttää muissakin tutkimuksissa. Mitään tietoja ei saa jättää muistinvaraisiksi. Vaikka huolellinen dokumentointi ja merkintä perustamisvaiheessa on melko työlästä, havaintoalan nopea löytymisen kenttätöyvävaiheessa säästää jatkossa aikaa, vaivaa ja kustannuksia.

Havaintoalan sijainti merkitään mahdollisimman tarkasti sotkemattomalla kynällä peruskartalle, mittakaava 1:20 000.

Lisäksi laaditaan aina etsintäohje, joka voi olla vapaamuotoisesti kirjoitettu ja piirretty siten, että pysyvien tai ainakin pitkäaikaisiksi arvioitujen maamerkkien avulla alaa on helppo etsiä. Askelparimittausta, lankamittaa ja kompassisuuntaa voi käyttää apuna kuvattaessa reittiä. Tarpeen mukaan etsintäohjeeseen tulee liittää kuvaus ajokelpoisesta reitistä ja auton pysäköimispaikasta. Sopivista ruokailu- ja majoituspaikoista kannattaa myös tehdä merkintöjä.

Havaintoalan keskus piste merkitään pysyvästi. Keskuspisteenä voidaan käyttää alalla sijaitsevaa maalilla merkittyä kiveä tai puuta tai vaihtoehtoisesti esimerkiksi muovista tai puusta paalua. Metallisen paalun käyttöä tulee välttää. Maalina käytetään vesiohenteista ulkomaalia tai spraytä. Väreinä käytetään punaista, keltaista tai valkoista. Keskuspisteeseen merkitään alan numero tai muu tunnus, ja se "ankkuroidaan" kahdella tukipisteellä, esimerkiksi maalitaplilla puissa tai kivissä, joihin mitataan etäisyys ja kompassisuunta.

Keskuspisteen ei välttämättä tarvitse sijaita täsmälleen alan keskipisteessä, vaan sitä käytetään merkinä, josta eräät mittaukset suoritetaan ja näytteenottosuunnat määrätään. Näkyvästi merkitty keskus piste on myös havaintoalan sijaintipiste, jonka avulla ala on paikannettavissa.

Havaintopuiden merkinnässä ei saa vahingoittaa puuta eikä niillä kasvavia runkojäkäliä. Havaintopuut numeroidaan ykkösestä eteenpäin keskus pisteestä katsoen myötäpäivään siten, että kunkin puun numero on nähtävissä keskus pisteestä. Numerot sijoitetaan alle puolen metrin korkeuteen tyveltä, mutta ei kuitenkaan aivan alas lumen kuluttavan ja peittävän vaikutuksen välttämiseksi. Numeron alta höylätään kaarna sileäksi puukolla tai juustohöylällä, ja maalina käytetään vesiohenteisia ulkomaaleja tai spraytä. Vaihtoehtoinen tai varmistava numerointi voidaan tehdä sileäksi höylättyyn kaarnaan koveltimeilla.

Jäkälälajien havaintoalue on puun rungon lieriön muotoinen osa 50–200 cm korkeudella. Rajakorkeuksien merkintä on suotavaa, sillä tapauksissa, joissa jotakin lajia esiintyy vain yksi tai muutama yksilö rajakorkeuksien tienoilla, niiden mukaan laskeminen tai pois jättäminen saattaa olla sattumanvaraista. Tämä saattaa vaikuttaa tuloksiin etenkin vähälajisilla alueilla. Merkintä voidaan tehdä höylämällä kaarnaan

renkaat rajakorkeuksille ja maalaamalla ne. Ylemmän korkeuden merkintä edellyttää tällöin useimmiten apuvälinettä, jakkaraa tai pieniä tikapuita.

Jäkälien peittävyuden havaintoalueet sijoittuvat 120–160 cm korkeudelle puun vastakaisille puolille. Mittavälineenä käytettävän ruudukon yläkulmien paikat merkitään kaarnaan. Merkinnän voi tehdä käyttämällä pieniä, ruostumattomia nauvoja tai puutappeja. Kulmiin voi myös vuolla kovettimella merkit ja maalata ne. Nauvojen käytön ongelmana saattaa olla niiden joutuminen moottorisahan terään metsänhakkuussa. Kovellin- ja maalimerkintä taas saattaa hävittää rungolta havainnoitavia jäkälälajeja.

Kuuset, joilta viherlevän esiintymistä tarkkaillaan, merkitään maalilla runkoon.

Tietojen dokumentointi

Havainnoidut ja mitatut tiedot merkitään maastossa lomakkeille ja näytteet kerätään paperi- tai muovipusseihin. Lomakkeiden täyttö ja näytteiden merkintä huolellisesti ja pysyvästi on erittäin tärkeää, eikä sitä voi korostaa liikaa. Aineiston puutteellisuus huolimattomuuden tai laiminlyönnin takia aiheuttaa jatkuvasti haittaa aineiston käsittelyssä ja saattaa tuottaa virheellisiä tuloksia.

Lomakkeet suunnitellaan siten, että niiden täyttäminen maastossa on mahdollisimman helppoa ja virhemahdollisuuksien määrä tätä kautta pienenee. Lisäksi lomakkeiden ja käytettävien tietokantojen suunnittelu yhdessä helpottaa myöhemmin tallennusta. Märkiä keleşä varten varataan säänkestäviä lomakkeita.

