

YMPÄRISTÖN-
SUOJELU

Aira Kokko, Katariina Mäkelä ja Seppo Tuominen

Runkoepifyyttiseuranta
Suomen ympäristön
yhdennetyn seurannan alueilla
vuosina 1988–1998



Aira Kokko, Katariina Mäkelä ja Seppo Tuominen

Runkoepifyyttiseuranta
Suomen ympäristön
yhdenntyn seurannan alueilla
vuosina 1988–1998

HELSINKI 2001

ISBN 952-11-0881-9
ISSN 1238-7312

Edita Oyj, Helsinki 2001

Sisällys

1	Johdanto	5
2	Seurannan tavoitteet ja tausta	8
3	Seuranta-alueet	9
4	Aineisto ja menetelmät	12
4.1	Seuranta-aikataulu	12
4.2	Seuranta-alat	13
4.2.1	Seuranta-alojen valintakriteerit	13
4.2.2	Seuranta-alojen mittaukset	13
4.3	Näytepuut	14
4.3.1	Näytepuiden valintakriteerit	14
4.3.2	Näytepuiden mittaukset	14
4.4	Seurattu jäkälälajisto	15
4.5	Jäkäliden mittaukset	15
4.5.1	Jäkäliden peittävyys mäntynäytepuilla	15
4.5.2	Jäkäliden esiintyminen mäntynäytepuilla koko rungolla	16
4.5.3	Jäkäliden esiintyminen tunturikoivunäytepuilla	17
4.5.4	Jäkäliden vauriot	17
4.6	Ilmansaasteindeksien laskeminen ja jäkäliden herkkyysarvot	17
4.7	Tausta-aineistot	19
4.8	Aineiston tilastollinen käsittely	19
5	Tulokset	20
5.1	Seuranta-alojen ja näytepuiden kuvaus	20
5.1.1	Seuranta-alat	20
5.1.2	Näytepuut	21
5.2	Runkojäkälälajien esiintyminen ja lajien peittävyys mäntyaloilla	22
5.2.1	Seuratun lajiston esiintyminen ja lajien peittävyys	22
5.2.2	Muun lajiston esiintyminen	32
5.3	Runkojäkäliden esiintyminen tunturikoivualoilla	33
5.4	Ilmansaasteindeksit mäntyaloilla	34
5.4.1	PSI-indeksi	34
5.4.2	WS-indeksi	36
5.4.3	MS-indeksi	38
5.4.4	MS-indeksi koko rungon lajistolla	40
5.5	MS-indeksi tunturikoivualoilla	42
5.6	Jäkäliden vauriot	42
5.7	Ilmansaasteindeksit suhteessa sadeveden kemiaan	43
6	Tulosten ja käytettyjen menetelmien tarkastelu	49
6.1	Epifyttialojen lajisto	49
6.2	Ilmansaastekuormituksen vaikutus runkoepifyytteihin	51
6.3	Käytettyjen menetelmien arviointi	55
6.3.1	Maastomenetelmät	55
6.3.2	Ilmansaasteindeksit	57
7	Yhteenveto	59

Summary	61
Kiitokset.....	63
Kirjallisuus	64
Liitteet	69
Kuvailulehdet	80

Johdanto



Ympäristön yhdennetty seuranta (YYS) on YK:n Euroopan Talouskomission ilman epäpuhtauksien kaukokulkeutumista koskevan yleissopimuksen (1979) alainen seurantaohjelma (International Co-operative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems, UN/ECE/ICP IM). Yhdennetyllä seurannalla tarkoitetaan ekosysteemin eri osa-alueiden (ilma, maa, vesi, eliöstö) samanaikaista ja samalla paikalla (esim. pienellä valuma-alueella) tapahtuvaa intensiivistä kemiallista, fysikaalista ja biologista seuranta, jossa ekosysteemiä ja sen prosesseja tarkastellaan toiminnallisina kokonaisuuksina (Environment Data Centre 1993).

Hankkeen päätavoitteena on seurata ja ennustaa kaukokulkeutuvien ilma- ja raskasmetallien ja otsonin vaikutuksia ekosysteemeihin (Nordic Council of Ministers 1988, Environment Data Centre 1989 ja 1993). Tähän on pyritty seuraamalla sekä kemiallisia trendejä että biologisia vasteita. Tavoitteeksi on myös asetettu erottaa luonnollinen vaihtelu, mm. sukkessio, ihmisen aiheuttamista muutoksista. Lisäksi on pyritty kehittämään ja soveltamaan malleja ympäristövaikutusten alueelliseen arviointiin ja pitkäaikaisvaikutusten ennustamiseen.

Ympäristön yhdennetty seuranta käynnistyi Suomessa vuonna 1987 osana pohjoismaista yhteistyötä (Ympäristötutkimuksen ja –seurannan työryhmä 1986, Bergström 1998). Vuonna 1989 ohjelma siirtyi YK:n Euroopan talouskomission alaiseksi kolmivuotiseksi pilottiohjelmaksi ja vuonna 1993 ECE:n pysyväksi seurantaohjelmaksi. Ohjelman kansainvälinen tieto- ja arviointikeskus (ICP IM Programme Centre) toimii Suomen ympäristökeskuksessa. Se mm. ylläpitää kansainvälistä tietorekisteriä, jonne ohjelmaan osallistuvat maat toimittavat seurantatietonsa. Tällä hetkellä ohjelmassa on mukana 22 maata ja seurantatietoa toimitetaan kansainväliseen tietorekisteriin kaikkiaan noin 50 seuranta-alueelta (Kleemola & Forsius 1999). YYS:n toteuttamista sen eri vaiheissa ovat ohjanneet kansainväliset ohjelmamanuaalit (Nordic Council of Ministers 1988, Environment Data Centre 1989 ja 1993, ICP IM Programme Centre 1998), joista uusin on Suomessa otettu käyttöön vuonna 2000.

Suomessa seuranta on toteutettu neljällä yhdennetyn seurannan alueella (Valkea-Kotisen alueella Lammilla, Hietajärven alueella Lieksassa, Pesojärven alueella Kuusamossa ja Vuoskojärven alueella Utsjoella). Seuranta-alueet ovat mahdollisimman luonnontilaisia valuma-alueita, jotka eivät ole paikallisten päästölähteiden vaikutuspiirissä. Seurannan toteuttamiseen ovat osallistuneet monet ympäristötutkimusta ja –seuranta tekevät tutkimuslaitokset, yliopistot ja niiden kenttäasemat sekä alueelliset ympäristökeskukset (Bergström 1998). Suomen YYS-alueilla on toteutettu yli kahtakymmentä fysikaalis-kemiallista ja biologista yhdennetyn seurannan osaohjelmaa (Bergström ym. 1995, Environment Data Centre 1993). Lisäksi valuma-alueiden maa- ja kallioperä sekä kasvillisuus on kartoitettu ja alueilla on tehty linnustolaskennat (ks. Bergström ym. 1995). Joitakin osaohjelmia on toteutettu seuranta-alueilla jatkuvasti, toisia taas eri pituisina jaksoina tai vain ajoittain.

Runkojäkälien seurannan osaohjelma on yksi YYS:n pakollisista osaohjelmissä. Suomessa ensimmäiset runkojäkälämittaukset tehtiin vuonna 1988 Valkea-Kotisen alueella. Osaohjelmaa on sittemmin toteutettu kaikilla neljällä toiminnassa olevalla seuranta-alueella. Vuosina 1988-1989 eri yliopistot toteuttivat seurantaan. Vuodesta 1990 alkaen seurantaan on koordinoanut vesi- ja ympäristöhallitus, sittemmin Suomen ympäristökeskus ja myös alueelliset ympäristökeskukset ovat osallistuneet seurannan toteuttamiseen. Maastotyöt on tehty pääosin ympäristöministeriön rahoituksella.

Epifyytiset jäkälät ovat yleisesti käytettyjä ilmansaastevaikutusten bioindikaattoreita. Bioindikaattorit reagoivat tavallista herkemmin kohonneeseen kuormitukseen tai kuormituksen muutokseen ympäristössään. Jäkälillä onkin monia ominaisuuksia, jonka vuoksi ne soveltuvat hyvin bioindikaattoreiksi. Jäkälät ovat sienien ja levän tai syanobakteerin symbioottisia yhdistymiä, ja näiden osien vuorovaikutus on ilmeisen herkkä häiriöille (mm. Gries 1996). Jäkälillä ei ole erikoistunutta juuristoa, vaan ne saavat veden ja ravinteet, myös ilman epäpuhtaudet, suoraan kuiva- tai märkälasseumasta tai kaasumaisessa muodossa. Jäkälät ovat myös hitaasti kasvavia ja pitkäikäisiä, joten saasteet voivat kertyä niiden sekovarten pitkän ajan kuluessa. Rungoilla ja oksilla kasvavat epifyytit ovat lisäksi alttiina saasteille ympäri vuoden. Jotkut lajit vaurioituvat ja väistyvät herkemmin saastekuormituksen lisääntyessä, toiset taas saattavat tiettyyn rajaan asti jopa hyötyä saasteista niiden sisältämien ravinteiden, lähinnä typen, lisääntymisen takia.

Tyypillisesti runkojäkälälajiston ja sen perusteella laskettujen ilmansaasteindeksien avulla on selvitetty ilmanlaatua ja ilmansaasteiden vaikutuksia teollisuusalueiden ympäristössä (esim. Jussila 1997, Jussila ym. 1999) ja taajama-alueilla (esim. Pihlström ym. 1994, Niskanen 1995, Kauppi & Halonen 1992) tai tehty laajempia maakunnallisia selvityksiä (esim. Niskanen ym. 1997, Niskanen ym. 1999). Jäkälille on myös kehitetty standardoitu kartoitusmenetelmä (Suomen Standardisoimisliitto 1990), joka perustuu rungolla esiintyvään jäkälälajistoon, lajien runsaustietoihin ja näkyviin vaurioihin. Standardi on tarkoitettu ensisijassa taajamien ja teollisuusympäristöjen ilman laadun ja laskeuman sekä epäpuhtauksien levinneisyyden ja biologisten vaikutusten arviointiin.

Valtakunnallisella tasolla runkojäkälää on käytetty bioindikaattoreina mm. Metsäntutkimuslaitoksen valtakunnan metsien inventointien yhteydessä (Kuusinen ym. 1990, Poikolainen ym. 1998b). Myös jäkälien sekovarten kertyvien aineiden (esim. rikki, raskasmetallit) pitoisuuksia on tutkittu bioindikaattoriselvityksissä (esim. Bruteig 1992, Kubin 1989, Kubin 1993, Niskanen ym. 1999) ja jäkälien biokemiallisia ja solurakenteen muutoksia on selvitetty suhteessa ilmansaastegradiettiin (esim. Holopainen 1984, Oksanen 1995, Tarhanen ym. 1995, Tarhanen 2000).

Eri jäkälien herkkyyttä ilmansaasteille on selvitetty paitsi laji-inventoinneilla myös kokeellisesti (mm. Holopainen & Kärenlampi 1984 ja 1985, Tarhanen 2000). Jäkälien on todettu olevan herkkiä kaikenlaisille ilman epäpuhtauksille, selvimmän rikkidioksidille ja typen oksideille (Hawksworth 1973, Hultengren ym. 1991, Gries 1996, Holopainen & Kärenlampi 1984). Myös esim. sulfaatti- ja nitraattilasseuman on todettu kertyvän jäkäliin (mm. Bruteig 1992), ja jäkälien on todettu kärsivän happaman sateen suorista tai epäsuorista vaikutuksista (Farmer ym. 1991, Wooding & Farmer 1993, Tarhanen 2000). Myös joidenkin raskasmetallien on todettu olevan vahingollisia jäkälille (Tarhanen 1998 ja 2000). Ei ole kuitenkaan kaikilta osin selvää, mitkä prosessit, aineet tai aineyhdistelmät pääasiallisesti aiheuttavat jäkäläkuolemia ja miten ilmansaasteet jäkäliin vaikuttavat (Hultengren ym. 1991).

Tavallisimpien runkojäkälälajien ilmansaasteherkkyys on melko hyvin tunnettu ja tämän perusteella lajeille on annettu herkkyysarvoja ja -luokkia (Hultengren ym. 1991 ja 1992, Insarova ym. 1992, Kuusinen ym. 1990). Lajien esiintymiseen, runsauteen ja herkkyysarvoihin perustuen on kehitetty erilaisia ilmansaasteindek-

sejä, joita käytetään alueiden ilman puhtauden kuvaamiseen (ks. Hultengren ym. 1991). Yksi tavallisimmin käytetyistä on ns. IAP-indeksi (Index of Atmospheric Purity, mm. Kuusinen ym. 1990, Poikolainen ym. 1998b). Tässä raportissa on käytetty indeksejä (PSI, WS, MS), joita YYS-hankkeen kansainvälisissä manuaaleissa on suositeltu käytettäväksi tai joita on kansainvälisellä tasolla käytetty YYS-aineistojen analysoinnissa.

Tämän raportin tarkoituksena on esitellä YYS:n runkojäkäläseurannan ohjelma ja sen toteutuminen Suomessa sekä perustulokset vuosien 1988-1998 seurannasta. Seurannan tuloksina esitetään epifyyttialojen runkojäkälälajisto sekä jäkäläaineiston pohjalta lasketut ilmansaasteindeksit. Indeksejä tarkastellaan suhteessa sadeveden, lähinnä typen ja rikin, komponentteihin, joiden pitoisuutta on myös mitattu YYS-alueilta kyseisellä seurantajaksolla. Sadeveden kemiaa (osaohjelma DC; Precipitation chemistry, Environment Data Centre 1993) seuraa Ilmatieteen laitos. Keskeisenä teemana raportissa on myös käytettyjen menetelmien ja niiden toimivuuden arviointi. YYS:n runkojäkäläseurannan tuloksia on Suomen osalta raportoitu aikaisemmin YYS:n kansallisessa 5-vuotisraportissa (Tuominen & Mäkelä 1995).

2

Seurannan tavoitteet ja tausta

Ympäristön yhdennetyn seurannan ohjelman perustamisvaiheessa (Nordic Council of Ministers 1988) kasvillisuusseurantojen tavoitteeksi asetettiin seurata sekä laadullisia että määrällisiä muutoksia, joita ilmansaasteet suoraan tai epäsuorasti kasvillisuudessa aiheuttavat. Runkojäkälien seurannasta todettiin, että jäkälälajistoa tulee seurata alueelle hyvin levinneellä ja luonteenomaisella puulajilla ja että huomio tulee kiinnittää lajistoon ja sen mahdollisiin muutoksiin sekä jäkälien vaurioihin ja värvikoihin (ks. myös Environment Data Centre 1989 ja 1993). Koska ei ole oletettavaa, että mahdolliset muutokset ilmaantuisivat lyhyellä aikajänteellä, seuranta-alat perustettiin pysyviksi pitkäaikaisen seurannan tarpeisiin. Alkuperäisten suunnitelmien mukaan seuranta-alueita piti perustaa eri puolille Suomea kaikkiaan 10 (Ympäristöntutkimuksen ja -seurannan työryhmä 1986, Bergström ym. 1995), mutta resurssisyistä vain neljällä alueella on voitu toteuttaa intensiivistä seurantaa.

Runkoepifyyttien seurantaa on toteutettu YYS-osaohjelman *Epiphytes* (EP, Environment Data Centre 1989) ja vuodesta 1993 lähtien *Trunk Epiphytes* (EP, Environment Data Centre 1993) mukaan. Seurannan alkuvaiheessa tukeuduttiin silloiseen pohjoismaiseen ohjeistoon (Nordic Council of Ministers 1988). Suositeltavat mittausmenetelmät ja mitattavat muuttujat on esitetty mainituissa kansainvälisissä ohjelmamateriaaleissa, mutta annetut ohjeet mittausten toteuttamiseksi ovat kuitenkin varsin yleisluontoisia. Kansallisesti päätettäväksi on jäänyt mm. mittausmenetelmän valinta esiteltyjen vaihtoehtojen joukosta (Environment Data Centre 1993). Ohjelman alkuvaiheessa järjestettiin kansallisia ja pohjoismaisia YYS-kasvillisuusseurantoja käsitteleviä kokouksia, joissa menetelmiä pyrittiin pohjoismaisella tasolla mahdollisimman pitkälle yhtenäistämään. Mallina oli pitkälti Ruotsissa vuodesta 1982 toteutetun PMK-seurannan (Programmet för övervakning av miljökalitet) epifyyttiseuranta (Bråkenhielm 1989). Näissä kokouksissa mm. sovittiin käytettäväksi näytepuuna mäntyä sekä tunturialueilla lisäksi tunturikoi-vua ja menetelmänä ns. linjamenetelmää.

Suomessa runkojäkälien seurannan koordinoinnista on vuodesta 1990 vastannut Suomen ympäristökeskus (ent. vesi- ja ympäristöhallitus). Runkojäkäläseurannan tulokset kansainvälisen ohjeiston edellyttämässä (Environment Data Centre 1993) muodossa ja laajuudessa on toimitettu Suomen ympäristökeskuksessa sijaitsevaan YYS:n kansainväliseen tieto- ja arviointikeskukseen, yhdennetyn seurannan tietokantaan. Tämän lisäksi seurannan primääritiedot on tallennettu Suomen ympäristökeskuksen Luonto- ja maankäyttöyksikössä sijaitsevaan yhdennetyn seurannan kasvillisuustietokantaan. Kullakin seurantakerralla maastoista on tehty työselostus.

Seuranta-alueet

Yhdennettyä seuranta-alueita on toteutettu Suomessa neljällä seuranta-alueella: Valkea-Kotisen alueella Lammilla, Hietajärven alueella Lieksassa, Pesosjärven alueella Kuusamossa ja Vuoskojärven alueella Utsjoella (kuva 3.1). Kaikki Suomen yhdenntyn seurannan alueet ovat järvellisiä valuma-alueita. Alueiden valintaperusteiden mukaisesti (Ympäristötutkimuksen ja –seurannan työryhmä 1986, Nordic Council of Ministers 1988) seuranta-alueet ovat mahdollisimman luonnontilaisia ja ne sijaitsevat luonnonsuojelualueilla, joissa ei sallita alueiden luonnontilaa muuttavaa ihmistoimintaa, kuten metsätaloustoimenpiteitä. Tämän lisäksi alueet ovat ns. tausta-alueita (ks. Ruoho-Airola ym. 1998), jotka sijaitsevat mahdollisimman kaukana päästölähteistä. Tämän vuoksi alueilla voidaan seurata kaukokulkeutuvien ilmansaasteiden aiheuttamia taustapitoisuuksia, pitoisuuksien muutoksia ja niiden vaikutuksia ekosysteemin eri osiin.