Lomakkeet täytetään maastossa lyijykynällä. Virheet korjataan pyyhekumilla tai yliviivaamalla, ei muotoilemalla numeroita uudelleen. Havainnot kirjataan yksiselitteisesti etukäteen määrätyillä numero-, rasti- tai muilla merkinnöillä. Kysymysmerkkejä, sulkuja, nuolia tai muita ylimääräisiä merkintöjä ei käytetä. Huomautuksille varataan riittävästi tilaa epävarmojen tai poikkeuksellisten havaintojen kuvaamiseen. Mikäli havainnoksi tulee puuttuva tai nolla, se merkitään lomakkeeseen, eikä kohtaa jätetä tyhjäksi, ellei siitä ole nimenomaan sovittu.

Näytteiden pusseihin merkitään näytteen laatu, näytteenottopaikka (esimerkiksi havaintoalan numero) sekä päivämäärä. Merkintä tehdään vedenkestävällä tussilla mieluiten ennen näytteen sijoittamista pussiin. Tällöin merkinnät on helpompi kirjoittaa selkeästi. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää etikettejä. Muovipusseista merkinnät kuluvat helposti pois kuljetuksen ja säilytyksen aikana. Varsinainen merkitty näytepusseihin laitetaan tämän vuoksi aina toiseen, suojaavaan pussiin.

Lomakkeisiin ja näytepusseihin merkitään aina havainnoijan, mittajaan tai näytteenottajan nimi, nimikirjaimet tai muu tunnistus.

Havaintoalalta koottavat perustiedot

Havaintoaloista kootaan perustietoja pohja- ja kenttäkerroksen kasvillisuudesta, topografiasta, kasvupaikkatyypistä (metsätyypistä), puulajisuhteista, puuston pohjapinta-alasta, latvusjaksoista, keskipituuksista, tiheydestä sekä erityisistä seikoista, kuten rakenteista, poluista ja ajourista.

LIITE 1/3

Havaintopuista mitataan puiden pituudet, latvusten alakorkeudet sekä rinnankorkeusläpimitat.

Havaintoalan pohja- ja kenttäkerroksen kasvillisuus inventoidaan kehikon avulla lajikohtaisina peittävyysinä neljältä 1 x 1 metrin suuruiselta kasvipeiteruudulta.

Havaintoalan topografia kuvataan sanallisesti: kumpare, rinne tai tasamaa. Mikäli ala on rinteessä, mitataan rinteiden kaltevuusprosentti.

Kasvupaikkatyyppi kuvataan metsätaloudessa yleisesti käytetyn metsätuotintyyppiluokituksen mukaisesti (Lehto ja Leikola 1987). Luokitus perustuu kenttäkerroksen kasvillisuuteen:

CIT jäkälätyyppi
 CT kanervatyyppi
 VT puolukkatyyppi
 MT mustikkatyyppi
 OMT käenkaali-mustikkatyyppi
 OMaT käenkaali-oravanmarjatyyppi.

Puulajisuhteet arvioidaan prosenttiosuuksina.

Pohjapinta-ala mitataan relaskoopilla.

Latvusjaksoisuus kuvataan sanallisesti: yksi-, kaksi- tai monijaksoinen. Keskipituudet arvioidaan latvusjaksoittain.

Puuston tiheys eli latvuspeittävyys arvioidaan silmänvaraisesti prosentteina.

Rakenteet, polut, ajourat ynnä muut sellaiset mainitaan.

Havaintopuiden pituudet ja latvusten alakorkeudet mitataan hypsometrillä. Rinnankorkeusläpimitat mitataan kaulaimella, jossa on 130 cm pituinen varsi.

Männyn neulaskadon arviointi

Männyn neulaskato arvioidaan pääosin ympäristön yhdenmisen seurannan (Manual on methodologies ... 1989) menetelmäsuositusten mukaisesti. Metsätutkimuslaitoksen metsien terveydentilan vuotuisessa seurannassa noudatetaan myös näitä suosituksia (Jukola-Sulonen ym. 1992).

Havainnoitavat tunnuksot ovat neulaskato, kellastuneet oksat, kuolleet oksat, tuhot, neulasvuosikertojen lukumäärä ja neulasten väriviat.

Neulaskadon, kellastuneiden oksien, kuolleiden oksien ja tuhojen osalta maastohavainnot tehdään heinä-elokuun aikana.

Neulasvuosikertojen lukumäärää ja neulasten värivikoja on vaikea havainnoida edes kohtuullisen luotettavasti kiikarilla. Tämän vuoksi näitä tunnuksia tarkastellaan neulasanalyysijä varten talvella kerättävistä näyteyksistä.

Havaintoalueen pää- ja lisävaltapuista valitaan satunnaisotannalla kymmenen mäntyä niiden puiden joukosta, jotka ovat eläviä, yksirunkoisia, vapaasti kasvavia ja rinnankorkeuslöpimitaltaan vähintään 20 cm. Puut merkitään pysyvästi. Kunkin puun elävän latvuksen ylintä 2/3:aa tarkastellaan kiikarin avulla.

Elävän latvuksen alakorkeus määritetään alimpana elävien oksien esiintymiskorkeutena. Mikäli latvuksessa on kaksi peräkkäistä kuollutta oksakiehkuraa, elävä latvus määritetään alkavaksi kuolleen osan yläpuolelta.

Neulaskato arvioidaan prosentteina täyden neulaston omaavaan latvukseen verrattuna. Hedekukinnan aiheuttamaa harsuuntumista ei lueta neulaskatoon. Neulaskato arvioidaan viiden prosentin tarkkuudella.