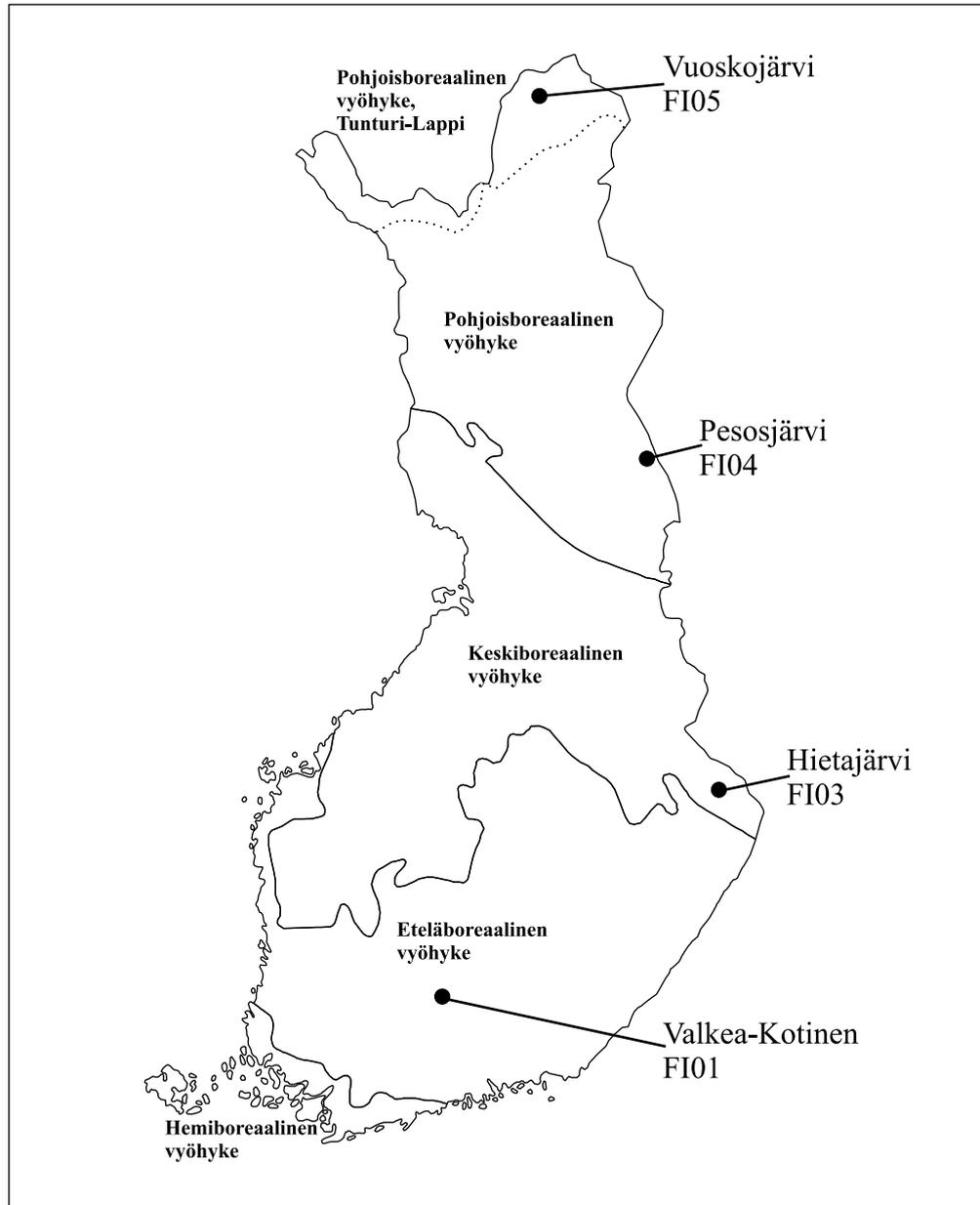
Seuranta-alueet sijaitsevat boreaalisen metsäkasvillisuusvyöhykkeen eri osissa (kuva 3.1). Vaikka Hietajärvi on luettu keskiboreaaliseen vyöhykkeeseen kuuluvaksi, on sen kasvillisuudessa havaittavissa eteläboreaalisen vyöhykkeen piirteitä ja vaihettumaluohteinen kasvillisuus on yleistä. Vuoskojärvi sijaitsee Tunturi-Lapin koivuvyöhykkeellä havumetsän yhtenäisen levinneisyysalueen pohjoispuolella.

Pesosjärvelle luonteenomaista on sen sijainti kalkkipitoisella alueella ja se on näin ollen muita alueita paremmin puskuroitu happaman laskeuman vaikutuksille. Sekä Pesosjärvi että Vuoskojärvi kuuluvat poronhoitoalueeseen, eikä porojen liikkumista seuranta-aloilla ole estetty.

Taulukko 3.1. Yleistietoja Ympäristön yhdennetyn seurannan alueista.

	Valkea-Kotinen	Hietajärvi	Pesosjärvi	Vuoskojärvi
Alueen koodi	FI01	FI03	FI04	FI05
Kunta	Lammi	Lieksa	Kuusamo	Utsjoki
Suojelualue, jolla alue sijaitsee	Kotisten luonnonsuojelualue	Patvinsuon kansallispuisto	Oulangan kansallispuisto	Kevon luonnonpuisto
Koordinaatit	61°14' N, 25°04' E	63°10' N, 30°43' E	66°17' N, 29°31' E	69°44' N, 25°57' E
Valuma-alueen koko, ha	31	464	636	179
Korkeus merenpinnasta	150 / 190	165 / 214	256 / 300	135 / 240
Min/Max, m m.p.y.				

Seuranta-alueiden ilmasto-olot poikkeavat toisistaan selvästi (taulukot 3.2 ja 3.3, kuva 3.2). Pitkän ajanjakson vuoden keskilämpötila on Pesosjärvellä ja Vuoskojärvellä pakkasen puolella, kun taas Valkea-Kotisella lähes + 4 °C. Näin ollen myös lämpösummissa ja kasvukauden pituuksissa on selvä ero alueiden välillä. Huomattavaa sääolojen vaihtelua esiintyy myös yksittäisten alueiden sisällä eri vuosina (kuva 3.2).



Kuva 3.1. Ympäristön yhdenmetyksen seurannan alueiden sijainti (Metsäkasvillisuusvyöhykkeet: Etelä-Suomen ja Pohjanmaan metsien suojelun tarve -työryhmä 2000).

Pitkän ajanjakson 1961-1990 (taulukko 3.2) ja seurantajakson 1988-1998 (taulukko 3.3) keskilämpötila ja keskimääräinen sademäärä poikkeavat toisistaan siten, että seurantajaksoilla kaikilla alueilla on ollut keskimäärin 0,5 °C lämpimämpää kuin pitkän ajanjakson vertailuajana. Keskimääräiset vuotuiset sademäärät ovat olleet seurantajaksoilla samansuuruisia tai vain hiukan korkeampia kuin vertailujaksolla. Keskimäärin runsassateisinta on ollut Valkea-Kotisella ja sademäärä pienee pohjoiseen siten, että Vuoskojärvellä sadetta saadaan keskimäärin 70 % Valkea-Kotisen sademäärästä (taulukko 3.3, kuva 3.2).

Seuranta-alueiden tarkempaa ilmaston, geologian, maaperän ja kasvillisuuden kuvausta on esitetty mm. YYS:n kansallisessa 5-vuotisraportissa (Bergström ym. 1995). Tietoja alueiden aluskasvillisuudesta ja puustosta on myös kasvillisuuskartoitus- ja inventointiraporteissa (Lindholm ym. 1988, Keränen & Kokko 1993, Tuominen 2000).

Taulukko 3.2. Seuranta-alueiden pitkän ajanjakson (1961-1990) keskilämpötila ja sademäärä (Ilmatieteen laitos 1991).

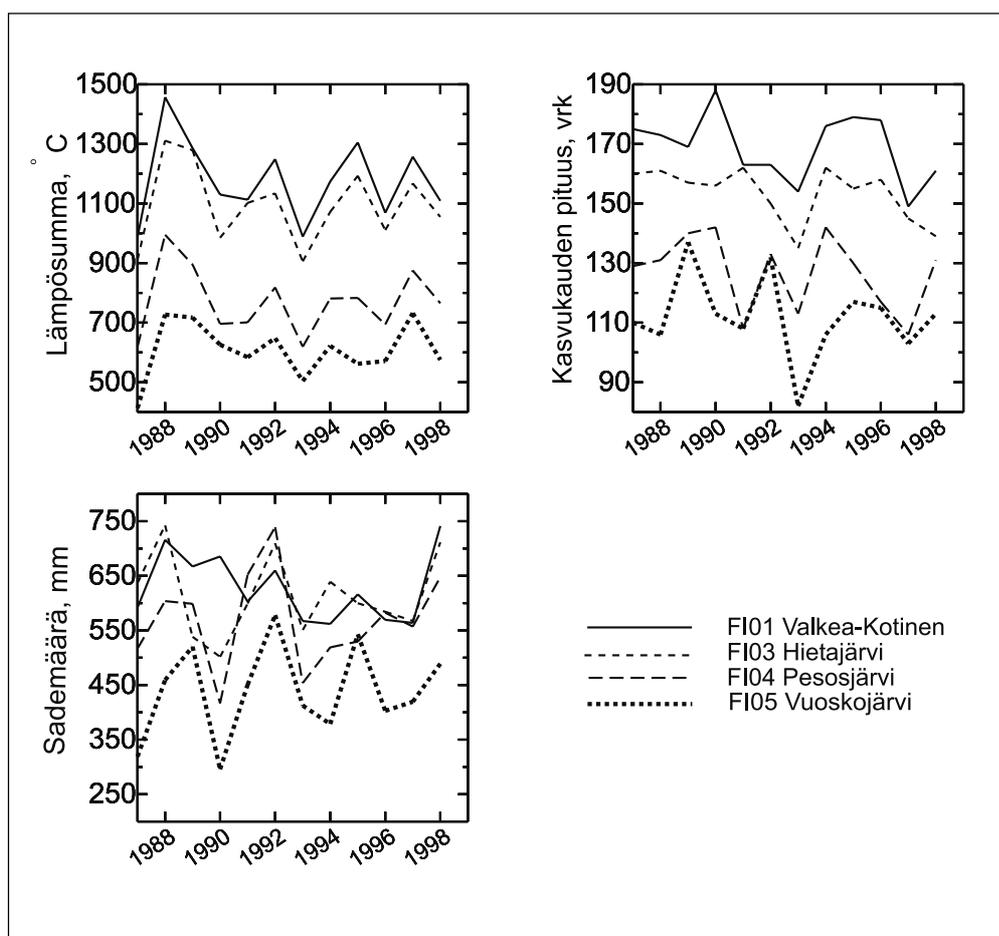
	Valkea-Kotinen	Hietajärvi	Pesosjärvi	Vuoskojärvi
Lämpötila, °C	3,6	1,9	-0,6	-2,0
Sademäärä, mm	619	649	571	395

Tiedot seuraavilta ilmastoasemilta: Lammi, Biologinen asema (Valkea-Kotinen); Ilomantsi, kk (Hietajärvi); Kuusamo, kk (Pesosjärvi); Utsjoki, Kevo (Vuoskojärvi).

Taulukko 3.3. Seurantajakson 1988-1998 keskimääräinen vuoden keskilämpötila, sademäärä, tehoisa lämpösomma ja kasvukauden pituus yhdenntyn seurannan alueita lähellä olevilla ilmastoasemilla (Vuosiarvot: Ilmatieteen laitos, Ilmastopalvelu 2000).

	Valkea-Kotinen	Hietajärvi	Pesosjärvi	Vuoskojärvi
Lämpötila, °C	4,1	2,4	0,0	-1,2
Sademäärä, mm	632	613	573	450
Tehoisa lämpösomma, °C	1194	1110	784	624
Kasvukauden pituus, vrk	168	153	127	112

Tiedot seuraavilta ilmastoasemilta: Lammi, Biologinen asema (1988) ja Lammi, Iso-Evo (1989-1998) (Valkea-Kotinen); Lieksa, Lampela (Hietajärvi); Kuusamo, kk (Pesosjärvi); Utsjoki, Kevo (Vuoskojärvi).



Kuva 3.2. Lämpösomma (°C), kasvukauden pituus (vrk) ja sademäärä (mm) ympäristön yhdenntyn seurannan alueilla vuosina 1988-1998 (Lähde: Ilmatieteen laitos, Ilmastopalvelu 2000). Ilmastoasemat: Lammi, Biologinen asema (1988) ja Lammi, Iso-Evo (1989-1998) (Valkea-Kotinen); Lieksa, Lampela (Hietajärvi); Kuusamo, kk (Pesosjärvi) ja Utsjoki, Kevo (Vuoskojärvi).

4

Aineisto ja menetelmät

4.1 Seuranta-aikataulu

Runkojäkälien seurannan väli on Suomen YYS-alueilla ollut 2-4 vuotta, joten seurantakertoja eri alueille on kertynyt 4-5 (taulukko 4.1.1). Runkojäkälien seurannan osaohjelma toteutettiin ensimmäisen kerran vuonna 1988 Valkea-Kotisen seuranta-alueella. Tällöin mittaukset tehtiin sekä männyn että kuusen runkojäkälistä (Airaksinen ym. 1989a). Vuonna 1989 osaohjelma toteutettiin Pesosjärvellä ja Vuoskojärvellä. Tästä eteenpäin vuorovuosin mittaukset tehtiin aina kahdella eteläisemmällä ja kahdella pohjoisemmalla alueella. Vuodesta 1990 alkaen päädyttiin yhteisen pohjoismaisen käytännön mukaan mittaamaan ainoastaan männyn runkojäkäliä. Vuoskojärvellä jatkettiin kuitenkin myös toisen puulajin, tunturikoivun jäkälälajiston mittauksia. Vuonna 1993 ohjelman pilottivaiheen jälkeen mittausjärjestelmään tehtiin kansallisesti muutoksia siten, että aikaisemmasta kahden vuoden välein tapahtuneesta mittauksesta siirryttiin kolmen vuoden välein, kaikilla seuranta-alueilla samanaikaisesti toteutettavaan mittaukseen. Samanaikaisen mittauksen katsottiin helpottavan alueiden välisiä vertailuja, ja pidempi mittausväli myös vähensi resurssitarpeita.

Vuoden 1988 Valkea-Kotisen mittaukset toteutti ympäristöministeriön toimeksiannosta Helsingin yliopisto, ja vuoden 1989 seurannat niinkään YM:n toimeksiannosta Turun ja Oulun yliopistot. Vuoden 1990 mittaukset Valkea-Kotisella ja Hietajärvellä tehtiin edelleen paikallisten yliopistojen, Helsingin ja Joensuun töinä, mutta töiden toteuttamista ohjasi ja koordinoi vesi- ja ympäristöhallitus. Tästä eteenpäin runkojäkälseurannan toteuttamisesta on vastannut vesi- ja ympäristöhallitus, nykyisin Suomen ympäristökeskus.

Taulukko 4.1.1. Runkojäkälien seurantavuodet yhdenneen seurannan alueilla.

	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Valkea-Kotinen	x		x		x		x			x	
Hietajärvi			x		x		x			x	
Pesosjärvi		x		x			x			x*	x*
Vuoskojärvi		x		x			x			x	

* vuosina 1997 ja 1998 mitatut alat eri aloja

Tässä raportissa esitetään tulokset pääsääntöisesti koko seurantajakson mukana olleilta aloilta eli Valkea-Kotisen aloilta EP7 ja EP9, Hietajärven aloilta EP1, EP2 ja EP3 (viimeksi mainitusta ei tuloksia vuodelta 1997), Pesosjärven aloilta EP2 ja EP5 ja Vuoskojärven mäntyaloilta EP1 ja EP3 ja tunturikoivualoilta EP2 ja EP4.

Vuonna 1988 seuranta tehtiin Valkea-Kotisella myös neljältä kuusialalta. Näiden tulokset on raportoitu erillisissä julkaisuissa (Airaksinen ym. 1989a ja 1989b). Vuonna 1989 Pesosjärvelle perustettiin alojen EP2 ja EP5 lisäksi kaksi muuta mäntyalaa, EP3 ja EP4 (Kokko & Kovanen 1989). Vaikka näitä aloja ei sittemmin ole seurattu, on tulokset vuodelta 1989 esitetty tämän raportin liitteenä (liite 1), sillä ne antavat lisätietoja Pesosjärven epifyyttikasvillisuudesta.

4.2 Seuranta-alat

4.2.1 Seuranta-alojen valintakriteerit

Runkojäkälien seuranta-alat muodostuvat ryhmästä seurattavia puita (8 mäntyä, 20 tunturikoivua). Alojen perustamisvaiheessa tavoitteena oli, että epifyyttialat sijaitsisivat muiden YYS:n intensiiviseurantojen (osaohjelmat aluskasvillisuus ja puusto, VG; runkovalunta, SF; puiden kunto, FD; maaperäkemia, SC ja lehvästösdanta, TF) lähellä kasvillisuudeltaan ja muilta olosuhteiltaan mahdollisimman homogeenisilla ja seuranta-alueen kasvillisuutta hyvin edustavilla kohteilla, jotta eri osaohjelmien tuloksia voitaisiin tarkastella integroidusti (ks. Nordic Council of Ministers 1988, Environment Data Centre 1989). Pääosa epifyyttialoista perustettiin Metsäntutkimuslaitoksen aikaisemmin perustamien intensiivialojen läheisyyteen. Poikkeuksen tästä muodostavat ala EP9 Valkea-Kotisella ja ala EP3 Hietajärvellä, jotka on jo perustamisvaiheessa sijoitettu muualle valuma-alueelle, epifyyttiseurannan kannalta mahdollisimman optimaaliseen paikkaan. Vuoskojärven alan EP1 läheisyydestä muut intensiiviseurannat lopetettiin epifyyttialan perustamisen jälkeen.