Sekä kellastuneiden että kuolleiden oksien määrä arvioidaan suurten, löpimitaltaan yli 3 cm, ja pienten oksien osalta erikseen. Arvioinnissa käytetään neljän luokan asteikkoa:

0	kellastuneita/kuolleita oksia ei esiinny
1	kellastuneita/kuolleita oksia esiintyy vähän
2	kellastuneita/kuolleita oksia esiintyy kohtalaisesti
3	kellastuneita/kuolleita oksia esiintyy runsaasti.

Tuhoista havainnoidaan mekaaniset tuhot kuten oksien tai rungon katkeaminen. Taudeista ja tuhohyönteisistä havainnoidaan ainakin yleisimmät ja suhteellisen helposti tunnistettavat: versosurma, tervasroso, ytimennävertäjät ja mäntypistiäiset.

Luotettavimman arvion saamiseksi sekä seurannan helpottamiseksi latvuksen tarkasteluun valitaan paikka aina vähintään puun pituuden etäisyydeltä suunnilleen etelän suunnasta. Liian läheltä tehty arvio tuottaa yleensä liian suuria neulaskatoarvioita. Vastavaloon tehty tarkastelu vaikeuttaa esimerkiksi kellastuneisuuden ja tautien havaitsemista ja tuottaa yleensä suurempia neulaskatoarvioita kuin myötävaloon tehty. Arviointisuunta säilyy samana seurannasta toiseen.

Neulasvuosikerrat lasketaan näytepuista kerätyistä oksista oksien päärangasta maastossa. Mukaan laskettavassa vuosikerrassa tulee olla vähintään puolet elävistä neulasista jäljellä.

Neulasten värvioista havainnoidaan yleisin, eli neulasten keltakärkisyys, niin ikään näytepuista kerätyistä oksista. Havainnoinnissa käytetään neljän luokan asteikkoa:

0	värvikoja ei esiinny
1	värvikoja esiintyy vähän
2	värvikoja esiintyy kohtalaisesti
3	värvikoja esiintyy runsaasti.

Männyn epifyyttijäkälien havainnointi

Jäkäläkartoitus suoritetaan havaintoalueilla pääosin Suomen standardisoimisliiton standardin SFS 5670 mukaisesti.

LIITE 1/5

Havaintoalueelta valitaan satunnaisesti viiden näytemännyn otos niistä puista, jotka ovat eläviä, rinnankorkeusläpimitaltaan vähintään 20 cm, 3 metrin korkeudelle ok-sattomia ja vapaasti kasvavia. Kulutukselle alttiina olleita puita tulee välttää.

Jäkälien esiintyminen havainnoidaan rungolta lieriönmuotoiselta alalta 50–200 cm väliltä. Seuraavien lajien esiintyminen tai puuttuminen kirjataan:

sormipaisukarve *Hypogymnia physodes*
 keltatyvikarve *Parmeliopsis ambigua*
 harmaatyvikarve *Parmeliopsis hyperopta* tai
 tuhkararve *Imshaugia aleurites* (lajeja ei erotella)
 seinäsuomujäkälä *Hypocenomyce scalaris*
 lupot *Bryoria* sp.
 naavat *Usnea* sp.
 harmaaröyhelö *Platismatia glauca*
 keltaröyhelö *Cetraria pinastri*
 hankakarve *Pseudevernia furfuracea*
 ruskoröyhelö *Cetraria chlorophylla*
 raidanisokarve *Parmelia sulcata*
 leväpeite *Algae ja Scoliciosporum*.

Sormipaisukarpeen sekä luppojen ja naavojen runsaus eli peittävyys mitataan systemaattisesti. Mittaväline on 30 x 40 cm ruudukko, joka on jaettu sataan osaan. Jokaisen ruudun keskellä on piste. Ruudukko asetetaan rungon lounais- ja koillispuolille 120–160 cm korkeudelle. Kunkin pisteen kohdalle osunut sormipaisukarve sekä naava tai loppo (lajeja erottamatta) lasketaan.

Jäkälien vaurioaste havainnoidaan erikseen sormipaisukarpeen ja kaikkien lajien yleisenä vaurioitumisena. Havainnointi tehdään silmänvaraisesti viiden luokan asteikkoa käyttäen:

Sormipaisukarpeen vaurioasteluokitus

1	normaali	jäkälät terveitä tai lähes terveitä (mustia täpliä saa esiintyä)
2	lievä vaurio	lievästi kitukasvuisia, lieviä värimuutoksia
3	selvä vaurio	kitukasvuisia ja vihertyneitä tai tummuneita tai kumpiakin
4	paha vaurio	pieniä, ryppyisiä, vihertyneitä tai tummuneita tai kumpiakin
5	kuollut tai puuttuu.	

Yleinen vaurioasteluokitus

1	normaalit	kaikkien lajien ulkonäkö ja kasvu muuttumattomia
2	lievät vauriot	pensasmaiset kitukasvuisia, lehtimäiset normaaleja
3	selvät vauriot	pensasmaiset pieniä, lehtimäiset vaurioituneita
4	pahat vauriot	pensasmaiset puuttuvat, lehtimäiset pahoin vaurioituneita
5	kuolleet tai puuttuvat	leväpeitettä voi esiintyä.

Kuusen neulasten viherlevän havainnointi

Viherlevän esiintyminen havainnoidaan pääosin ympäristön yhdenntyn seurannan (Manual for integrated monitoring ... 1993) menetelmäsuosituksen mukaisesti.

Levän esiintyminen havainnoidaan nuorien kuusien neulasilta. Havaintoalasta tai sen läheisyydestä valitaan satunnaisotannalla kymmenen 2–4 metrin pituista kuusta.