Runkojäkäläseurannan ensimmäisenä vuonna 1988 Valkea-Kotisella näytepuut valittiin aluskasvillisuus- ja puustoalojen sisältä. Pian kuitenkin todettiin, että jäkäläinventoinnin yhteydessä aluskasvillisuus tallaantui ja siksi jatkossa näytepuut on valittu pääsääntöisesti aluskasvillisuus- ja puustoalojen ulkopuolelta.

Yksityiskohtaiset ohjeet seuranta-alojen perustamisesta ja kriteerit seuranta-aloille on esitetty mm. julkaisuissa Bråkenhielm (1989), Kokko (1990) ja Mäkelä (1997). Kriteerien mukaan seuranta-alan tulee mm. olla ympäristöoloiltaan, kasvillisuudeltaan ja puustoltaan yhtenäinen. Seuranta-alat eivät kaikissa tapauksissa täytä vaatimusta, jonka mukaan tutkittavan puulajin osuus puuston runkoluvusta tulisi olla vähintään 50%. Tästä kriteeristä on jouduttu tinkimään Valkea-Kotisella alalla EP7 sekä Pesosjärvellä (ks. luku 5.1, taulukko 5.1.1.1).

4.2.2 Seuranta-alojen mittaukset

Epifyyttialoilta on mitattu joukko alaa kuvaavia taustamuuttujia (Kokko 1990, Mäkelä 1992, 1994 ja 1997), joista alan sijaintia ja asemaa kuvaavat muuttujat on mitattu vain alaa perustettaessa. Sen sijaan muuttujat, jotka voivat olla selittäviä tekijöitä tulkittaessa mahdollisia muutoksia runkojäkälälajistossa ja lajien runsaus-suhteissa, kuten puustomuuttujat, on mitattu jokaisella seurantakerralla. Näistä taustamittauksista ei kuitenkaan ole ollut kansainvälistä ohjeistusta ja kansallisestikin ne ovat vakiintuneet seurannan edetessä. Seurannan alkuvuosina ne ovat eri seuranta-alueilla ja -kerroilla vaihdelleet jonkin verran. Sen vuoksi tähän raporttiin valittujen, puuston määrää ja laatua kuvaavien mittausten tulokset esitetään vain vuodelta 1997 (poikkeus Hietajärven ala EP3 vuodelta 1994, koska alaa ei mitattu 1997).

Tässä raportissa esitettävät taustamuuttujat ovat puuston kokonaispohjapinta-ala ja puulajeittaiset pohjapinta-alat, valtapituus, valtapuiden keskiläpimitta, kokonaislatvuspeittävyys ja alikasvoksen peittävyys. Puuston pohjapinta-ala on mitattu relaskopoimalla epifyyttialalla 2-3 paikasta. Valtapituutena ilmoitetaan vallitsevaan latvuskerrokseen kuuluvien puiden (pää- ja lisävaltapuut) keskimääräinen pituus. Valtapituus mitattiin hypsometrillä. Valtapuiden keskiläpimitta mitattiin rinnankorkeudelta ($d_{1,3}$) pää- ja lisävaltapuita hyvin edustavista puista. Kokonaislatvuspeittävyys ja alikasvoksen latvuspeittävyys on arvioitu silmämääräisesti näytepuiden ympäristöstä 5 m:n säteellä kustakin näytepuusta. Arviointi suoritettiin näkökentän leveydeltä asteikolla 1, 5, 10, 15, 20, 25,, 95, 100 %. Kokonais-

latvuspeittävyiden arviointiin otettiin mukaan alan vallitsevan puustojakson kaikki puustokerrokset eli valta-, väli- ja aluspuusto (Vuokila 1980). Tarkemmat kuvaukset taustamittauksista on esitetty Mäkelän (1997) oppaassa.

4.3 Näytepuut

4.3.1 Näytepuiden valintakriteerit

Kansainvälisten ohjeiden mukaan (Environment Data Centre 1989 ja 1993) seurattavaksi puulajiksi tulee valita mieluiten laajalle levinnyt ja seuranta-alueelle luonteenomainen laji, kuten mänty (*Pinus sylvestris*), hieskoivu (*Betula pubescens*) tai tammi (*Quercus robur*). Suomessa ja Ruotsissa boreaalisen kasvillisuusvyöhykkeen seurattavaksi puulajiksi sovittiin seurannan alkuvaiheessa mänty ja tunturialueella lisäksi tunturikoivu (*Betula pubescens* ssp. *czerepanovii*).

Yhdellä seuranta-alalla seurattavia mäntyjä on 8 ja tunturikoivuja 20. Jos sopivia näytepuita oli paljon, näytepuut valittiin arpomalla valintakriteerit täyttävistä puista (vain Hietajärvellä). Muussa tapauksessa valittiin valintakriteerit parhaiten täyttävät puut. Jäkälien esiintyminen ei kuitenkaan vaikuttanut näytepuun valintaan.

Näytepuille on asetettu kriteerejä (Bråkenhielm 1989, Environment Data Centre 1989, Kokko 1990, Mäkelä 1992, 1994 ja 1997), jotka mahdollisimman pitkälle pyrittiin ottamaan huomioon näytepuiden valinnassa. Mikäli seurantamittauksissa näytepuu ei enää täyttänyt näitä vaatimuksia, puu on hylätty ja tilalle on arvottu tai valittu uusi näytepuu. Seurantapuuna olevat männyt ovat rinnankorkeusläpimitaltaan 20-40 cm. Ne on valittu siten, että ne olisivat mahdollisimman hyväkuntoisia, suorarunkoisia ja niiden välittömässä ympäristössä ei olisi runkoa hankaavaa alikasvosta tai lähipuuta. Näytepuut eivät myöskään saisi olla alttiina normaalia voimakkaammille tuulille, sateelle tai auringonpaisteelle. Lisäksi pyrittiin siihen, että näytepuiden kaarna olisi mahdollisimman vähän hilseilevä. Tunturikoivuista näytepuiksi pyrittiin valitsemaan yksirunkoisia puita tai runko sellaisesta runkoryhmästä (runnaasta), jossa runkojen kokonaismäärä olisi mahdollisimman vähäinen, sillä runnaan muut rungot voivat varjostaa ja hangata tutkimusrunkoa.

4.3.2 Näytepuiden mittaukset

Näytepuista ja niiden ympäristöstä on mitattu joukko näytepuuta ja sen ympäristöä kuvaavia muuttujia (Kokko 1990, Mäkelä 1992, 1994 ja 1997). Näistä muuttujista ei, kuten ei epifyyttialaa kuvaavista taustamuuttujistakaan (luku 4.2.2) ole ollut kansainvälistä ohjeistusta ja kansallisella tasolla ne ovat vakiintuneet seurannan edetessä. Tästä syystä näitä mittauksia ei tässä raportissa käytetä varsinaisena seurantatietona, vaan yhden vuoden (1997, Hietajärvellä EP3 1994) mittauksien perusteella kuvataan näytepuiden ominaisuuksia eri seuranta-aloilla.

Kuvattavat näytepuiden ominaisuudet ovat korkeus, rinnankorkeusläpimita ja männyllä elävän latvuksen alaraja. Elävän latvuksen alarajana pidettiin tasoa, jossa yhtäjaksoisen vihreän eli elävän oksiston voitiin katsoa alkavan. Kaikkien näytepuiden rungot on lisäksi valokuvattu sekä rungon etelä- että pohjoispuolelta. Tarkemmat ohjeet näytepuiden ja niiden ympäristön mittauksista on esitetty Mäkelän (1997) oppaassa.

4.4 Seurattu jäkälälajisto

Koko seurantajakson ajan on kaikilla alueilla seurattu Pohjoismaiden ministerineuvoston ohjeen (Nordic Council of Ministers 1988) mukaista lajistoa, joka vastaa myös Ruotsin PMK-seurannan lajilistaa (Bråkenhielm 1989) (taulukko 4.4.1). Tätä lajistoa on tässä raportissa käytetty eri alojen ja alueiden vuosien väliseen vertailuun sekä pääsääntöisesti ilmansaasteindeksien laskemisen lajijoukkona (luku 4.6). Tämä lajisto kattaa YYS-epifyyttialoilla tavattavan makrojäkälälajiston.

Myös joidenkin muiden, lähinnä helposti tunnistettavien rupimaisten lajien esiintyminen tutkimuslinjoilla ja erityisesti koko rungolla on kirjattu, mutta tässä on ollut vaihtelua eri vuosina ja eri alueilla. Lupot ja naavat on yleensä pyritty tunnistamaan lajilleen, mutta tunnistuksen taso on kuitenkin vaihdellut. Vuonna 1997 koko rungon lajilista pyrittiin saamaan mahdollisimman kattavaksi ottamalla tarvittaessa jäkälänäytteitä, jotka jäkäläasiantuntija myöhemmin määrittä.

Taulukko 4.4.1. Koko seurantajakson (1988-1998) ajan kaikilla alueilla seurattu epifyyttilajisto. Synonyymeinä ilmoitettu lajinimet, joita seurattavista lajeista käytetty seurannan alkuvaiheen oppaissa tai lajiluetteloissa. Nimistö Vitikaisen ym. (1997) mukaan.

Tieteellinen nimi ja auktori	Suomenkielinen nimi	Käytetyt synonyymit
<i>Alectoria sarmentosa</i> Ach. (Ach.)	korpiluppo	
<i>Bryoria</i> spp. Brodo & D. Hawksw.	tummalupot	
<i>Hypocnomyce scalaris</i> (Ach.) M. Choisy	seinäsuomujäkälä	<i>Lecidea scalaris</i> (Ach.) Ach.
<i>Hypogymnia farinacea</i> Zopf	jauhepaisukarve	<i>H. bitteriana</i> (Zahlbr.) Räsänen
<i>Hypogymnia physodes</i> (L.) Nyl.	sormipaisukarve	
<i>Hypogymnia tubulosa</i> (Schaer.) Hav.	kärsäpaisukarve	
<i>Imshaugia aleurites</i> (Ach.) S. L. F. Meyer	tuhkakarve	<i>Parmeliopsis aleurites</i> (Ach.) Nyl.
<i>Lecanora conizaeoides</i> Nyl. ex Crob.	puistokehräjäkälä	
<i>Melanelia olivacea</i> (L.) Essl.	koivunruskokarve	<i>Parmelia olivacea</i> (L.) Ach.
<i>Parmelia sulcata</i> Taylor	raidanisokarve	
<i>Parmeliopsis ambigua</i> (Wulfen) Nyl.	keltatyvikarve	
<i>Parmeliopsis hyperopta</i> (Ach.) Arnold	harmaatyvikarve	
<i>Platismatia glauca</i> (L.) W. L. Culb. & C. F. Culb	harmaaröyhelö	
<i>Pseudevernia furfuracea</i> L. Zopf.	hankakarve	
<i>Tuckermannopsis chlorophylla</i> (Willd.) Hale	ruskoröyhelö	<i>Cetraria chlorophylla</i> (Willd.) Vain.
<i>Usnea</i> spp. Dill. Ex Adans	naavat	
<i>Vulpicida pinastri</i> (Scop.) J.-E. Mattson & M. J. Lai	keltaröyhelö	<i>Cetraria pinastri</i> (Scop.) Gray
<i>Pleurococcus vulgaris</i> Menegh ja	viherlevä ja	<i>Protococcus viridis</i> Agardh
<i>Scoliciosporum chlorococcum</i> (Stenh.) Vezda	viherkuprujäkälä	<i>Bacidia chlorococca</i> (Stenh.) Lettau

4.5 Jäkälien mittaukset

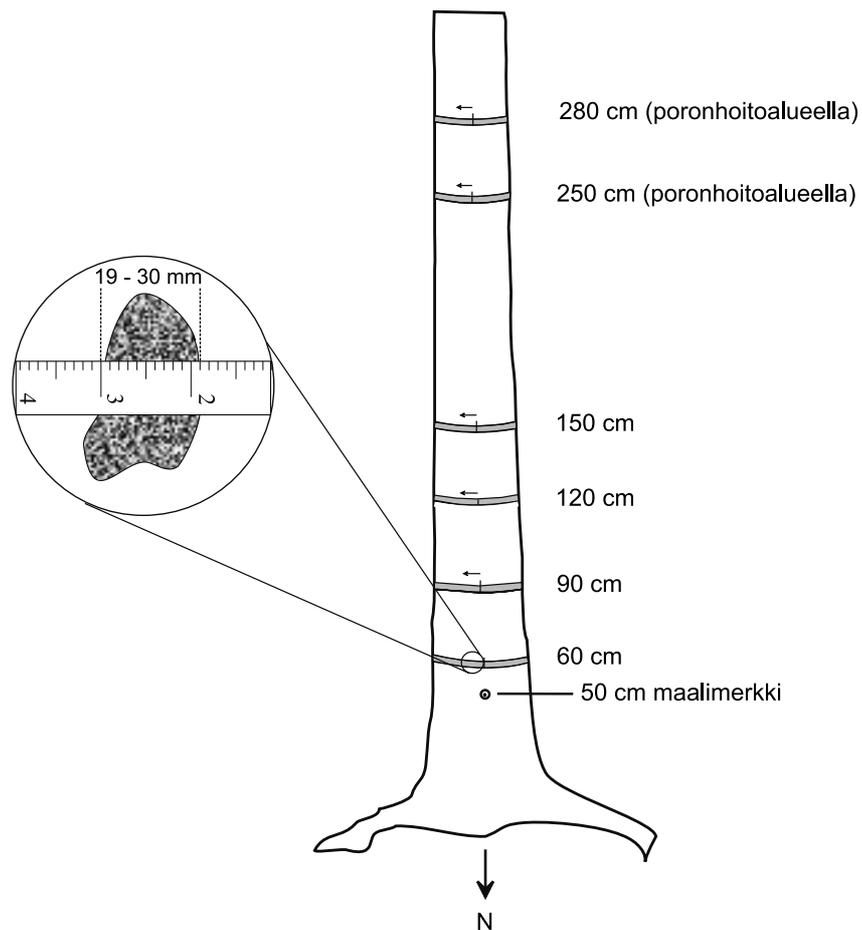
4.5.1 Jäkälien peittävydet mäntynäytepuilla

Jäkälien peittävydet mäntynäytepuilla mitattiin ns. linjamenetelmällä (ks. Mäkelä 1997). Jokaisesta näytepuusta mitattiin pääsääntöisesti neljä, puun ympärille eri korkeuksille sijoitettua linjaa (kuva 4.5.1.1). Linjat sijoitettiin rungolle 60, 90, 120 ja 150 cm:n korkeudelle. Poikkeuksen muodostaa Pesosjärvi, jossa seurannan alkuvaiheessa vuosina 1989 ja 1991 tehtiin vain alalinjat 120 ja 150 cm. Poronhoitoalueella, Pesosjärven ja Vuoskojärven seuranta-alueilla mitattiin lisäksi ylälinjoja, jotka on pääsääntöisesti sijoitettu 250 ja 280 cm:n korkeudelle. Poikkeuksena tästä Vuoskojärvellä on vuosina 1989 ja 1991 tehty vain yksi ylälinja 220 cm korkeudelta.

Kullakin linjalla mittanauhan 0-kohta sijoitettiin rungon pohjoiskohtaan ja nauhaa kierrettiin rungon ympärille siten, että sen yläreuna tuli linjakorkeuden kohdalle (kuva 4.5.1.1). Mikäli tällä kohdalla oli oksia tai oksantynkiä siten, että mittanauhaa ei voitu asettaa koko linjan pituudelta rungonmyötäisesti, siirrettiin linjakorkeutta muutama cm ylös- tai alaspäin. Jäkälien esiintyminen mitattiin mittanauhan yläreunan kohdalta nauhaa vaakatasosta katsoen. Kunkin jäkälälajin tai -suvun esiintymisen millimetrivälit kirjattiin ylös. Millimetrivälinä ilmoitettiin se väli, jonka sisään jäkälä tai jäkälänosa jäi kokonaan (kuva 4.5.1.1). Jäkälien peittävyys (%) linjalla saatiin laskemalla yhteen lajin esiintymisen millimetrivälit ja ilmoittamalla tämän osuus linjan pituudesta.

4.5.2 Jäkälien esiintyminen mäntynäytepuilla koko rungolla

Vuodesta 1992 alkaen on linjamittausten lisäksi kirjattu ylös koko rungon lajisto korkeudelta 50-200 cm ja poronhoitoalueella lisäksi korkeudelta 200-300 cm. Lajien tunnistamistarkkuus on jossain määrin vaihdellut eri alueilla ja eri vuosina. *Bryoria*- ja *Usnea*-sukujen lajit on mahdollisuuksien mukaan pyritty määrittämään lajilleen ja etenkin jakson viimeisellä seurantakerralla (1997/1998) pyrittiin määrittämään myös rupimaisia jäkäläiä aiempaa tarkemmin, mm. näytteitä ottamalla.



Kuva 4.5.1.1. Linjojen sijainti mäntynäytepuiden rungoilla ja jäkälien mittaaminen.

4.5.3 Jäkälien esiintyminen tunturikoivunäytepuilla

Tunturikoivulla seuratun jäkälälajiston (taulukko 4.4.1) esiintymistä on tarkasteltu neljällä korkeusvyöhykkeellä, 50-100 cm, 100-150 cm, 150-200 cm ja 200-250 cm (Mäkelä 1992 ja 1997). Kultakin vyöhykkeeltä on kirjattu ylös lajien esiintyminen ilman runsaustietoja. Kuten männylläkin myös muuta lajistoa on kirjattu vaihtelevasti ja lupot ja naavat on mahdollisuuksien mukaan määritetty lajilleen.

4.5.4 Jäkälien vauriot

Jäkäliden vaurioita koko rungolla välillä 50-200 cm on seurattu standardin "Ilman-suojelu. Bioindikaatio. Jäkäläkartoitus" (Suomen Standardisoimisliitto 1990) mukaisesti. Erikseen arvioitiin yleinen, kaikista jäkälälajeista katsottava vaurioaste sekä sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) vaurioaste.

Yleisen vaurioasteen luokat ovat:

- I Normaali; kaikkien jäkälälajien ulkonäkö ja kasvu muuttumattomia
- II Lievät vauriot; pensasmaiset kitukasvuisia, lehtimäiset normaaleja
- III Selvät vauriot; pensasmaiset pieniä, lehtimäiset vaurioituneita
- IV Pahat vauriot; pensasmaiset puuttuvat, lehtimäiset pahoin vaurioituneita
- V Kuolleet tai puuttuvat; myös lehtimäiset puuttuvat, leväpeitettä voi esiintyä

Sormipaisukarpeen vaurioasteen luokat ovat:

- I Normaali; jäkälät terveitä tai lähes terveitä (mustia täpliä saa esiintyä)
- II Lievä vaurio; lievästi kitukasvuisia, lieviä värimuutoksia
- III Selvä vaurio; kitukasvuisia ja vihertyneitä tai tummuneita tai kumpiakin
- IV Paha vaurio; pieniä, ryppyisiä ja vihertyneitä tai tummuneita tai kumpiakin
- V Kuollut tai puuttuu

4.6 Ilmansaasteindeksien laskeminen ja jäkäliden herkkyysarvot

Runkojäkälälajistoon kohdistuvien ilmansaastevaikutusten arvioimiseksi laskettiin mäntynäytealoille kolme erilaista ilmansaasteindeksiä, PSI (Pollution Sensitivity Index), WS (Weighted Sensitivity) ja MS (Mean Sensitivity). Tunturikoivualoille laskettiin vain MS-indeksi, koska lajien peittävyystietoa ei ollut käytettävissä. Näitä indeksejä on kansainvälisellä tasolla käytetty tai suositeltu käytettäväksi arvioitaessa YYS:n epifyyttituloksia. Kaikki indeksit laskettiin erikseen jokaiselle näytepuulle. Mäntynäytealoilla indeksit laskettiin käyttäen lähtötietona epifyyttilinjoilta saatuja puukohtaisia peittävyystuloksia ja lajilistoja ja tunturikoivualoilla puukohtaisia lajilistoja. Seuranta-alojen indeksit ovat näytepuiden indeksiarvojen keskiarvoja.

Seurattu jäkälälajisto (taulukko 4.4.1) on ilmansaasteindeksien laskemisen "lähtöjoukkona". Ainoastaan viherlevät on jätetty indeksien laskuista pois, koska niiden mittaaminen näytelinjoilta osoittautui epäluotettavaksi. Indeksien laskemiseen tarvittavat jäkälälajien saasteherkkyysarvot on saatu Hultengrenin ym. (1991) julkaisusta. Herkkyysarvot vaihtelevat välillä 0 (ilmansaasteille kestävin

laji) ja 9 (herkin laji) (taulukko 4.6.1) ja ne perustuvat kirjallisuudessa esitettyihin tuloksiin lajien herkkyydestä erityisesti rikkidioksidille sekä Hultengrenin omiin kokemuksiin. Jossain määrin luokitus huomioi myös lajien herkkyyden typelle ja happamuudelle (Hultengren ym. 1992).

PSI-indeksi laskettiin soveltaen YYS-manuaalissa (Environment Data Centre 1993) esitettyä seuranta-alakohtaista kaavaa näytepuutasolle. Indeksien arvo on lajien peittävyysarvoilla painotettujen herkkyyksien summa. PSI laskettiin seuraavasti:

$$PSI = \sum (C_i \times S_i)$$

Missä PSI = näytepuun PSI-indeksi

C_i = lajin i peittävyys

S_i = lajin i herkkyyksiarvo (Hultengren ym. 1991)

i = laji $i = 1, \dots, n$

n = lajien kokonaismäärä

WS-indeksi on lajien suhteellisella peittävyysarvolla painotettujen herkkyyksien summa. WS-indeksi laskettiin Liun (1996) esittämän kaavan mukaan seuraavasti:

$$WS = \sum [S_i \times (C_i / \sum C_i)]$$

Missä WS = näytepuun WS-indeksi

S_i = lajin i herkkyyksiarvo (Hultengren ym. 1991)

C_i = lajin i peittävyys

i = laji $i = 1, \dots, n$

n = lajien kokonaismäärä

Uusimmassa kansainvälisessä yhdennetyn seurannan manuaalissa (ICP IM Programme Centre 1998) runkojäkäläseurannan osaohjelmassa seuranta-alakohtaisesti laskettavaksi esitetty indeksi S (peittävyysaineistolla laskettuna) vastaa WS-indeksiä.

MS-indeksi on näytepuulla esiintyvien lajien herkkyyksien keskiarvo, johon lajien runsaudet eivät vaikuta. MS-indeksi laskettiin Liun (1996) esittämän kaavan mukaan seuraavasti:

$$MS = 1/n \sum S_i$$

Missä MS = näytepuun MS-indeksi

S_i = lajin i herkkyyksiarvo (Hultengren ym. 1991)

i = laji $i = 1, \dots, n$

n = lajien kokonaismäärä

Hietajärven seuranta-alueella on lajiparin tuhkarve, *Imshaugia aleurites* ja harmaatyvikarve, *Parmeliopsis hyperopta* määrittämisessä ollut epäselvyyttä (ks. luku 5.2). Sen vuoksi ilmansaasteindeksien tuloksissa on Hietajärvellä kaikkien seuranta vuosien tulokset ilmoitettu kahdella tavalla. Kaavojen mukaisen normaalime nettelyn lisäksi on esitetty tulokset, joissa nämä lajit on luettu lajipariksi ja ilmoitettu herkkyyksiarvoksi näille lajeille annettujen herkkyyksien keskiarvo.

Taulukko 4.6.1. Seurantaan valitun lajiston (poislukien viherlevä ja viherkuprujäkälä) herkkyysarvot (S_i) Hultengrenin ym. (1991) mukaan.

Laji/suku	Herkkyysarvo S_i
<i>Alectoria sarmentosa</i>	7
<i>Bryoria</i> spp.	6
<i>Hypocenomyce scalaris</i>	2
<i>Hypogymnia farinacea</i>	5
<i>Hypogymnia physodes</i>	2
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	6
<i>Imshaugia aleurites</i> ¹⁾	7
<i>Lecanora conizaeoides</i>	0
<i>Melanelia olivacea</i>	6
<i>Parmelia sulcata</i>	3
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	2
<i>Parmeliopsis hyperopta</i> ¹⁾	3
<i>Platismatia glauca</i>	4
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	4
<i>Tuckermannopsis chlorophylla</i>	4
<i>Usnea</i> spp.	6
<i>Vulpicida pinastri</i>	4

¹⁾ Hietajärven seuranta-alueella käytetty myös tuhkakarpeen (*Imshaugia aleurites*) ja harmaatvikarpeen (*Parmeliopsis hyperopta*) indeksiarvojen keskiarvoa (5) lajien erottamisessa ilmenneiden ongelmien vuoksi.

4.7 Tausta-aineistot

Valitun runkojäkäälajiston perusteella laskettuja ilmansaasteindeksiarvoja tarkastellaan suhteessa seuranta-alueilta mitattuun ilmansaastekuormitukseen kyseisellä seurantajaksolla. Tausta-aineistoina käytetään Ilmatieteen laitoksen tuottamia sadeveden (ns. avoimen paikan sadanta) sulfaatti- ($\text{SO}_4\text{-S}$), ammonium- ($\text{NH}_4\text{-N}$) ja nitraattipitoisuuksia ($\text{NO}_3\text{-N}$) ja näiden laskeumaa sekä sadeveden happamuutta, sekä eräiden metallien (nikkeli, kupari, sinkki ja lyijy) pitoisuutta ja laskeumaa. Käytetyt sadeveden pitoisuusarvot ovat sademäärällä painotettuja vuosikeskiarvoja.

Sadeveden ainepitoisuuksien mittauksia toteutetaan osaohjelman "Sadeveden kemia" (DC: Precipitation chemistry, vuodesta 1998 PC; Environment Data Centre 1993, ICP IM Programme Centre 1998) mukaan. Näytteiden keruu pääaione- ja varten tapahtuu viikkonäyttein kolmella rinnakkaiskeräimellä ja metallianalyysijä varten kuukausinäyttein kahdella rinnakkaiskeräimellä. Näytteet kerätään sadenäytteinä avoimilla kokonaislaskeumakeräimillä. Yksityiskohtaiset kuvaukset käytetyistä menetelmistä ja analyyseistä on esitetty mm. julkaisuissa Ruoho-Airola & Leinonen (1994 ja 1996) ja Ruoho-Airola (1995).

4.8 Aineiston tilastollinen käsittely

Aineiston tilastollinen käsittely on tehty pääosin käyttäen SPSS 9.0 for Windows -ohjelmaa. Epifyyttialojen eri vuosien indeksitulosten samankaltaisuutta eri mittauskerroilla testattiin käyttäen ei-parametrissa Friedmanin toistomittausanalyysiä (Ranta ym. 1989, Partanen ja Veijola 1996). Parittaiset vertailut (esim. pororajan ylä- ja alapuoliset tulokset, kahden ja neljän alinjan tulokset) on tehty ei-parametrisella Wilcoxonin testillä. Korrelaatiotarkastelussa on käytetty Spearmannin järjestyskorrelaatiomenetelmää.

5

Tulokset

5.1 Seuranta-alojen ja näytepuiden kuvaus

5.1.1 Seuranta-alat

Valkea-Kotisen (FI01) kaksi epifyyttialaa EP7 ja EP9 ovat molemmat reheviä mustikatyyppin (MT) kankaita, mutta puustoltaan ne poikkeavat huomattavasti toisistaan (taulukko 5.1.1.1). Ala EP7 sijaitsee Kotisten aarniometsän keskeisissä osissa, jossa puuston kokonaispohjapinta-ala on suuri. Valtapuustossa sekä mänty että kuusi ovat lähes yhtä runsaita. Alalla on sekapuuna myös koivua ja jonkin verran haapaa. Epifyyttialan EP9 puusto on alan EP7 puustoa nuorempaa ja ala on vanhaa talousmännikköä. Puuston kokonaispohjapinta-alasta mänty muodostaa valtaosan, jonkin verran on myös kuusta ja koivua. Ala on melko valoisa, kokonaislatvuspeittävyyden jäädessä alle 20 %:n (taulukko 5.1.1.1). Kuusialikasvosta on paikoitellen runsaasti, mutta näytepuut on valittu siten, ettei alikasvos hankaa tai varjosta näytepuiden runkoja.

Hietajärven (FI03) epifyyttialat EP1, EP2 ja EP3 edustavat kuivahkojen kankaiden suhteellisen valoisia männiköitä. Metsätyypiltään ne on määritetty eteläboreaalisien vyöhykkeen puolukkatyyppin (VT) ja keskiboreaalisien vyöhykkeen variksenmarja-puolukkatyyppin (EVT) välimuodoiksi, koska kasvillisuudessa on molempien tyyppien piirteitä. Alat ovat keskenään hyvin samankaltaisia ja ne täyttävät hyvin aloille asetetut vaatimukset. Kokonaislatvuspeittävyys on kaikilla aloilla välillä 15-20 % (taulukko 5.1.1.1).

Pesosjärven (FI04) epifyyttialat EP2 ja EP5 ovat tuoreen kankaan sekapuustoisia kuusikoita, joissa männyn osuus kokonaispohjapinta-alasta on alle 40 % (taulukko 5.1.1.1). Molemmilla aloilla on myös sekä koivua että haapaa. Erityisesti alalla EP5 on melko runsaasti alikasvosta, lähes 15% ja ala onkin kuusikoitumassa. Ala EP5 on alaa EP2 selvästi tuoreempi, paikoin jopa hieman soistunut. Pesosjärvi sijaitsee poronhoitoalueella, joten poroilla voi olla vaikutusta seuranta-alojen epifyttikasvillisuuteen.

Pesosjärvellä vuonna 1989 mitatut mäntyalat EP3 ja EP4, joiden seuranta ei vuoden 1989 jälkeen ole jatkettu, ovat myös tuoreen kankaan metsäkerrossammal-mustikka -tyyppiä (HMT). Ala EP3 on kasvillisuudeltaan ja puulajisuhteiltaan pitkälti epifyttialan EP2 kaltainen, mutta puusto on harvempaa ja aukkoisempaa (Kokko & Kovanen 1989). Epifyyttiala EP4 on ilmeisesti palonjälkeistä HMT:ä. Metsikkö on aukkoista ja valoisa ja mänty, kuusi ja koivu ovat lähes yhtä runsaita. Aluskasvillisuudessa on muihin Pesosjärven aloihin verrattuna enemmän kuivahkon kangasmetsän kasvillisuuspiirteitä.

Vuoskojärven mäntyepifyyttialat EP1 ja EP3 ovat valoisia mäntykankaita, ja puuston pohjapinta-alat ovat hyvin alhaiset. Sekapuuna ja alikasvoksena on jonkin verran tunturikoivua (taulukko 5.1.1.1). Männyt ovat pohjoisten olosuhteiden vuoksi melko matalia, mutta iäkkäitä ja järeitä. Tunturikoivuepifyyttialoista toinen, EP2 sijaitsee alhaalla laaksossa Vuoskojärven pinnan tasolla ja toinen, EP4, ylhäällä tunturinrinteellä, noin 235 m m.p.y. Molemmat alat ovat matalaa tunturikoivikkoa kasvavia valoisia kankaita, mutta ylhäällä rinteessä sijaitsevalla alalla

EP4 koivut ovat selvästi matalampia, enemmän pensasmaisia ja rinnankorkeusläpimitaltaan pienempiä (taulukko 5.1.1.1). Kaikki Vuoskojärven epifyyttialat ovat pöron voimakkaasti laiduntamia.

Taulukko 5.1.1.1. Ympäristön yhdenneen seurannan epifyyttialojen kasvillisuustyyppi, puuston kokonaispohjapinta-ala ja puulajeittaiset pohjapinta-alat (m²/ha), kokonaislatvuspeittävyys (%) ja alikasvoksen peittävyys (%) sekä valtapituus (m) ja valtapuuston keskiläpimitta (cm). Kokonaislatvuspeittävyys ja alikasvoksen peittävyys on arvioitu näytepuiden lähiympäristöstä (5 m säteellä). Tiedot vuoden 1997 seurannasta, paitsi Hietajärven alalta EP3 vuodelta 1994.

Alue/ala	Kasvillisuus- tyyppi ¹⁾	Kokonais- pohjapinta- ala	Mänty, pohjapinta- ala	Kuusi, pohjapinta- ala	Koivu, pohjapinta- ala	Haapa, pohjapinta- ala	Kokonais- latvus- peittävyys	Alikas- voksen peittävyys	Valta- pituus	Valta- puuston keskiläpimitta
Mäntyalat										
FI01/EP7	MT	51,0	23,0	21,5	6,0	0,5	38	1	25,0	28,0
FI01/EP9	MT	33,7	27,3	2,7	3,7	-	18	4	23,5	27,0
FI03/EP1	EVT-VT	26,0	25,0	-	1,0	-	16	2	18,5	25,0
FI03/EP2	EVT-VT	22,0	22,0	-	-	-	12	1	21,0	29,0
FI03/EP3	EVT-VT	17,5	16,0	-	1,5	-	19	3	20,0	24,0
FI04/EP2	HMT	19,7	5,0	10,7	2,7	1,3	24	7	14,5	22,5
FI04/EP5	HMT	16,3	6,3	7,0	2,7	0,3	25	14	15,0	23,0
FI05/EP1	Lichen woodland ²⁾	10,0	9,3	-	0,7	-	11	1	11,0	26,0
FI05/EP3	Lichen woodland ³⁾	9,3	8,3	-	1,0	-	9	4	12,0	28,0
Tunturikoivualat										
FI05/EP2	sELiPIT	4,7	1,0	-	3,7	-	22	1	5,5	6,0
FI05/EP4	sELiT	3,3	-	-	3,3	-	14	1	3,5	4,0

¹⁾ Kasvillisuustyytit Lehdon ja Leikolan (1987) mukaan paitsi Vuoskojärvellä (FI05) Hämet-Ahdin (1963) mukaan. MT = *Myrtillus*-tyyppi, EVT = *Empetrum-Vaccinium* -tyyppi, VT = *Vaccinium* -tyyppi, HMT = *Hylocomium-Myrtillus* -tyyppi, sELiPIT = subalpiininen *Empetrum-Lichenes-Pleurozium* -tyyppi, sELiT = subalpiininen *Empetrum-Lichens* -tyyppi.

²⁾ Tyyppien "Lichen woodland rich in mosses" ja "Lichen woodland poor in mosses" välimuototyyppi

³⁾ Lichen woodland rich in mosses

5.1.2 Näytepuut

Mäntynäytepuiden keskikorkeus vaihtelee seuranta-aloilla noin 12 metristä 26 metriin (taulukko 5.1.2.1). Rinnankorkeusläpimitta on kaikilla näytepuilla hyvin samansuuruinen.

Seurannassa mukana olevat tunturikoivunäytepuut ovat keskikorkeudeltaan noin viisi metriä (taulukko 5.1.2.1). Alalla EP2 näytepuista 5 on yksirunkoisia, muut tutkimusrungot kuuluvat runnaaseen. Alan EP4 näytepuista 11 on yksirunkoisia.

Pesosjärven vain vuonna 1989 mitatuilla mäntyaloilla EP3 ja EP4 näytepuiden keskikorkeus on 18,8 ja 15,5 metriä ja rinnankorkeusläpimitta 31,5 ja 26,6 cm eli suuruudeltaan samaa luokkaa kuin aloilla EP2 ja EP5, joilla seuranta on jatkettu.

Taulukko 5.1.2.1. Näytepuiden keskikorkeus (m) ja rinnankorkeusläpimitta (cm) sekä mäntynäytepuiden elävän latvuksen alaraja (m) yhdenneen seurannan epifyyttialoilla eri seuranta-alueilla vuonna 1997 (Hietajärven ala EP3 vuonna 1994) (männillä n=8, tunturikoivuilla n=20).