Noin 150 cm korkeudelta, eri puolilta kuusia arvioidaan levän esiintyminen oksien pääranan neulasilla neljän luokan asteikon mukaan:

- | | |
|---|--|
| 1 | viherlevää ei esiinny |
| 2 | viherlevää esiintyy hajanaisena ja ohuena kerroksena |
| 3 | viherlevää esiintyy melko paksuna kerroksena |
| 4 | viherlevää esiintyy hyvin paksuna kerroksena. |

Männyn neulasten rikkipitoisuuden määrittäminen

Männyn neulasnäytteet kerätään ja esikäsitellään Suomen standardisoimisliiton standardin SFS 5669 mukaan.

Neulasnäytteet kerätään kasvukauden päätyttyä joulukuussa havaintoaloilta samoista puista kuin neulaskatohavainnointi tehdään. Kymmenen puun elävän latvuksen keskikolmanneksen eri puolilta otetaan kolme tai neljä oksaa pitkävartisilla oksasaksilla. Oksista lasketaan neulasvuosikerrat ja havainnoidaan väriviat ja vähintään kaksi vuosikertaa käsittävät oksanpätkät laitetaan kustakin puusta erikseen paperipusseihin.

Oksat esikäsitellään kolmen vuorokauden kuluessa näytteenotosta. Viimeistä edellisen kasvukauden kasvaimet erotetaan oksista ja kuivataan paperipusseissa noin 60 asteen lämpötilassa kaksi vuorokautta. Kuivat neulaset erotetaan rangoista ja kunkin puun oksista punnitaan sama määrä neulasia kokoomanäytteeseen. Kokoomanäytteet jauheetaan homogeeniseksi massaksi. Jauhetut näytteet säilytetään purkeissa pimeässä, kuivassa ja huoneenlämmössä.

Kokonaisrikkipitoisuus voidaan analysoida usealla menetelmällä. Seurannassa neulasnäytteistä analysoidaan useiden alkuaineiden pitoisuuksia. Kustannuksiltaan edullisin vaihtoehto on siksi ICP-emissiospektrometri. Menetelmä on standardisoitavana Suomen standardisoimisliitossa (SFS E 218).

Männyn neulasten typpipitoisuuden määrittäminen

Männyn neulasten typpipitoisuus analysoidaan samoista näytteistä kuin rikki- ja muut alkuainepitoisuudet. Neulasnäytteiden keräys, esikäsitely ja säilytys on kuvattu kohdassa männyn neulasten rikkipitoisuuden määrittäminen.

Kokonaistyppipitoisuus analysoidaan Kjeldahl-menetelmällä.

LIITE 1/7

Männyn neulasten muiden alkuainepitoisuuksien määrittäminen

Männyn neulasten muut alkuainepitoisuudet analysoidaan samoista näytteistä kuin rikki- ja typpipitoisuudet. Neulasnäytteiden keräys, esikäsittely ja säilytys on kuvattu kohdassa männyn neulasten rikkipitoisuuden määrittäminen.

Alkuainepitoisuuksia voidaan analysoida esimerkiksi AAS-atomiabsorbtiiospektrometrillä tai ICP-emissiospektrometrillä. Seurannassa neulasnäytteistä analysoidaan useiden alkuaineiden pitoisuuksia. Kustannuksiltaan edullisin vaihtoehto on siksi ICP-emissiospektrometri.

Metsäsammalien raskasmetallipitoisuuden määrittäminen

Metsäsammalnäytteet kerätään ja esikäsitellään Suomen standardisoimisliiton standardin SFS 5671 mukaan.

Tutkittava laji on alueella yleisesti kasvava seinäsammal *Pleurozium schreberi*. Sammalnäytteet kerätään kesällä metsän aukko- ja avoimilta latvusten tippuvesivyöhykkeiden ulkopuolelta. Näyte koostuu eri puolilta havaintoalaa kerätyistä osanäytteistä. Kokoomanäytteen tilavuus on noin kaksi litraa.

Näytteet asetetaan maastossa paperipussiin siten, että osanäytteet tulevat rinnakkain, eivätkä päällekkäin. Kuljetuksessa ja säilytyksessä näytettä ei saa kääntää ylösalaisin, jotta variseva pintamaa ei kontaminoi sammalia.

Näytteet esikäsitellään tuoreina tai pakastetaan myöhempää käsittelyä varten. Näytteet puhdistetaan karikkeesta ja fraktioidaan. Analyysiä varten otetaan talteen versoista kolme nuorinta vuosikasvainta. Näytteitä kuivataan lämpökaapissa 40 asteessa vuorokausi, minkä jälkeen ne jauhetaan ja säilötään tiiviisiin lasi- tai muovipurkkeihin.

Alkuainepitoisuuksia voidaan analysoida esimerkiksi AAS-atomiabsorbtiiospektrometrillä, AAS-grafiittiuunilaitteella tai ICP-emissiospektrometrillä. Seurannassa sammalnäytteistä analysoidaan useiden alkuaineiden pitoisuuksia. Kustannuksiltaan edullisin vaihtoehto on siksi ICP-emissiospektrometri. Elohopea analysoidaan kylmähöyrytekniikalla.

Maaperäkemiallisten happamoitumistunnusten määrittäminen

Havaintoalojen vaipoilta, 15–20 metrin päästä alan keskuspiesteestä, kerätään kolmelta ilmansuunnalta humusnäytteet terässylinterillä. Pohja- ja kenttäkerroksen kasvillisuus ja karikkeet poistetaan näytteenottokohdasta. Sylinteri pyöräytetään kevyesti humukseen ja näytekakku otetaan talteen. Humuksen paksuus mitataan näytteenottokohdasta. Näytteet yhdistetään kokoomanäytteeksi kaksoismuovipussiin.