Alue	Ala	Keskikorkeus	Rinnankorkeus- läpimitta	Elävän latvuksen alaraja
Mäntyalat				
Valkea-Kotinen	EP7	26,3	30,1	19,0
	EP9	24,0	27,2	16,0
Hietajärvi	EP1	18,7	25,3	9,3
	EP2	20,9	29,6	13,4
	EP3	20,9	26,7	11,3
Pesosjärvi	EP2	18,6	30,2	9,8
	EP5	17,3	27,7	8,7
Vuoskojärvi	EP1	12,2	27,4	4,3
	EP3	13,0	30,6	5,5
Tunturikoivualat				
Vuoskojärvi	EP2	6,2	5,8	-
	EP4	4,7	3,6	-

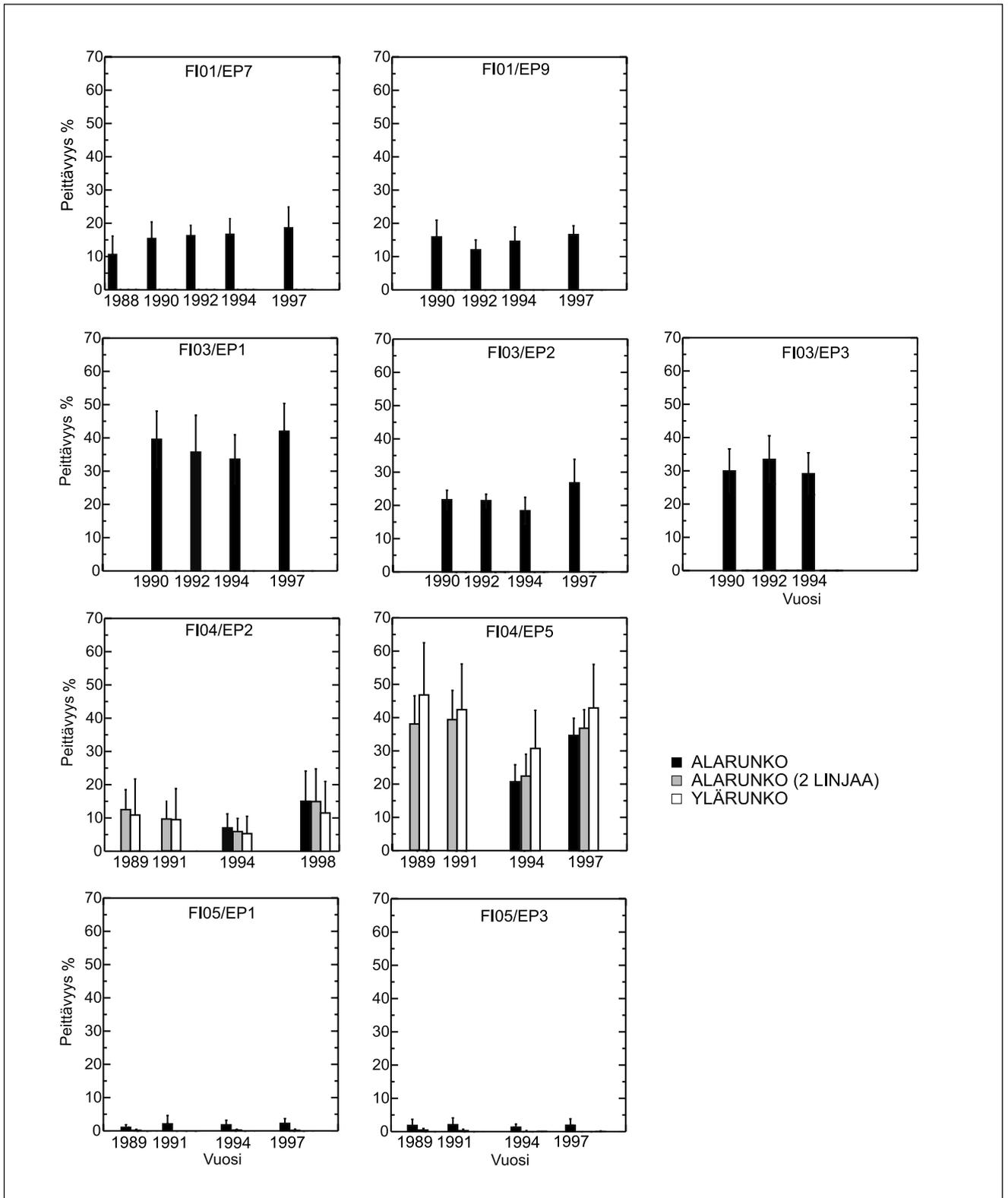
5.2 Runkojäkälälajien esiintyminen ja lajien peittävydet mäntyaloilla

5.2.1 Seuratun lajiston esiintyminen ja lajien peittävydet

Eri YYS-alueet eroavat toisistaan jossain määrin runkojäkälälajistoltaan, mutta erityisesti lajien peittävyden ja keskinäisten runsaussuhteiden osalta (taulukot 5.2.1.1.-5.2.1.13, liite 2). Valkea-Kotisella, Hietajärvellä ja Pesosjärvellä esiintyy makrojäkälälajeja lähes yhtä paljon, tosin Valkea-Kotisella lajimäärää vähentää luppulajien vähäisyys (taulukot 5.2.1.14 ja 5.2.1.15). Seuratun lajiston suurimmat kokonaispeittävydet ovat Hietajärvellä ja Pesosjärvellä. Lajimäärä ja jäkälän peittävydet ovat selvästi pienimmät Vuoskojärvellä.

Valkea-Kotisella alalla EP7 seuratun jäkälälajiston kokonaispeittävyys on kasvanut 1988-1997 noin 10%:sta lähes 20%:iin (kuva 5.2.1.1). Vuosien 1988 ja 1990 välinen ero on suurin ja saattaa osaltaan johtua siitä, että peräti puolet vuoden 1988 näytepuista on uuden näytealasynteesin takia vaihdettu vuonna 1990. Vuosina 1990-1997, jolloin näytepuut ovat olleet samoja, eivät vuosien väliset erot ole tilastollisesti merkitseviä. Alkuvuosien puunvaihtojen takia koko aikasarjan testaus Friedmanin testillä ei onnistu. Epifyyttialalla EP9 esiintyy vuosien välistä vaihtelua (tilastollisesti merkitsevää, Friedmanin testi, $p=0,008$), mutta selvää nousevaa tai laskevaa suuntausta ei ole havaittavissa.

Valkea-Kotisella männyn runkojen makrojäkäläkoostuu pääosin sormipaisukarpeesta (*Hypogymnia physodes*; taulukot 5.2.1.1 ja 5.2.1.2). Seuraavaksi runsain alalla EP7 on harmaaröyhelö (*Platismatia glauca*) ja alalla EP9 keltatyvikarve (*Parmeliopsis ambigua*), mutta peittävydet ovat sormipaisukarpeen peittävyteen verrattuna selvästi pienemmät. Alalla EP7 sormipaisukarpeen peittävyys on nousut seurannan edetessä ja jäkälän kokonaispeittävyden nousu johtuu juuri tästä. Tummaluppojen (*Bryoria*-suku) ja naavojen (*Usnea*-suku) peittävyys on erittäin pieni. Pienistä luppoyksilöistä lajia ei aina ole tunnistettu, mutta tunnistetut yksilöt ovat olleet yleensä harmaaluppoa (*Bryoria capillaris*, taulukko 5.2.1.14). Naavoista



Kuva 5.2.1.1. Seuratun lajiston kokonaispeittävyys Valkea-Kotisen (FI01), Hietajärven (FI03), Pesosjärven (FI04) ja Vuoskojärven (FI05) epifyyttialoilla eri seurantavuosina alarungolla (linjat 60, 90, 120 ja 150 cm, Pesosjärvellä erikseen kahdella linjalla 120 ja 150 cm) ja ylärungolla (linjat 250 ja 280, poikkeuksena Vuoskojärvellä 1989 ja 1991 linja 220 cm).

Taulukko 5.2.1.1. Lajien peittävyden (%) keskiarvo (\bar{x}) ja keskihajonta (s.d.) rungon alaosassa (alainjat välillä 60-150 cm) Valkea-Kotisen epifyyttialalla EP7 (n=8). Arvo 0,0 = peittävyys tai hajonta < 0,05.

	1988		1990		1992		1994		1997	
	\bar{x}	s.d.								
<i>Alectoria sarmentosa</i>	-	-	-	-	0,0	0,1	-	-	-	-
<i>Bryoria</i> spp.	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	0,1	0,1	0,1	0,1
<i>Hypocenomyce scalaris</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	0,1
<i>Hypogymnia farinacea</i>	0,0	0,0	0,1	0,3	-	-	0,1	0,2	-	-
<i>Hypogymnia physodes</i>	9,6	4,4	14,0	4,4	15,2	3,2	15,1	4,5	17,2	5,7
<i>Imshaugia aleurites</i>	0,0	0,1	-	-	0,0	0,0	0,0	0,1	-	-
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2
<i>Parmeliopsis hyperopta</i>	0,1	0,2	-	-	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1
<i>Platismatia glauca</i>	0,7	0,8	1,1	1,0	0,7	0,5	1,1	0,8	1,0	0,8
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	-	-	-	-	0,0	0,0	-	-	-	-
<i>Usnea</i> spp.	0,0	0,1	0,0	0,1	-	-	0,0	0,0	-	-
<i>Vulpicida pinastri</i>	0,0	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-
Viherlevä	-	-	0,0	0,0	-	-	0,1	0,1	0,1	0,1
Kokonaispeittävyys	10,6		15,4		16,3		16,8		18,7	
Taksonien lukumäärä	9		7		7		9		7	

Taulukko 5.2.1.2. Lajien peittävyden (%) keskiarvo (\bar{x}) ja keskihajonta (s.d.) rungon alaosassa (alainjat välillä 60-150 cm) Valkea-Kotisen epifyyttialalla EP9 (n=8). Arvo 0,0 = peittävyys tai hajonta < 0,05.

	1990		1992		1994		1997	
	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.
<i>Alectoria sarmentosa</i>	-	-	0,0	0,0	-	-	-	-
<i>Bryoria</i> spp.	-	-	-	-	0,0	0,0	-	-
<i>Hypocenomyce scalaris</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
<i>Hypogymnia physodes</i>	14,0	5,2	10,4	3,8	12,3	4,7	12,9	4,3
<i>Imshaugia aleurites</i>	0,2	0,4	0,1	0,1	0,2	0,3	0,1	0,1
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	1,4	1,5	1,3	1,3	1,7	1,7	3,0	2,9
<i>Parmeliopsis hyperopta</i>	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
<i>Platismatia glauca</i>	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
<i>Usnea</i> ssp.	0,0	0,0	-	-	0,0	0,0	-	-
<i>Vulpicida pinastri</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Viherlevä	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	-	-
Kokonaispeittävyys	15,9		12,1		14,7		16,6	
Taksonien lukumäärä	9		10		11		8	

Valkea-Kotisen epifyyttialoilta on tavattu tukkanaavaa (*Usnea subfloridana*) ja tupsunaavaa (*U. hirta*). Valkea-Kotisella näytelinjat ovat tavoittaneet varsin kattavasti rungon lajiston, eikä lajien listaaminen linjojen välistä ole juurikaan lisännyt lajimäärää. Viherlevää on tavattu pieniä määriä useimmilta puilta. Viherlevän tunnistaminen ja erityisesti peittävyuden määrittäminen osoittautui käytännössä vaikeaksi, koska rungoilla esiintyy vihertäviä rupijäkäläkasvustoja, joista viherlevää on hankala erottaa.

Hietajärven aloilla seuratun lajiston kokonaispeittävyudet ovat kaikilla aloilla Valkea-Kotisen peittävyiksiä suuremmat, noin 20-40% (kuva 5.2.1.1). Laskevaa tai nousevaa trendiä ei tällä seurantajaksolla ole havaittavissa, ainoastaan vuosien välistä vaihtelua (EP1, $p=0.01$; EP2, $p=0.001$; EP3, vaihtelu ei tilastollisesti merkitsevää; kaikilla aloilla $n=8$).

Hietajärven makrojäkälälajisto on varsin samankaltainen kuin Valkea-Kotisella. Hietajärvellä runkojen jäkälälajistossa runsaimpia ovat keltatyvikarve ja sormipaisukarve, mutta myös muuta lajistoa esiintyy peittävyydeltään kohtalaisesti (taulukot 5.2.1.3-5.2.1.5). Verrattuna Valkea-Kotiseen Hietajärvellä esiintyy runsaammin loppoja ja naavoja, tosin naavojen peittävyys jää pieneksi. Naavamaisista jäkälälajeista on tunnistettu useita lajeja (taulukko 5.2.1.14). Lupoista varsin säännöllisesti näytepuilla on tavattu mm. harmaaluppoa, tupsuluppoa (*B. furcellata*) ja tummaluppoa (*B. fuscescens*). Naavoista varsin säännöllisesti esiintyy tupsunaavaa. Alueelle luonteenomaisia lajeja ovat myös hankakarve (*Pseudevernia furfuracea*) ja harmaaröyhelö. Eri epifyyttialojen lajisto on hyvin samankaltainen. Runsaimmin jäkälää esiintyy kuitenkin alalla EP1 (keskimäärin noin 40%) ja vähiten alalla EP2 (noin 20%).

Harmaatyvikarpeen (*Parmeliopsis hyperopta*) ja tuhkkakarpeen (*Imshaugia aleurites*) osalta tulokset osoittavat ilmeisiä tunnistamisvaikeuksia ja vaikuttaa siltä, että vuosina 1990 ja 1992 ainakin osa tuhkkakarpeen sekovarsista on määritetty harmaatyvikarpeeksi.

Taulukko 5.2.1.3. Lajien peittävyuden (%) keskiarvo (\bar{x}) ja keskihajonta (s.d.) rungon alaosaan (alalinjat välillä 60-150 cm) Hietajärven epifyyttialalla EPI ($n=8$). Arvo 0,0 = peittävyys tai hajonta < 0,05.

	1990		1992		1994		1997	
	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.
<i>Bryoria</i> spp.	3,2	1,5	3,7	2,1	2,4	1,8	4,7	2,3
<i>Hypogymnia physodes</i>	15,8	4,5	13,3	4,4	13,8	4,0	13,7	4,3
<i>Imshaugia aleurites</i>	0,1	0,2	0,0	0,1	2,5	1,7	2,8	1,6
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	16,0	4,8	13,4	6,0	13,0	4,4	18,8	7,7
<i>Parmeliopsis hyperopta</i>	3,2	2,2	3,9	1,6	0,0	0,1	0,3	0,4
<i>Platismatia glauca</i>	0,7	1,2	0,7	1,1	0,8	1,4	0,9	1,7
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	0,5	0,8	0,5	0,8	1,0	1,3	0,7	0,8
<i>Usnea</i> spp.	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3
Kokonaispeittävyys	39,6		35,7		33,6		42,0	
Taksonien lukumäärä	8		8		8		8	

Taulukko 5.2.1.4. Lajien peittävyden (%) keskiarvo (\bar{x}) ja keskihajonta (s.d.) rungon alaosassa (alalinjat välillä 60-150 cm) Hietajärven epifyyttialalla EP2 (n=8). Arvo 0,0 = peittävyys tai hajonta < 0,05.

	1990		1992		1994		1997	
	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.
<i>Bryoria</i> spp.	1,5	1,2	2,1	1,3	1,3	0,9	4,1	2,3
<i>Hypocomyce scalaris</i>	0,2	0,5	0,2	0,3	0,3	0,6	0,5	1,0
<i>Hypogymnia farinacea</i>	-	-	-	-	0,1	0,3	-	-
<i>Hypogymnia physodes</i>	7,2	1,1	6,2	1,1	7,2	1,2	8,5	1,6
<i>Imshaugia aleurites</i>	0,3	0,5	0,1	0,1	1,8	1,0	1,8	0,9
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	8,8	2,7	8,4	2,3	6,7	2,4	10,4	3,9
<i>Parmeliopsis hyperopta</i>	2,7	1,2	3,6	1,7	0,1	0,1	0,4	0,3
<i>Platismatia glauca</i>	0,9	0,9	0,7	0,8	0,7	0,5	0,9	0,9
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	0,0	0,0	0,1	0,4	0,3	0,9	0,3	0,9
<i>Usnea</i> spp.	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
Kokonaispeittävyys	21,7		21,4		18,4		26,8	
Taksonien lukumäärä	9		9		9		8	

Taulukko 5.2.1.5. Lajien peittävyden (%) keskiarvo (\bar{x}) ja keskihajonta (s.d.) rungon alaosassa (alalinjat välillä 60-150 cm) Hietajärven epifyyttialalla EP3 (n=8). Arvo 0,0 = peittävyys tai hajonta < 0,05.

	1990		1992		1994	
	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.
<i>Alectoria sarmentosa</i>	-	-	-	-	0,0	0,1
<i>Bryoria</i> spp.	2,4	1,1	3,6	1,7	2,4	1,6
<i>Hypogymnia physodes</i>	9,1	5,4	10,1	4,9	10,6	6,2
<i>Imshaugia aleurites</i>	0,5	0,4	0,3	0,2	4,5	2,4
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	10,8	3,1	12,8	3,6	11,0	4,1
<i>Parmeliopsis hyperopta</i>	7,1	2,6	6,3	2,3	0,5	0,8
<i>Platismatia glauca</i>	-	-	0,1	0,2	0,1	0,3
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	0,0	0,1	-	-	-	-
<i>Usnea</i> spp.	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
Kokonaispeittävyys	29,9		33,2		29,1	
Taksonien lukumäärä	7		7		8	

Jäkälien peittävydet eroavat huomattavasti *Pesosjärven* eri epifyyttialoilla (kuva 5.2.1.1). Alalla EP5 seuratun lajiston kokonaispeittävyys on moninkertainen verrattuna alaan EP2. Myös vuonna 1989 mitatuilla aloilla EP3 ja EP4 jäkäliden peittävydet ovat olleet selvästi suuremmat kuin alalla EP2 (liite 1). *Pesosjärvellä* epifyyttien kokonaispeittävydessä on paljon vuosien välistä vaihtelua. Erityisen silmiinpistävää on kokonaispeittävyden selvä putoaminen vuonna 1994 ja paluu jotakuinkin aikaisemmalle tasolle vuosina 1997 ja 1998. Alalla EP2 koko aikasarjan vuosien välinen vaihtelu on tilastollisesti erittäin merkitsevää sekä ala- että ylälinjoilla (alarunkotuloksissa $p < 0,001$, ylärunkotuloksissa $p = 0,001$, $n = 8$). Alalla EP5 koko sarjan vertailua häiritsee puun vaihdot (vuoden 1989 puista kolme on vaihdettu vuonna 1991 ja yksi vuonna 1994; 1991-1997 alarunkotuloksissa $p = 0,018$, ylärunkotuloksissa $p = 0,004$, $n = 7$).

Alalla EP5 seuratun lajiston kokonaispeittävyys ylälinjoilla on säännöllisesti suurempi kuin alalinjoilla (vastaavasti myös aloilla EP3 ja EP4, liite 1). Ero on alalla EP5 tilastollisesti merkitsevä kuitenkin vain vuoden 1994 neljän alalinjan tuloksen ja ylälinjatuloksen välillä ($p < 0.05$, $n=8$). Alalla EP2 tilanne näyttäisi olevan toisinpäin, mutta erot eivät ole tilastollisesti merkitseviä (kaikkina vuosina $p > 0.05$).

Kahden (120 ja 150 cm) ja neljän (60, 90, 120 ja 150 cm) alalinjan aineistoilla lasketuissa kokonaispeittävyysissä ei näyttäisi olevan suurta eroa (kuva 5.2.1.1). Alalla EP5 seuratun lajiston kokonaispeittävyys on kahdella linjalla jossain määrin suurempi kuin neljän linjan tulos, mutta ero on tilastollisesti merkitsevä vain 1997 ($p=0.025$, $n=8$). Alalla EP2 kahdella linjalla saatu tulos on taas neljän linjan tulosta hieman pienempi 1994 ($p=0.017$, $n=8$).

Selvästi suurempi kokonaispeittävyys alalla EP5 sekä ala- että ylärungoilla verrattuna alaan EP2 aiheutuu luppojen runsaudesta (taulukot 5.2.1.6-5.2.1.9). Ne muodostavatkin alalla EP5 jäkälkien peittävydestä suurimman osan ja pororajan yläpuolisilla linjoilla luppojen määrä ja suhteellinen osuus koko lajistosta on vielä suurempi kuin alarungoilla. Seuraavaksi runsain sekä ala- että ylärungoilla on keltatyvikarve. Sormipaisukarvetta ja tuhkarvetta esiintyy myös säännöllisesti. Ylärungoilla muiden lajien kuin luppojen peittävydet ovat yleensä pienempiä kuin alarungolla. Edellä mainitut lajit ovat runsaimpia myös epifyytialalla EP2. Vuonna 1989 mitatut alat EP3 ja EP4 ovat alan EP5 tavoin runsasluppoisia ja ylärungoilla luppojen peittävyys on selvästi suurempi kuin alarungoilla (ala EP3 alarunko 14 %, ylärunko 37 %; EP4 alarunko 25 %, ylärunko 35 %, liite 1).

Pesosjärvellä jäkälkien lajimäärä on varsin suuri (taulukot 5.2.1.6-5.2.1.9 ja 5.2.1.14-5.2.1.15), tosin monet pienillä peittävyksillä esiintyvät lajit eivät aina ole osuneet seurantalijnjoille. Tulostaulukoissa luppoille ei ole esitetty lajikohtaisia peittävyksiä, mutta selvästi valtaosa luppojen peittävydestä Pesosjärvellä muodostuu tummaluposta (*Bryoria fuscescens*). Muita tavallisesti esiintyviä luppolajeja ovat tupsuluppo (*B. furcellata*), kanadanluppo (*B. fremontii*) ja harmaaluppo (*B. capillaris*). Korpiluppoa (*Alectoria sarmentosa*) esiintyy linjoilla satunnaisesti ja pieninä peittävyksinä.

Taulukko 5.2.1.6. Lajien peittävyden (%) keskiarvo (\bar{x}) ja keskihajonta (s.d.) rungon alaosaan Pesosjärven epifyytialalla EP2 ($n=8$). Kaikkina vuosina tulokset alalinjoilta 120 ja 150 cm, vuosina 1994 ja 1998 lisäksi kauttaviivan jälkeen neljän alalinjan (60-150 cm) tulokset. Arvo 0,0 = peittävyys tai hajonta $< 0,05$.

	1989		1991		1994		1998	
	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.
<i>Alectoria sarmentosa</i>	0,1	0,1	0,0	0,1	- / -	- / -	0,0 / 0,0	0,0 / 0,0
<i>Bryoria</i> spp.	2,8	1,1	2,5	1,5	1,3 / 1,2	0,8 / 0,6	5,9 / 4,8	3,4 / 2,6
<i>Hypocnomyce scalaris</i>	-	-	-	-	0,0 / 0,0	0,0 / 0,1	- / 0,0	- / 0,1
<i>Hypogymnia physodes</i>	1,4	1,3	1,5	1,6	0,9 / 1,3	0,8 / 1,4	2,2 / 2,6	1,5 / 2,1
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	-	-	0,0	0,0	- / -	- / -	- / -	- / -
<i>Imshaugia aleurites</i>	2,3	1,9	1,5	0,9	1,2 / 1,2	0,8 / 0,5	1,6 / 1,4	0,8 / 0,6
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	5,8	3,1	4,0	2,7	2,4 / 3,1	1,7 / 1,9	5,1 / 6,0	2,6 / 3,4
<i>Parmeliopsis hyperopta</i>	0,0	0,1	-	-	0,0 / 0,1	0,1 / 0,1	0,1 / 0,2	0,1 / 0,2
<i>Tuckermannopsis chlorophylla</i>	0,0	0,0	-	-	- / -	- / -	0,0 / 0,0	0,0 / 0,0
Kokonaispeittävyys	12,5		9,6		5,8 / 6,9		14,9 / 15,0	
Taksonien lukumäärä	7		6		6 / 6		7 / 8	

Taulukko 5.2.1.7. Lajien peittävyden (%) keskiarvo (\bar{x}) ja keskihajonta (s.d.) rungon yläosassa (ylälinjat 250 ja 280 cm) Pesosjärven epifyyttialalla EP2 (n=8). Arvo 0,0 = peittävyys tai hajonta < 0,05.

	1989		1991		1994		1998	
	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.
<i>Alectoria sarmentosa</i>	-	-	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Bryoria</i> spp.	4,0	4,0	4,9	5,2	2,3	2,5	6,3	4,4
<i>Hypogymnia physodes</i>	0,7	0,8	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	0,8
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	-	-	-	-	-	-	0,0	0,0
<i>Imshaugia aleurites</i>	2,4	2,6	1,7	1,6	1,0	0,9	1,4	0,6
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	3,8	3,4	2,5	2,2	1,4	1,5	2,7	1,3
<i>Parmeliopsis hyperopta</i>	-	-	-	-	0,0	0,0	0,1	0,0
<i>Platismatia glauca</i>	-	-	-	-	-	-	0,0	0,0
<i>Tuckermannopsis chlorophylla</i>	-	-	-	-	-	-	0,0	0,0
Kokonaispeittävyys	10,9		9,4		5,3		11,5	
Taksonien lukumäärä	4		4		6		9	

Taulukko 5.2.1.8. Lajien peittävyden (%) keskiarvo (\bar{x}) ja keskihajonta (s.d.) rungon alaosassa Pesosjärven epifyyttialalla EP5 (n=8). Kaikkina vuosina tulokset alalinjoilta 120 ja 150 cm, vuosina 1994 ja 1997 lisäksi kauttaviivan jälkeen merkitty neljän alalinjan (60-150 cm) tulokset. Arvo 0,0 = peittävyys tai hajonta < 0,05.

	1989		1991		1994		1997	
	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.
<i>Alectoria sarmentosa</i>	-	-	-	-	0,0 / 0,0	0,0 / 0,0	- / -	- / -
<i>Bryoria</i> spp.	28,1	10,9	31,6	10,0	16,7 / 11,8	6,5 / 5,0	27,4 / 22,2	7,7 / 8,8
<i>Hypocenomyce scalaris</i>	-	-	-	-	- / 0,0	- / 0,1	- / 0,1	- / 0,2
<i>Hypogymnia physodes</i>	1,5	1,8	2,0	1,7	1,6 / 3,7	1,7 / 2,9	2,1 / 4,4	2,4 / 4,1
<i>Imshaugia aleurites</i>	1,2	1,0	0,6	0,7	0,4 / 0,5	0,7 / 0,8	0,8 / 0,9	0,9 / 1,0
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	7,1	3,1	5,2	2,4	3,7 / 4,5	1,9 / 2,2	6,5 / 7,0	3,4 / 2,4
<i>Parmeliopsis hyperopta</i>	0,1	0,2	0,0	0,1	- / 0,1	- / 0,1	0,1 / 0,1	0,1 / 0,1
Kokonaispeittävyys	38,0		39,4		22,4 / 20,6		36,9 / 34,7	
Taksonien lukumäärä	5		5		5 / 7		5 / 6	

Taulukko 5.2.1.9. Lajien peittävyden (%) keskiarvo (\bar{x}) ja keskihajonta (s.d.) rungon yläosassa (ylälinjat 250 ja 280 cm) Pesosjärven epifyyttialalla EP5 (n=8). Arvo 0,0 = peittävyys tai hajonta < 0,05.

	1989		1991		1994		1997	
	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.
<i>Alectoria sarmentosa</i>	-	-	-	-	-	-	0,0	0,0
<i>Bryoria</i> spp.	39,4	14,0	37,8	12,5	27,8	8,8	39,1	10,3
<i>Hypogymnia physodes</i>	0,9	1,4	0,5	0,7	0,4	0,5	0,3	0,7
<i>Imshaugia aleurites</i>	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,5	0,4	0,5
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	6,0	3,5	3,8	3,0	2,2	2,2	3,1	2,3
<i>Parmeliopsis hyperopta</i>	-	-	-	-	-	-	0,1	0,1
Kokonaispeittävyys	46,7		42,4		30,7		42,9	
Taksonien lukumäärä	4		4		4		6	

Pesosjärvellä vuoden 1994 tuloksissa lajien kokonaispeittävyys ja etenkin loppojen peittävyys ovat selvästi alhaisimmat verrattuna muihin vuosiin. Tämä näkyy molempien alojen tuloksissa, mutta korostuu alalla EP5. Tulosta ei voine selittää esim. porolaidunnuksen vaikutuksella, koska myös ylälainjoilla, joiden pitäisi olla porojen ulottumattomissa tulos on samankaltainen. Primaariaineiston tarkempi tutkiminen on osoittanut, että vuoden 1994 aineistossa yhden mm:n kokoisten yksilöiden määrä seuranta-aineistossa on kaikkien lajien osalta selvästi pienempi kuin muina seurantavuosina. Tämä viittaa vahvasti siihen, että työn tarkkuudessa on kyseisenä vuonna ollut eroa muihin vuosiin verrattuna ja Pesosjärvellä tämä vaikuttaa merkittävästi tuloksiin. Lajien suhteelliset osuudet ovat kuitenkin vuonna 1994 hyvin samankaltaiset kuin muinakin vuosina.

Vuoskojärvellä seuratun lajiston peittävyys on erittäin pieni (kuva 5.2.1.1). Varsinkin ylärungoilla on hyvin vähän epifyyttejä ja valtaosalla ylälainjoista ei seurantavuosina esiintynyt yhtään jäkäliä. Alarungoillakin jäkälien kokonaispeittävyys on enimmillään noin 2% (taulukot 5.2.1.10-5.2.1.13). Yleisimmin esiintyy keltatyvikarvetta, loppoja ja tuhkarvetta. Koivunruskokarve (*Melanelia olivacea*), joka on tyypillinen koivun runkojen laji esiintyy pienillä peittävyyksillä myös männynllä. Muilla alueilla yleistä sormipaisukarvetta esiintyy Vuoskojärvellä vähän ja se on kitukasvuista.

Taulukko 5.2.1.10. Lajien peittävyden (%) keskiarvo (\bar{x}) ja keskihajonta (s.d.) rungon alaosassa (alalinjat välillä 60-150 cm) Vuoskojärven epifyyttialalla EPI (n=8). Arvo 0,0 = peittävyys tai hajonta < 0,05.

	1989		1991		1994		1997	
	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.
<i>Bryoria</i> spp.	0,1	0,1	0,7	1,2	0,1	0,2	0,2	0,3
<i>Hypocenomyce scalaris</i>	-	-	0,1	0,3	-	-	-	-
<i>Hypogymnia physodes</i>	-	-	0,0	0,1	0,0	0,0	-	-
<i>Imshaugia aleurites</i>	0,1	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6
<i>Melanelia olivacea</i>	-	-	0,0	0,1	-	-	0,1	0,3
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	0,4	0,6	0,9	0,9	1,2	0,9	1,4	1,1
<i>Parmeliopsis hyperopta</i>	0,4	0,5	0,2	0,2	0,1	0,2	0,0	0,0
Kokonaispeittävyys	1,0		2,1		1,8		2,2	
Taksonien lukumäärä	4		7		5		5	

Taulukko 5.2.1.11. Lajien peittävyden (%) keskiarvo (\bar{x}) ja keskihajonta (s.d.) rungon yläosassa (ylälinja 220 cm v. 1989-1991 ja ylälinjat 250 ja 280 cm v. 1994-1997) Vuoskojärven epifyyttialalla EPI (n=8). Arvo 0,0 = peittävyys tai hajonta < 0,05.

	1989		1991		1994		1997	
	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.
<i>Bryoria</i> spp.	0,1	0,3	-	-	0,0	0,1	-	-
<i>Imshaugia aleurites</i>	-	-	-	-	0,0	0,0	-	-
<i>Melanelia olivacea</i>	-	-	-	-	0,1	0,1	0,0	0,1
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	0,0	0,0	-	-	0,1	0,2	0,1	0,2
Kokonaispeittävyys	0,1		0,0		0,2		0,1	
Taksonien lukumäärä	2		0		4		2	

Taulukko 5.2.1.12. Lajien peittävyden (%) keskiarvo (\bar{x}) ja keskihajonta (s.d.) rungon alaosassa (alalinjat välillä 60-150 cm) Vuoskojärven epifyyttialalla EP3 (n=8). Arvo 0,0 = peittävyys tai hajonta < 0,05.

	1989		1991		1994		1997	
	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.
<i>Bryoria</i> spp.	0,2	0,3	0,6	0,9	0,4	0,6	0,6	0,9
<i>Hypocnomyce scalaris</i>	-	-	0,2	0,3	-	-	-	-
<i>Hypogymnia physodes</i>	0,2	0,5	0,0	0,0	-	-	-	-
<i>Imshaugia aleurites</i>	0,3	0,4	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4
<i>Melanelia olivacea</i>	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Parmelia sulcata</i>	-	-	-	-	-	-	0,0	0,0
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	0,5	0,4	0,8	0,7	0,5	0,5	0,7	0,7
<i>Parmeliopsis hyperopta</i>	0,6	0,8	0,3	0,5	0,1	0,1	0,1	0,2
Kokonaispeittävyys	1,8		2,0		1,3		1,9	
Taksonien lukumäärä	5		7		5		6	

Taulukko 5.2.1.13. Lajien peittävyden (%) keskiarvo (\bar{x}) ja keskihajonta (s.d.) rungon yläosassa (ylälinja 220 cm v. 1989-1991 ja ylälinjat 250 ja 280 cm v. 1994-1997) Vuoskojärven epifyyttialalla EP3 (n=8). Arvo 0,0 = peittävyys tai hajonta < 0,05.

	1989		1991		1994		1997	
	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.
<i>Bryoria</i> spp.	0,1	0,1	-	-	-	-	0,0	0,1
<i>Imshaugia aleurites</i>	-	-	-	-	-	-	0,0	0,0
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	0,3	0,5	0,1	0,4	0,1	0,1	-	-
<i>Parmeliopsis hyperopta</i>	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
Kokonaispeittävyys	0,4		0,2		0,1		0,0	
Taksonien lukumäärä	2		2		2		2	

Taulukko 5.2.1.14. Seurantaan valittujen lajien sekä *Bryoria*- ja *Usnea*-sukujen lajien frekvenssit mäntynäytepuiden (n=8) alarungoilla (50-200 cm) yhdenetyn seurannan alueiden epifyyttialoilla vuosina 1994-1998.

	Valkea-Kotinen				Hietajärvi					Pesosjärvi				Vuoskojärvi			
	EP7		EP9		EPI		EP2		EP3	EP2		EP5		EPI		EP3	
	1994	1997	1994	1997	1994	1997	1994	1997	1994	1994	1998	1994	1997	1994	1997	1994	1997
<i>Alectoria sarmentosa</i>	-	-	-	-	-	-	1	2	3	1	5	2	4	-	-	-	-
<i>Bryoria capillaris</i>	-	8	1	3	7	7	2	7	4	7	5	7	8	-	-	-	-
<i>Bryoria fremontii</i>	-	-	-	-	-	1	3	4	1	1	1	4	4	-	-	-	-
<i>Bryoria furcellata</i>	-	-	-	-	7	7	8	8	8	3	7	3	7	-	-	-	-
<i>Bryoria fuscescens</i>	-	-	-	-	-	7	-	8	-	-	8	3	8	-	-	-	2
<i>Bryoria fuscescens/capillaris</i>	-	-	-	-	5	-	2	-	8	7	-	7	-	-	-	-	-
<i>Bryoria implexa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-
<i>Bryoria simplicior</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	8	6	7
<i>Bryoria</i> spp.	4	2	3	3	8	8	8	8	8	6	4	8	3	1	4	4	2
<i>Hypocenomyce scalaris</i>	-	1	4	5	3	3	7	8	3	3	4	1	2	-	-	-	-
<i>Hypogymnia farinacea</i>	2	4	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hypogymnia physodes</i>	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	7	5	6
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	3	-	2	-	-	-	-
<i>Imshaugia aleurites</i>	2	-	7	7	8	8	8	8	8	8	8	7	8	5	7	8	8
<i>Melanelia olivacea</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4	4	5
<i>Parmelia sulcata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	3	3	3
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	8	8	8
<i>Parmeliopsis hyperopta</i>	4	7	8	7	2	7	3	8	6	4	8	5	7	5	7	5	7
<i>Platismatia glauca</i>	8	8	8	7	8	8	8	8	6	1	2	1	2	-	-	-	-
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	-	-	4	5	7	7	4	4	3	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tuckermannopsis chlorophylla</i>	-	-	-	-	-	-	1	-	-	2	7	-	5	-	-	-	-
<i>Usnea filipendula</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Usnea hirta</i>	-	-	2	1	8	3	5	1	8	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Usnea subfloridana</i>	-	-	3	1	-	2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Usnea</i> spp.	3	3	4	7	-	7	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Vulpicida pinastri</i>	-	-	8	7	4	5	-	2	2	2	4	2	4	-	-	-	-
Viherlevä	6	3	6	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Taulukko 5.2.1.15. Seurantaan valittujen lajien sekä *Bryoria*- ja *Usnea*-sukujen lajien frekvenssit mäntynäytepuiden (n=8) ylärungoilla (200-300 cm) Pesosjärven epifyyttialoilla EP2 ja EP5 sekä Vuoskojärven epifyyttialoilla EPI ja EP3 vuosina 1994-1998.