Humusnäytteistä analysoidaan pH, johtokyky, orgaanisen aineksen osuus ja vaihtohappamuus.

Alkuainepitoisuuksia voidaan analysoida esimerkiksi AAS-atomiabsorbtiiospektrometrillä tai ICP-emissiospektrometrillä. Typpipitoisuuksia voidaan analysoida Kjeldahl-menetelmällä tai LECO-hiili-vety-typpi-analysointilaitteella. Seurannassa humusnäytteistä analysoidaan useiden alkuaineiden pitoisuuksia. Kustannuksiltaan edullisimmat vaihtoehdot ovat siksi ICP-emissiospektrometri ja LECO-hiili-vety-typpi-analysointilaitte.

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLINNON JULKAISUJA - sarja A

83. Vesihuoltolaitokset 31.12.1988 ja 31.12.1989. Helsinki 1992.
84. Sandman, Olavi; Turkia, Jaana & Huttunen, Pertti: Paleolimnologinen tutkimus metsäojituksen ja -lannoituksen vesistövaikutuksista Juupajoen Kalliojärvässä. Helsinki 1992.
85. Helsingin vesi- ja ympäristöpiiri: Uudenmaan ja Etelä-Hämeen vedet. Helsinki 1991.
86. Roila, Tuija: Pienvesien happamoitumisen seuranta vuosina 1979 - 1989.
Roos, Jaana: Puskurikapasiteetin muutokset eräissä pienjärvisissä vuosien 1937 - 48 ja 1988 välillä. Helsinki 1992.
87. Ollikainen, Minna: Karjalan Pyhäjärven tila 1980-luvulla sedimentin piilevien ilmentämänä. Helsinki 1992.
88. Lepistö, Liisa: Planktonlevien aiheuttamat haitat. Helsinki 1992.
89. Rantakangas, Jorma: Perkauksen aiheuttaman kiintoainevirtaaman ennakointi. Helsinki 1992.
90. Kaijalainen, Erkki (toim.): Sonkajärven reitin vesien käytön yleissuunnitelma. Helsinki 1992.
91. Salo, Simo: The fate of chemicals spilled on water. A literature review of physical and chemical processes. Helsinki 1992.
92. Mäkirinta, Urho & Tolonen, Pasi: Vaalan Järvikylän järvien kasvillisuus järvien tilan kuvaajana. Helsinki 1992.
93. Mäkirinta, Urho: Muutoksia Alavetelin Isojärven kasvillisuudessa 1973 - 1981. Helsinki 1992.
94. Nakari, Tarja: Porvoon edustan merialueen meriveden vaikutuksista sumputettujen ja luonnonkalojen elintoimintoihin. Helsinki 1992.
95. Torpström, Heikki & Lappalainen, Matti: Järvien biomanipulaation perusteita ja käytännön mahdollisuuksia. Helsinki 1992.
96. Salonen, Seija; Frisk, Tom; Kärmenniemi, Tellervo; Niemi, Jorma; Pitkänen, Heikki; Silvo, Kimmo & Vuoristo, Heidi: Fosfori ja typpi vesien rehevöittäjinä – vaikutusten arviointi. Helsinki 1992.
97. Assmuth, Timo; Strandberg, Tapio; Joutti, Anneli & Kalevi, Kirsti: Kemiallisesti saastuneiden maa-alueiden tutkimusmenetelmät. Helsinki 1992.
98. Kivimäki, Anna-Liisa: Tekopohjavesilaitokset Suomessa. Helsinki 1992.
99. Tanninen, Risto: Arvot ja asenteet Pyhäjoen vesiensuojelusuunnittelussa. Helsinki 1992.
100. Kuopion vesi- ja ympäristöpiiri: Rautalammin reitin vene- ja retkisatamasuunnitelma. Helsinki 1992.
101. Eloheimo, Karri: Veneily ja sen ympäristövaikutukset. Helsinki 1992.
102. Sytyke 16. Sannholm, Gun & Söderström, Mirja: Entsyymikäsittelyn merkitys sulfaattimassan valkaisussa. Helsinki 1992.
103. Sytyke 9. Raitio, Laura: Siistausprosessin ympäristökuormitus. Helsinki 1992.
104. Sytyke 17. Jantunen, Esko: Jätevesipäästötön paperitehdas. Helsinki 1992.
105. Sytyke 10. Lehtinen, K.-J. & Tana: Effects in mesocosms exposed to effluents from bleached hardwood kraft pulp mill. Helsinki 1992.
106. Hudd, Richard; Toivonen, Anna-Liisa & Wistbacka Ralf: Malax å fiskeriutredning. Helsinki 1992.
107. Rontu, Mika: Pohjaveden alkalointi kalkkikivisuodatuksella. Helsinki 1992.
108. Kuopion vesi- ja ympäristöpiiri: Rautalammin reitti - Kansallisvesi. Helsinki 1992.
109. Sytyke 11. Junttila, Vesa: Sellutehtaan ympäristökuormitusten pienentäminen ja hallinta uudella tehdaslayoutilla. Helsinki 1992.
110. Sytyke 20. Kara, Mikko: Natrium- ja rikkitaseen säätömahdollisuuksia suomalaisessa sellutehtaassa. Helsinki 1992.
111. Kauppi, Marja: Repoveden alueen vesistöjen perusselvitys. Helsinki 1992.
112. Lindholm, Tapio (toim.): Suksessiotutkimusten tuloksia Suomen ja SNTL:n luonnonsuojelualueilta. Helsinki 1992.
113. Sytyke 2. Hatakka, Annele; Valo, Marjatta & Lankinen, Pauliina: Puunjalostusteollisuuden jätevesien käsittely valkolahosienillä ja niiden entsyymeillä. Helsinki 1992.
114. Sytyke 19. Krogerus, Märten & Hynninen, Pertti: Sellu- ja paperiteollisuuden päästöjen käsittelyvaihtoehdot ja kustannukset. Helsinki 1992.
115. Hyvärinen, Pekka; Salojärvi, Kalervo; Pushkin, Sergei & Ahonen, Mikko: Kalojen vaellus Oulujärvestä Oulujokeen. Helsinki 1992.
116. Ettala, Matti & Koskela, Juhani: Kloorifenolipitoisten pohjavesien käsittely aktiivihiilisuodatuksella ja aktiivilietemenetelmällä. Helsinki 1992.

117. Sytyke 6. Myréen, Bertel: Suomen metsäteollisuuden tila vuonna 1995. Helsinki 1992.
118. Lyly, Olavi: Torjunta-aineiden käytön kannattavuus ja ympäristöhaittojen vähentäminen. Helsinki 1992
119. Sytyke 21. Laxén, Torolf: Organosolvkeitot. Helsinki 1992.
120. Sytyke 4. Pere, J; Thun, R; Alén, R; Kyllönen, H & Viikari, L: Metsäteollisuuden jätelietteet. Helsinki 1992.
121. Vesihuoltolaitokset 31.12.1990. Helsinki 1992.
122. Sytyke 14. Siitonen, Heikki; Wartiovaara, Jyrki & Kasanen, Pirkko: Sellu- ja paperitehdas-integraatin ympäristönsuojelutoimien hyötyjen ja haittojen arviointi - casetutkimus. Helsinki 1992.
123. Sytyke 22. Malinen, Raimo: Skenaarioanalyysi massan valmistuksen kehitysvaihtoehdoista. Helsinki 1992.
124. Sytyke 22A. Vasara, Petri: Skenaarioiden tuottaminen ja analyysi massanvalmistukselle Suomessa 1995 - 2010. Helsinki 1992.
125. Törrtö, Heli; Kaakinen, Eero & Alasaarela, Erkki: Ympäristövaikutusten arviointi aluehallinnossa - esimerkkinä Oulun lääni. Helsinki 1992.
126. Ekholm, Matti: Suomen vesistöalueet. Helsinki 1992.
127. Aura, Erkki; Puustinen, Markku; Virtanen, Seija; Mikkola, Hannu; Luoma, Tarmo & Peltomaa, Rauno: Salaojitusmenetelmien vertailu Zaitsevon kenttäkokeessa. Helsinki 1992.
128. Sytyke 15. Puustinen, Jukka: Ravinteiden käytön optimointi metsäteollisuuden aktiivilietelaitoksissa.
Sytyke 3. Lammi, Reino & Pakarinen, Kauko: Typpiravinnelisäyksen vaikutus sellutehtaan aktiivilietelaitoksen toimintaan. Helsinki 1993.
129. Seppälä, Jyri: Ympäristöriskianalyysi teollisuudessa. Helsinki 1992.
130. Sytyke 18. Pihlaja, Kalevi (koordinaattori): Valkaistua sulfaattisellua valmistavan tehtaan jätevesien orgaanisen aineen hajoaminen ja ympäristövaikutukset. Helsinki 1993.
131. Lax, Hans-Göran; Koskenniemi, Esa; Sevola, Pertti & Bagge, Pauli: Tenojoen pohjaeläimistö ympäristön laadun kuvaajana. Helsinki 1993.
132. Sytyke 12. Kauppinen, Jyrki: Metsäteollisuuden hajuaineiden analytiikka ja seuranta. Helsinki 1993.
Sytyke 5. Välttilä, Olli: Biolietteen poltto.
133. Sytyke 10A. Lehtinen, K-J: Ecological impact of pulp mill effluents. Helsinki 1993.
134. Hirvi, Juha-Pekka (toim.): Operatiivinen ajelehtimis- ja kulkeutumismalli merialueille.
135. Nystén, Taina: Kärkölän likaantuneen pohjavesialueen geologia ja matemaattinen mallintaminen. Helsinki 1993.
136. Vesihuoltolaitokset 1991. Helsinki 1993.
137. Ullvén, Johanna: Simpukoiden soveltuvuudesta kloorifenolien tutkimiseen murtovedessä. Helsinki 1993.
138. Peura, Pekka: Happamoituminen Merenkurkun pienissä järvissä.
Peura, Pekka: Försurning av småsjöarna i Norra Kvarnen. Helsinki 1993
139. Huttunen, Leena & Soveri, Jouko: Luonnontilaisen roudan alueellinen ja ajallinen vaihtelu Suomessa. Helsinki 1993.
140. Kaatra, Kai & Marttunen, Mika (toim.): Oulujoen vesistön säännöstelyjen kehittämiselvitykset. Helsinki 1993.
141. Suomela, Tapani: Tuusulan kunnan Hyrylän pohjavesialueen suojelusuunnitelma. Helsinki 1993.
142. Kauppi, Lea (toim.): Itäisen Suomenlahden lintukuolemat keväällä 1992. Helsinki 1993.
143. Lahti, Kirsti; Lepistö, Liisa; Niemi, Jorma & Färdig, Michael: Eri vesilaitosten tehokkuus levien ja erityisesti syanobakteerien poistossa. Helsinki 1993.
144. Koskimies, Pertti: Population sizes and recent trends of breeding birds in the nordic countries. Helsinki 1993.
145. Alasaarela, Erkki; Hellsten, Seppo; Keränen, Reijo; Kurttila, Terttu & Riihimäki, Juha: Säännöstelyjen järvien rantojen kunnostuksen ja hoidon periaatteet - esimerkkinä Oulujoen vesistö. Helsinki 1993.
146. Korkka-Niemi, Kirsti; Sipilä, Annika; Hatva, Tuomo; Hiisvirta, Leena; Lahti, Kirsti & Alftan, Georg: Valtakunnallinen kaivovesitutkimus. Helsinki 1993.
147. Ruonala, Seppo (toim.): SYTYKE-ohjelman projektien yhteenvedot. Helsinki 1993.
148. Ruonala, Seppo (red.): Sammandrag av projekten i programmet SYTYKE. Helsinki 1993.
149. Ruonala, Seppo (ed.): Summaries of SYTYKE-projects. Helsinki 1993.