	Pesosjärvi				Vuoskojärvi			
	EP2		EP5		EPI		EP3	
	1994	1998	1994	1997	1994	1997	1994	1997
<i>Alectoria sarmentosa</i>	2	3	1	3	-	-	-	-
<i>Bryoria capillaris</i>	3	6	5	3	-	-	-	-
<i>Bryoria fremontii</i>	1	3	6	7	-	-	-	-
<i>Bryoria furcellata</i>	3	5	2	2	-	-	-	-
<i>Bryoria fuscescens</i>	-	8	3	8	-	-	-	-
<i>Bryoria fuscescens/capillaris</i>	7	-	8	-	-	-	-	-
<i>Bryoria implexa</i>	-	3	-	-	-	-	-	-
<i>Bryoria simplicior</i>	-	-	-	-	2	3	-	4
<i>Bryoria</i> spp.	2	-	7	2	1	-	-	-
<i>Hypocenomyce scalaris</i>	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Hypogymnia physodes</i>	5	6	5	3	2	2	3	3
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	-	3	-	-	-	-	-	-
<i>Imshaugia aleurites</i>	6	6	5	6	1	3	-	1
<i>Melanelia olivacea</i>	-	-	-	-	2	2	1	2
<i>Parmelia sulcata</i>	-	-	-	-	-	1	1	1
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	7	8	7	8	2	3	2	1
<i>Parmeliopsis hyperopta</i>	1	3	2	4	-	1	1	-
<i>Platismatia glauca</i>	1	1	-	-	-	-	-	-
<i>Tuckermannopsis chlorophylla</i>	1	2	-	-	-	-	-	-
<i>Vulpicida pinastri</i>	-	2	1	-	1	-	-	-

5.2.2 Muun lajiston esiintyminen

Seurantaan valitun lajiston lisäksi pyrittiin vuosina 1997-1998 myös rungon muu epifyyttilajisto selvittämään mahdollisimman tarkasti. Epävarmoissa tapauksissa otettiin näytteitä, jotka jäkäläasiantuntijat myöhemmin määrittivät.

Valkea-Kotisella seurattavaan lajistoon kuulumattomia rupijäkälä on rungolla runsaasti. Alalla EP7 yleisiä ovat jauhojäkälä (*Loxospora elatina*) ja palotyynyjäkälä (*Micarea melaena*). Lisäksi tavallisia ovat mm. verikorpijäkälä (*Mycoblastus sanguinari*), ruosteneulajäkälä (*Chaenotheca ferruginea*) ja *Ochrolechia*-suvun lajit (petäjänkermajäkälä, *O. alboflavescens* ja katajankermajäkälä, *O. microstictoides*). Alalla EP9 rungoilla on runsaasti mm. jauhejäkälä (*Lepraria* spp.) ja lahonystyjäkälää (*Lecidea turgidula*). Lisäksi suhteellisen säännöllisesti tavataan esim. pikkunuppijäkälää (*Calicium parvum*) ja kermajäkälä (*Ochrolechia* spp.).

Myös *Hietajärvellä* esiintyy yleisesti rupijäkälä, mutta pienempinä peittävyysinä kuin *Valkea-Kotisella*. Sekä alalla EP1 että EP2 yleisimpiä rupijäkälä ovat nystyjäkälät (*Lecidea* spp.), jauhejäkälät (*Lepraria* spp.) ja kermajäkälät (esim. jauhekermajäkälä, *Ochrolechia androgyna* ja petäjänkermajäkälä, *O. alboflavescens*), sekä korpijäkälät (*Mycoblastus* spp.). Myös mm. pikkunuppijäkälää (*Calicium parvum*), ruosteneulajäkälää (*Chaenotheca ferruginea*) ja jauhojäkälää (*Loxospora elatina*) esiintyy.

Pesosjärven männyillä rupimaisista lajeista yleisin on jauhekermajäkälä, mutta suhteellisen paljon esiintyy myös mm. verikorpijäkälää (*Mycoblastus sanguinari*). *Vuoskojärvellä* rupimaisia jäkälä, kuten muitakin epifyyttijäkälä esiintyy hyvin vähän. Näytepuilta on määritetty jokin verran nystyjäkälä (*Lecidea* spp.).

5.3 Runkojäkälien esiintyminen tunturikoivualoilla

Tunturikoivujen rungoilta listattiin seurattuun lajistoon kuuluvien jäkälien esiintyminen eri korkeusvyöhykkeiltä (taulukot 5.3.1 ja 5.3.2). Lupot tosin on pyritty, erityisesti vuonna 1997, määrittämään mahdollisimman tarkkaan lajilleen. Frekvenssiltään runsain laji tunturikoivualoilla on koivunruskokarve (*Melanelia olivacea*). Sitä esiintyy säännöllisesti kaikilla puilla ja kaikilla korkeuksilla. Muita yleisiä lajeja ovat lopot, erityisesti lapinluppo (*Bryoria simplicior*) sekä keltatyvikarve (*Parmeliopsis ambigua*). Lisäksi tavataan sormipaisukarvetta, ja erityisesti alalla EP2 myös raidanisokarvetta (*Parmelia sulcata*), mutta niiden esiintyminen on vähäisempää. Ala EP2 on alaa EP4 monilajisempi ja runsasluppoisempi. Lajimäärät ja esiintymisfrekvenssit ovat suurimmat rungon alaosissa. Rupimaisista jäkälistä tunturikoivujen rungoilta määritettiin vuonna 1997 nystyjäkälä (*Lecidea* spp.) ja kehräjäkälä (*Lecanora* spp.).

Taulukko 5.3.1. Lajien suhteellinen frekvenssi (%) tunturikoivun eri korkeusvyöhykkeillä (1=50-100 cm, 2=100-150 cm, 3=150-200 cm, 4=200-250cm) sekä koko rungolla (K=50-250 cm) Vuoskojärven epifyttialalla EP2 vuosina 1991 (n=19), 1994 (n=20) ja 1997 (n=20).

	1991					1994					1997				
	1	2	3	4	K	1	2	3	4	K	1	2	3	4	K
<i>Bryoria fuscescens</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	5
<i>Bryoria simplicior</i>	-	-	-	-	-	5	-	-	-	5	80	75	70	55	85
<i>Bryoria</i> spp.	74	53	53	53	79	70	60	40	40	80	-	15	-	10	20
<i>Hypogymnia physodes</i>	5	11	5	5	21	20	20	5	5	40	30	30	25	25	60
<i>Imshaugia aleurites</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	10	5	10
<i>Melanelia olivacea</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	95	100	100	100	100	100	100
<i>Parmelia sulcata</i>	5	5	16	11	32	15	15	10	-	30	30	35	30	50	85
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	37	26	16	21	58	35	20	15	10	35	60	55	30	40	95
<i>Parmeliopsis hyperopta</i>	11	-	5	5	21	-	5	-	-	5	5	5	-	-	10
<i>Vulpicida pinastri</i>	-	5	5	-	11	-	5	5	-	10	-	5	10	-	15

Taulukko 5.3.2. Lajien suhteellinen frekvenssi (%) tunturikoivun eri korkeusvyöhykkeillä (1=50-100 cm, 2=100-150 cm, 3=150-200 cm, 4=200-250cm) sekä koko rungolla (K=50-250 cm) Vuoskojärven epifyttialalla EP4 vuosina 1991 (n=19), 1994 (n=20) ja 1997 (n=20).

	1991					1994					1997				
	1	2	3	4	K	1	2	3	4	K	1	2	3	4	K
<i>Bryoria fuscescens</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	5
<i>Bryoria simplicior</i>	5	-	-	-	5	-	-	-	-	-	30	20	15	-	35
<i>Bryoria</i> spp.	37	26	16	15	42	40	15	10	-	45	25	20	10	-	40
<i>Hypogymnia physodes</i>	16	11	5	-	21	30	5	-	-	30	15	20	-	-	30
<i>Melanelia olivacea</i>	100	100	100	95	100	100	100	95	90	100	100	100	100	90	100
<i>Parmelia sulcata</i>	-	-	-	-	-	-	5	-	-	5	10	5	-	-	15
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	32	11	11	-	32	40	10	15	-	45	70	35	15	10	85
<i>Parmeliopsis hyperopta</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	5

5.4 Ilmansaasteindeksit mäntyaloilla

Kuten edellä on todettu (ks. luku 4.6), eri indeksit painottavat lajien herkkyyden ohella hieman eri asioita. MS-indeksi huomioi ainoastaan lajin esiintymisen. WS-indeksi ottaa huomioon lajin suhteellisen peittävyuden, PSI lajin todellisen peittävyuden puun rungolla.

Tarkasteltaessa jäkälien kokonaispeittävyuden sekä eri indeksien antamien tulosten keskinäisiä suhteita koko aineistossa (kaikki vuodet, kaikki epifyyttialat) saadaan tulokseksi, että PSI:n arvoilla ja jäkälien kokonaispeittävyydellä on tilastollisesti erittäin merkitsevä positiivinen korrelaatio (Spearmanin järjestyskorrelaatio, $r=0,971$, $p<0.001$), mutta jäkälien kokonaispeittävyys ei korreloi tilastollisesti merkitsevästi WS- ja MS-indeksien arvojen kanssa. Sen sijaan WS- ja MS-indeksien arvoilla on koko aineistossa erittäin merkitsevä positiivinen korrelaatio ($r=0,685$, $p<0.001$).

5.4.1 PSI -indeksi

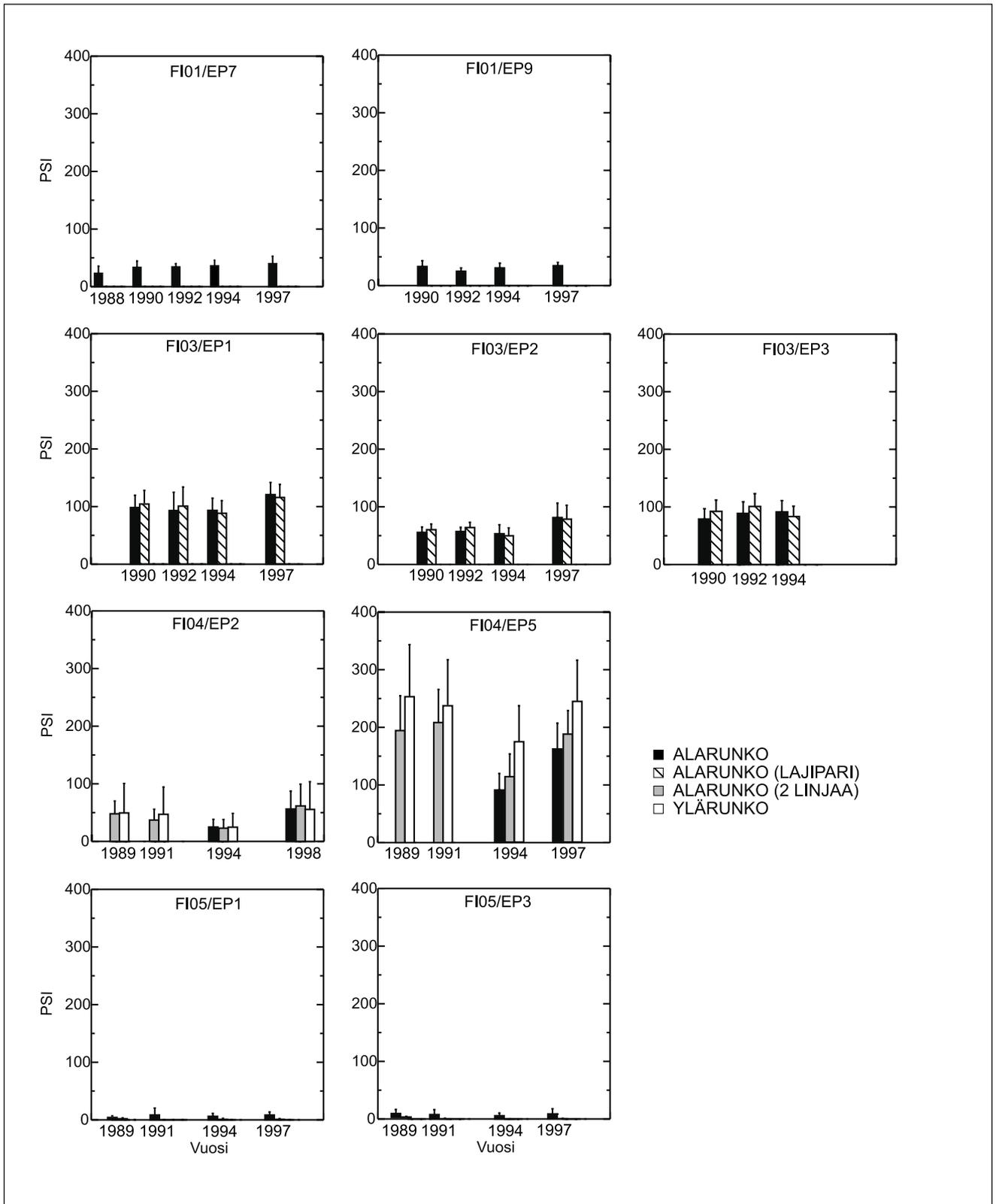
Valkea-Kotisella PSI:n arvot ovat pienehköjä (< 50) ja molemmilla epifyyttialoilla samaa suuruusluokkaa (kuva 5.4.1.1., liite 3). Alalla EP7 indeksin arvoilla on seurantajaksolla lievästi nouseva suuntaus. Ajanjaksolla 1990-1997, jolloin näytepuut ovat olleet samat, ei tilastollista eroa ole, mutta kuten kokonaispeittävyystuloksissakin (luku 5.2.1), juuri vuosi 1988 näyttää poikkeavan eniten muista vuosista. Alalla EP9 indeksin arvo vaihtelee hieman eri vuosina ilman selvää trendiä ($p=0.005$, $n=8$).

Erikseen selvitettiin, kuinka suuren osan indeksin arvosta eri epifyyttilajit muodostavat. Epifyyttialalla EP7 indeksin arvoon vaikuttaa eniten sormipaisukarve. Sen herkkyyсарvo on vain 2 (saasteita kestävä), mutta sen peittävyys verrattuna muihin lajeihin on suuri (taulukko 5.2.1.1). Toiseksi eniten indeksin arvoon vaikuttaa harmaaröyhelö. Alalla EP9 indeksin arvoon vaikuttaa sormipaisukarpeen ohella myös keltatyvikarve (herkkyyсарvo 2).

Hietajärvellä PSI-indeksin arvot ovat kaikilla aloilla korkeammat kuin *Valkea-Kotisella* (kuva 5.4.1.1). Vuosien välinen vaihtelu on yleensä varsin pientä, eikä ajallista trendiä voida seurantajakson aikana havaita. Vuoden 1997 arvot ovat kuitenkin aloilla EP1 ja EP2 muita vuosia korkeampia. Aloilla EP1 ja EP2 vuosien välinen vaihtelu on tilastollisesti merkitsevää (EP1 alkuperäisillä tuloksilla, $p=0.018$ ja lajiparituloksilla, $p=0.003$, EP2 vastaavasti $p=0.007$ ja $p=0.003$, $n=8$). Indeksien arvon laskeminen käyttäen harmaatyvikarvetta ja tuhkarvetta lajiparina näyttäisi vaikuttavan saatuihin tuloksiin suhteellisen vähän. Kuitenkin erot alkuperäisellä aineistolla laskettuihin tuloksiin verrattuna ovat tilastollisesti merkitseviä (kaikilla aloilla ja kaikkina vuosina $p<0.05$).

Hietajärvellä useat lajit vaikuttavat suhteellisen tasaisesti indeksin arvon muodostumiseen. Arvo koostuu mm. suhteellisen suurilla peittävyyksillä esiintyvistä ja saasteenkestävistä keltatyvikarpeesta ja sormipaisukarpeesta, sekä edellisiä pienemmillä peittävyyksillä esiintyvistä, mutta saasteille herkemmistä lupoisista (herkkyyсарvo 6). Myös harmaatyvikarve ja tuhkarve vaikuttavat indeksin arvon muodostumiseen.

Pesosjärven epifyyttialoilla PSI-indeksien arvot eroavat selvästi toisistaan. Pesosjärven alalla EP5 PSI-arvo on YYS-epifyyttialoista korkein, mutta alan EP2 tulos jää esim. Hietajärven alojen indeksiarvoja alhaisemmaksi. Vuonna 1989 mitatuilla aloilla EP3 ja EP4 indeksien arvot ovat selvästi korkeammat kuin alalla EP2, mutta jäävät jossain määrin alhaisemmiksi kuin alalla EP5. Erityisen korkeat indeksien arvot, 220-250, saadaan ylärungoille.



Kuva 5.4.1.1. PSI-indeksin arvot Valkea-Kotisen (FI01), Hietajärven (FI03), Pesosjärven (FI04) ja Vuoskojärven (FI05) epifyyttialoilla eri seurantavuosina alarungolla (linjat 60, 90, 120 ja 150 cm, Pesosjärvellä erikseen kahdella linjalla 120 ja 150 cm) ja ylärungolla (linjat 250 ja 280 cm, poikkeuksena Vuoskojärvellä 1989 ja 1991 linja 220 cm). Hietajärvellä alarunko (lajipari) = *Parmeliopsis hyperopta* ja *Imshaugia aleurites* lajiparina.

Pesosjärvellä PSI-indeksin arvoissa on suuret vuosiväliset erot (kahden alalinjan tuloksissa alalla EP2 $p < 0.001$ ja ylälinjatuloksissa $p = 0.003$; $n = 8$; alalla EP5 puunvaihdot alkuvuosina haittaavat testaamista, mutta alarunkotuloksissa 1991-1997 $p = 0.018$ ja ylärunkotuloksissa $p = 0.004$, $n = 7$). Vuoden 1994 alhaiset arvot korostuvat selvästi molemmilla aloilla, mutta erityisesti alalla EP5. PSI-indeksi on herkkä peittävyiden muutoksille ja tulos selittyykin jäkälien, ja erityisesti luppojen selvästi alhaisemmilla peittävyyksillä vuonna 1994 (kuva 5.2.1.1). Peittävyiden vaikutus näkyy voimakkaammin alalla EP5, koska siellä PSI-indeksin arvoon vaikuttavat pääsääntöisesti lupot. Alalla EP2 luppojen ohella arvoon vaikuttavat merkittävästi myös muut lajit, erityisesti tuhkararve ja keltatyvikarve.