150. Niinioja, Riitta: Lietelannan levitys ja ravinteiden huuhtoutuminen. Helsinki 1993.
151. Hynninen, Pekka (toim.): Pyhäjoen vesiensuojelun yleissuunnitelma. Helsinki 1993.
152. Pohjois-Karjalan vesi- ja ympäristöpiiri: Pohjois-Karjalan vedet ja ympäristö 1990-luvulla. Helsinki 1993.
153. Rathmayer, Hans & Juvankoski, Markku: Tiivistemattoina käytettävät geomembraanit - toiminta-vaatimukset ja materiaalinvalintakriteerit. Helsinki 1993.
154. Vertanen, Suvi: Elinkaarianalyysi ja pakkaukset. Helsinki 1993.
155. Ahtela, Irmeli: Porvoon edustan merialueen tila vuosina 1985 - 1991. Helsinki 1993.
156. Mroueh, Ulla-Maija: Orgaanisten liuotteiden käyttö Suomessa. Helsinki 1993.
157. Hudd, Richard; Leskelä, Ari & Kjellman, Jakob: Kyrönjoen alaosan kalatalousselvitykset vuosina 1980 - 1990. Helsinki 1993.
158. Hottola, Petri : Lintuvesiohjelma puntarissa - Linnustoselvitys Pohjois- Karjalan lintujärvillä. Helsinki 1993.
159. Luther, Annika: Muurahaiset ympäristön seurannassa. Kirjallisuusselvitys. Helsinki 1993.
160. Haatainen, Susanna; Hammar, Taina; Huovila, Juhani; Lahti, Erkki; Oksman, Heikki; Punju, Pirjo & Taipalinen, Irmeli: Hyalotheca dissiliens -koristelevän runsastumisen syistä Rautalammin reitillä. Helsinki 1993.
161. Turun vesi- ja ympäristöpiiri: Kiskonjoen luonnontaloudellinen kehittämissuunnitelma. Helsinki 1993.
162. Porvari, Petri; Verta, Matti: Elohopea ympäristössä ja tekoaltaissa - kirjallisuuskatsaus ja arvio Vuotoksen tekoaltaan hauen elohopeapitoisuuden kehittymisestä. Helsinki 1993.
163. Grönroos, Juha: Maatalouden ammoniakkipäästöjen vähentäminen. Vähentämismenetelmien arviointitutkimus. Helsinki 1993.
164. Heikkinen, Onni (toim.): Oulujärven vesiensuojelun yleissuunnitelma. Helsinki 1993.
165. Reuna, Marja, Perälä, Jaakko ja Aitamurto, Seppo: Lumen aluevesiarvoja Suomessa vuosina 1946 - 1993. Helsinki 1993.
166. Madekivi, Olli: Alusten aiheuttamien aaltojen ja virtausten ympäristövaikutukset. Helsinki 1993.
167. Shuibo, Pan (ed.) & Loukola, Erkki (ed.): Chinese-Finnish cooperative research work on dam break hydrodynamics. Helsinki 1993.
168. Vesihuoltolaitokset 1992. Helsinki 1993.
169. Virkanen, Juhani; Heikkilä, Raimo; Lindholm, Tapio: Kerrossammalten (*Hylocomium splendens*) raskasmetallipitoisuudet Kuhmossa 1989. Helsinki 1994.
170. Vuori, Kari-Matti: Hydropsychidae-heimon vesiperhostoukat ympäristökuormituksen mittareina virtaavissa vesissä. Helsinki 1993.
171. Keränen, Saara & Kokko Aira: Pesosjärven yhdenntyn seurannan alueen kasvillisuus vuosina 1989 ja 1990. Helsinki 1993.
172. Kärkkäinen, Sirpa: Kolin alueen lehdot. Helsinki 1994.
173. Marttunen, Mika & Hiedanpää, Juha: Etutahojen suhtautuminen Kokemäenjoen keskiosan ja Loimijoen tulvasuojeluun. Helsinki 1994.
174. Krogerus, Kirsti & Bilaletdin, Amer: Kyrösjärven, Parkanonjärven ja Jämijärven vesiensuojelusuunnitelma. Helsinki 1994.
175. Rutanen, Ipo: Etelä-Suomen vanhojen metsien kovakuoriaiset I. Helsinki 1994.
176. Rönkkömäki, Mauno: Hydrologisten mallien käyttö turvetuotantoalueiden vesiensuojelutekniikan kehittämisessä. Helsinki 1994.
177. Lindholm, Tapio & Airaksinen, Outi (toim.): Talaskankaan metsä- ja suoalueen luonnonsuojeluintentoinnit. Helsinki 1994.
178. Dahlbo, Helena: Kiinteän yhdyskuntajätteen metallivirrat - tutkimuksen kokeellinen osa ja yhteen-veto. Helsinki 1994.
179. Sandman, Olavi; Kauppi, Lea & Tossavainen, Tarmo: Metsäojitusten ja -lannoitusten aiheuttamien ravinnehuuhtoutumien pidättyminen järvikerrostumiin.
Sandman, Olavi; Turkia, Jaana & Huttunen, Pertti: Metsätalouden pitkäaikaiset vaikutukset suurissa järvissä, Kuhmon Änäntijärven ja Lentuan sedimenttitutkimus. Helsinki 1994.
180. Lapin vesi- ja ympäristöpiiri: Lapin vesistöt ja ympäristö 1990-luvulla. Lapin vesien käytön, hoidon ja suojelun kehittämissuunnitelma. Helsinki 1994.
181. Malve, Olli; Ekholm, Petri; Kirkkala, Teija; Huttula, Timo & Krogerus, Kirsti: Säskylän Pyhäjärven virtaukset, ravinnekuormitus ja rehevyystaso. Helsinki 1994.

182. Kaila-Kangas, Leena; Kangas, Risto & Piirainen, Helena: Ympäristöasennebarometri. Helsinki 1994.
183. Vertanen, Päiviö & Viitasaari, Sauli: Nahanvalmistuksen jätehuolto ja jätevesien käsittely. Helsinki 1994.
184. Repo, Maire & Hämäläinen, Maria-Leena (toim.): Teollisuuden vesitilasto 1992. Helsinki 1994.
185. Valovirta, Ilmari & Heino, Mikko: Maanilviäiset ympäristön tilan seurannassa. Helsinki 1994.
186. Jämsen, Minna: Tekojärvien ja padottujen jokisuvantojen vaikutus Kalajoen veden laatuun. Helsinki 1994.
187. Kemikaaliyhdistysten työryhmä: Kemikaalien aiheuttamien ympäristöriskien hallinta. Vesi- ja ympäristöhallituksen toimintaohjelma. Helsinki 1994.
188. Mononen, Paula & Lozovik, Peter (toim.): Acidification of inland waters. Helsinki 1994.
189. Verta, Matti (toim.): Happikemikaalien käyttöön perustuvan massanvalkaisun ympäristövaikutuksia. Helsinki 1994.
190. Manninen, Pertti; Kivinen, Jarmo & Julkunen, Markku: Hyalotheca dissiliens -koristelevän aiheuttama pyydysten limoittuminen ja levän esiintyminen Mikkelin läänissä. Helsinki 1994.
191. Sulkakoski, Mikko: Humukseen sitoutuneen raudan poisto pohjavedestä biosuodatuksella. Helsinki 1994.
192. Vesihuoltolaitokset 1993. Helsinki 1994.
193. Heikkinen, Kaisa; Ihme, Raimo & Lakso, Esko: Ravinteiden, orgaanisten aineiden ja raudan pidättymiseen johtavat prosessit pintavalutus kentällä. Helsinki 1994.
194. Kullberg, Jaakko: Päiväperhosten käyttö ympäristön seurannassa. Helsinki 1994.
195. Reuna, Marja & Aitamurto, Seppo: Sadannan aluearvoja ja aluearvojen toistuvuuksia Suomessa vuosina 1911–1993. Helsinki 1994.
196. Rutanen, Ilpo: Metsäpalon vaikutuksesta kovakuoriaislajistoon Patvinsuon kansallispuistossa. Helsinki 1994.
197. Korhonen, Iris: Luonnon monimuotoisuus, in-situ -suojelu ja kansainvälinen oikeus – Alue-suojelun kansainväliset ulottuvuudet. Helsinki 1994.
198. Puustinen, Markku; Merilä, Eero; Palko, Jukka & Seuna, Pertti: Kuivatustila, viljelykäytäntö ja vesistökuormitukseen vaikuttavat ominaisuudet Suomen pelloilla. Helsinki 1994.
199. Merilä, Eero: Suomen peltojen peruskuivatuksen tila ja tarve. Helsinki 1995.
200. Perkkiö, Simo; Huttula, Erkki & Nenonen Marjaleena: Simojoen vesistön vesiensuojelusuunnitelma. Helsinki 1995.
201. Marttunen, Mika & Kaatra, Kai (toim.): Kokemäenjoen keskiosan ja Loimijoen alaosan tulvasuojelun vaikutusten arviointi. Helsinki 1995.

Ilmansuojelun päätöksenteko ja ilmansuojeluinvestointien vaikuttavuuden arviointi edellyttävät ilman laadun säännöllistä ja kattavaa seurantaa. Bioindikaattorien ja maaperän kemiallisten ominaisuuksien käyttö antaa mahdollisuudet laajojenkin alueiden ilman laadun seurantaan kohtuullisin kustannuksin. Toistaiseksi ilman laadun bioindikaattori- ja maaperäseurantaa on toteutettu suurimpien asutus- ja teollisuuskeskusten lähialueilla. Turun ja Porin läänin alueelle laadun suunnitelman tavoitteena on laajentaa päästöjen välittömälle vaikutusalueelle perustettu seurantaverkko koko läänin alueelle. Seurantajärjestelmä tulee tuottamaan tietoa pääasiassa alueellisen ympäristöhallinnon ja kuntien ilmansuojelua varten. Järjestelmän havaintoalueverkostoon voidaan myöhemmin yhdistää muitakin maaympäristön tutkimuksen ja seurannan toimintoja.