Alalla EP2 kahden alalinjan (120 ja 150 cm) perusteella lasketut indeksin arvot eivät juurikaan poikkea neljän linjan (edellisten ohella myös 60 ja 90 cm) arvoista. Sen sijaan alalla EP5 linjamäärä vaikuttaa tulokseen ja kahdelta linjalta laskettu indeksin arvo on suurempi kuin kaikkien neljän alalinjan perusteella laskettu indeksin arvo ($p = 0.012$ molempina vuosina, $n = 8$). Tämä selittyy sillä, että luppojen runsaus kasvaa puun rungolla ylöspäin mentäessä.

Alalla EP2 indeksin arvot ala- ja ylärungoilla eivät juurikaan poikkea toisistaan. Sen sijaan alalla EP5 erot (ks. myös alat EP3 ja EP4, liite 1) ovat selvät ja selittyvät myös ilmansaasteille herkkien luppojen suuremmalla peittävyydellä ylälinjoilla. Ero on tilastollisesti merkitsevä ($p < 0.05$, $n = 8$) tai lähes merkitsevä ($p = 0.05$, $n = 8$) ylä- ja alalinjatulosten välillä (sekä kahden että neljän alalinjan perusteella lasketuilla tuloksilla) kuitenkin vain vuosina 1994 ja 1997.

Koska Vuoskojärven epifyyttialoilla jäkälä esiintyy hyvin vähän, jäävät indeksin arvot kaikkina vuosina erittäin pieniksi (kuva 5.4.1.1, liite 3). Erityisen alhaisiksi arvot jäävät lähes jäkälättömillä ylärungoilla.

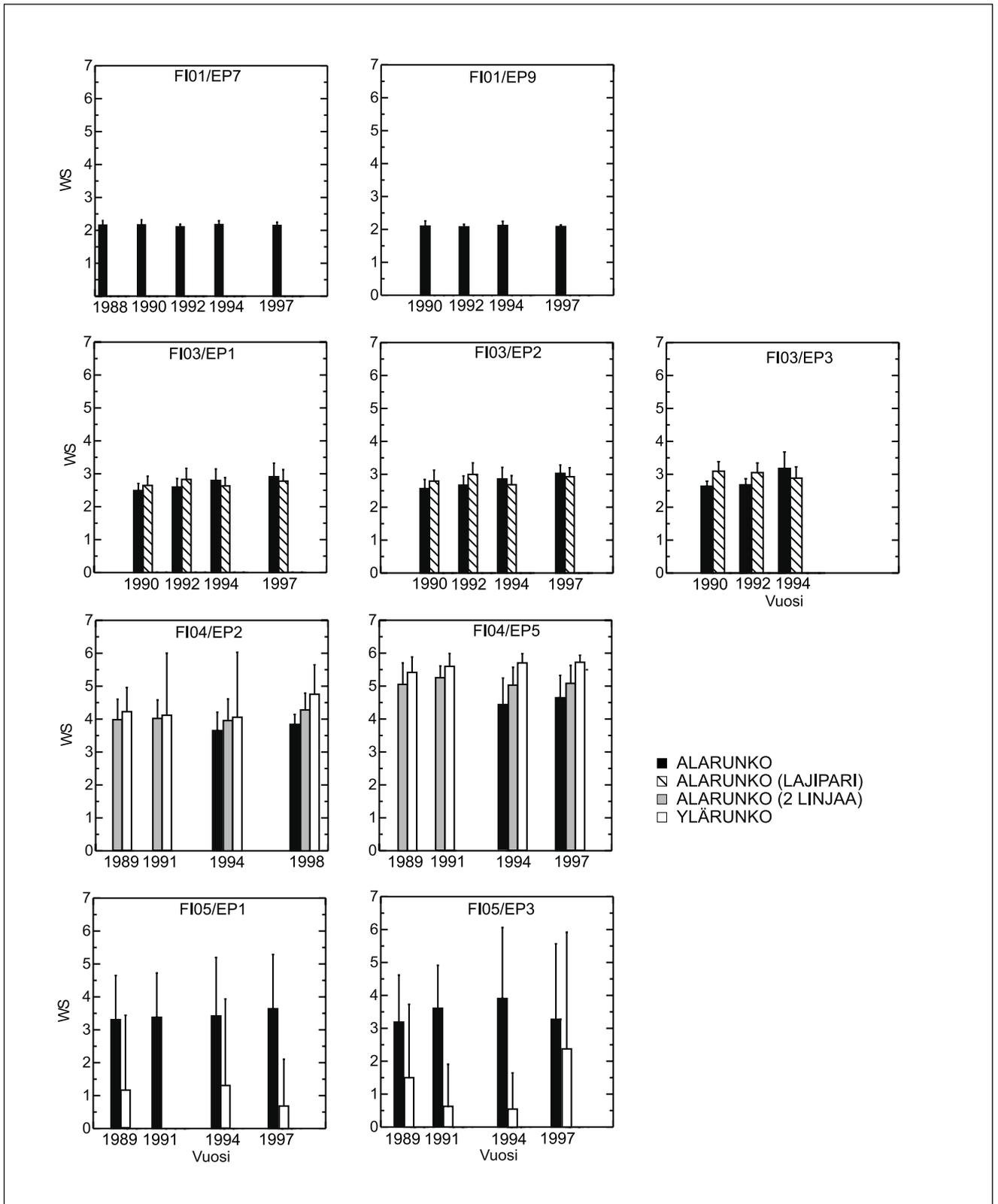
Kaikista YYS-alueista korkeimmat PSI:n arvot ovat Pesosjärvellä, jossa ilmaansaasteille herkkien naavamaisen jäkälän peittävydet ovat suuret sekä Hietajärvellä, jossa indeksin arvoon vaikuttavat tasaisemmin useammat lajit; kohtalaisen suurilla peittävyyksillä esiintyvät saasteille kestävätkä lajit (sormipaisukarve, keltatyvikarve) ja useat kohtalaisilla peittävyyksillä esiintyvät saasteille herkemmät lajit.

5.4.2 WS-indeksi

Koska WS-indeksi ottaa lajien herkkyysarvojen lisäksi huomioon lajien peittävyiden suhteessa seurattujen lajien kokonaispeittävyteen, tasoittaa se jäkälän kokonaispeittävydestä aiheutuvia eroja eri alueiden, epifyyttialojen ja vuosien välillä. Erityisesti tämä vaikuttaa Pesosjärven alojen keskinäiseen tilanteeseen ja Vuoskojärven tuloksiin (kuva 5.4.2.1, liite 4). WS-indeksi saa korkeimmat arvot Pesosjärven molemmilla aloilla ja matalimmat arvot Valkea-Kotisella.

WS-indeksin arvot eivät eroa *Valkea-Kotisen* epifyyttialoilla toisistaan, vaan molemmilla aloilla arvo on noin kaksi. Ajallista trendiä ei kummallakaan alalla ole havaittavissa. Molemmilla aloilla indeksin arvoon vaikuttaa eniten sormipaisukarve.

WS-indeksi saa hyvin samankaltaisia arvoja *Hietajärven* kaikilla epifyyttialoilla (noin 2.5-3), eikä myöskään siellä vuosien välillä ole suurta vaihtelua. Lievä nouseva trendi alkuperäisen aineiston perusteella lasketuissa arvoissa (EP1 ja EP2, $p = 0.001$, EP3 $p = 0.03$, $n = 8$), johtuu harmaatyvikarpeen ja tuhkararpeen runsaus-suhteiden muuttumisesta vuodesta 1992 vuoteen 1994 (ks. luku 5.2). Vaikka ero alkuperäisillä tuloksilla ja lajiparilla laskettujen tulosten välillä on pieni, on se kuitenkin poikkeuksetta kaikkina vuosina tilastollisesti merkitsevä ($p = 0.012$, paitsi



Kuva 5.4.2.1. WS-indeksin arvot Valkea-Kotisen (FI01), Hietajärven (FI03), Pesosjärven (FI04) ja Vuoskojärven (FI05) epifyyttialoilla eri seurantavuosina alarungolla (linjat 60, 90, 120 ja 150 cm, Pesosjärvellä erikseen kahdella linjalla 120 ja 150 cm) ja ylärungolla (linjat 250 ja 280 cm, poikkeuksena Vuoskojärvellä 1989 ja 1991 linja 220 cm). Hietajärvellä alarunko (lajipari) = *Parmeliopsis hyperopta* ja *Imshaugia aleurites* lajiparina.

alalla EP2 1995 $p=0.017$, $n=8$). Hietajärvellä indeksin arvon muodostumiseen vaikuttavat varsin tasaisesti monet lajit, mutta eniten sormipaisukarve, lupot, keltatyvikarve ja harmaatyvikarve/tuhkakarve.

Pesojärvellä WS-indeksin arvot ovat korkeat (vaihtelevat noin 4-6) ja korkein arvo on alalla EP5. Indeksien arvoon merkittävimmin, ja alalla EP5 lähes yksinomaan vaikuttaa luppen esiintyminen. Alalla EP2 indeksin muodostumiseen vaikuttaa merkittävästi myös tuhkarve ja jossain määrin keltatyvikarve. Vuonna 1989 mitattujen alojen EP3 ja EP4 indeksien arvot ovat korkeat erityisesti ylärungoilla. Alan EP4 WS-indeksin arvot (alarungoilla 5,6 ja ylärungoilla 6,0; liite 1) ovat jopa korkeammat kuin alalla EP5.

WS-indeksien arvoissa ei Pesojärvellä esiinny juurikaan ajallista vaihtelua verrattuna esim. PSI-indeksiin (luku 5.4.1), eli tällä indeksillä tarkasteltuna jäkälien alhaiset peittävyudet vuonna 1994 eivät näy tuloksissa. Tämä johtuu siitä, että lajien suhteelliset osuudet kokonaispeittävyyksistä ovat kaikkina seurantavuosina olleet samankaltaiset.

Kahden alalinjan perusteella lasketut indeksien arvot ovat hieman suurempia kuin neljän linjan perusteella lasketut arvot (EP2 1994, $p=0.05$ ja 1997, $p=0.012$; EP5 $p=0.02$ molempina vuosina, $n=8$). Tämä johtuu siitä, että ylempillä linjoilla luppen suhteellinen peittävyys on suurempi kuin alemmilla, kun esim. sormipaisukarpeen ja keltatyvikarpeen osalta tilanne on päinvastainen (ks. taulukot 5.2.1.6-5.2.1.9). Tästä johtuu myös, että ylärungoilla indeksien arvot ovat jossain määrin suuremmat kuin alarungoilla (ks. myös alojen EP3 ja EP4 tulokset, liite 1). Erot ylä- ja alalinjojen arvoissa ovat alalla EP5 tilastollisesti merkitseviä ($p<0.05$ kaikkina vuosina, $n=8$), alalla EP2 vain neljän alalinjan ja ylärungon arvot vuodelta 1998 eroavat tilastollisesti ($p=0.025$, $n=8$).

WS-indeksi saa Vuoskojärvellä alarungoilla varsin korkeita arvoja ($n=3-4$), vaikka jäkälien peittävyudet ovat erittäin pienet. Tämä johtuu siitä, että Vuoskojärvellä herkkien luppolaajien ja tuhkarpeen suhteellinen osuus jäkälien peittävyydestä on suuri. Koska jäkäliä esiintyy hyvin vähän, on sattuman vaikutus tuloksiin suuri. Puukohtaisissa tuloksissa onkin suurta vaihtelua.

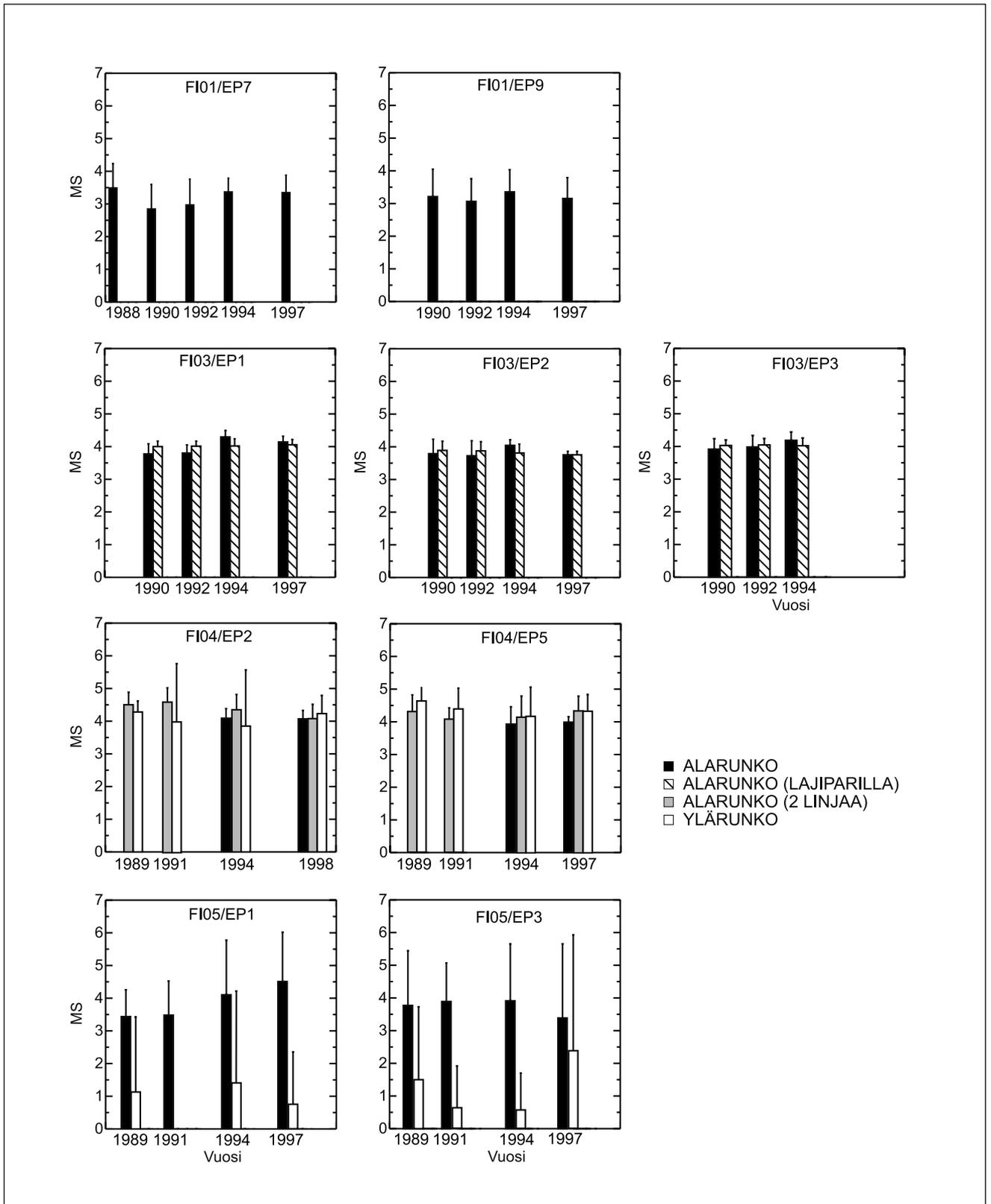
5.4.3 MS-indeksi

Koska MS-indeksi ottaa huomioon vain lajiston, eikä lajien runsaussuhteita, vaikuttaa indeksin arvoon eniten herkkien lajien osuus kokonaislajimäärästä. Myös hyvinkin pienillä peittävyyksillä esiintyvät lajit vaikuttavat indeksin arvoon siinä missä runsaatkin lajit ja sitä enemmän, mitä säännöllisemmin ne näytepuilla esiintyvät.

MS-indeksien arvot ovat korkeimmat Pesojärvellä ja Hietajärvellä (kuva 5.4.3.1, liite 5). Myös Vuoskojärvellä arvot ovat samaa tasoa kuin Hietajärvellä. Alhaisimman indeksin arvon saa Valkea-Kotinen. Alueiden välillä ei kuitenkaan ole kovin suuria eroja. Myöskään MS-indeksi ei osoita YYS-alueilla yksiselitteistä nousevaa tai laskevaa trendiä.

Valkea-Kotisen aloilla MS-indeksien arvo on noin kolme. Vuosien välillä on jossain määrin vaihtelua, mutta se ei ole tilastollisesti merkitsevää. Indeksien arvon muodostumiseen vaikuttaa suhteellisen tasaisesti monet lajit, tosin alalla EP7 harmaaröyhelön ja alalla EP9 tuhkarpeen merkitys on hieman muita lajeja suurempi indeksin muodostumisessa.

Hietajärvellä indeksien arvo on keskimäärin neljä. Verrattuna Valkea-Kotiseen herkkiä lajeja esiintyy näytepuilla säännöllisemmin (lupot, naavat, tuhkarve). Indeksien arvoon vaikuttavat monet lajit, mutta hieman muita lajeja enemmän lupot ja harmaatyvikarve/tuhkarve. Vuosien välinen vaihtelu on hyvin pientä. Lajiparilla lasketuissa arvoissa ei ole tilastollista eroa vuosien välillä, alkuperäisillä-



Kuva 5.4.3.1. MS-indeksin arvot Valkea-Kotisen (FI01), Hietajärven (FI03), Pesosjärven (FI04) ja Vuoskojärven (FI05) epifyyttialoilla eri seurantavuosina alarungolla (linjat 60, 90, 120 ja 150 cm, Pesosjärvellä erikseen kahdella linjalla 120 ja 150 cm) ja ylärungolla (linjat 250 ja 280 cm, poikkeuksena Vuoskojärvellä 1989 ja 1991 linja 220 cm). Hietajärvellä alarunko (lajipari) = *Parmeliopsis hyperopta* ja *Imshaugia aleurites* lajiparina.

kin arvoilla vain alalla EP1 ($p=0.001$, $n=8$). Alkuperäisillä ja lajiparilla lasketuilla tuloksilla on vain pieni ero, joka useimmissa tapauksissa ei ole tilastollisesti merkitsevä (poikkeukset: EP1 1990, $p=0.042$, 1992 $p=0.036$, 1994 $p=0.027$ ja EP2 1994, $p=0.038$, $n=8$).

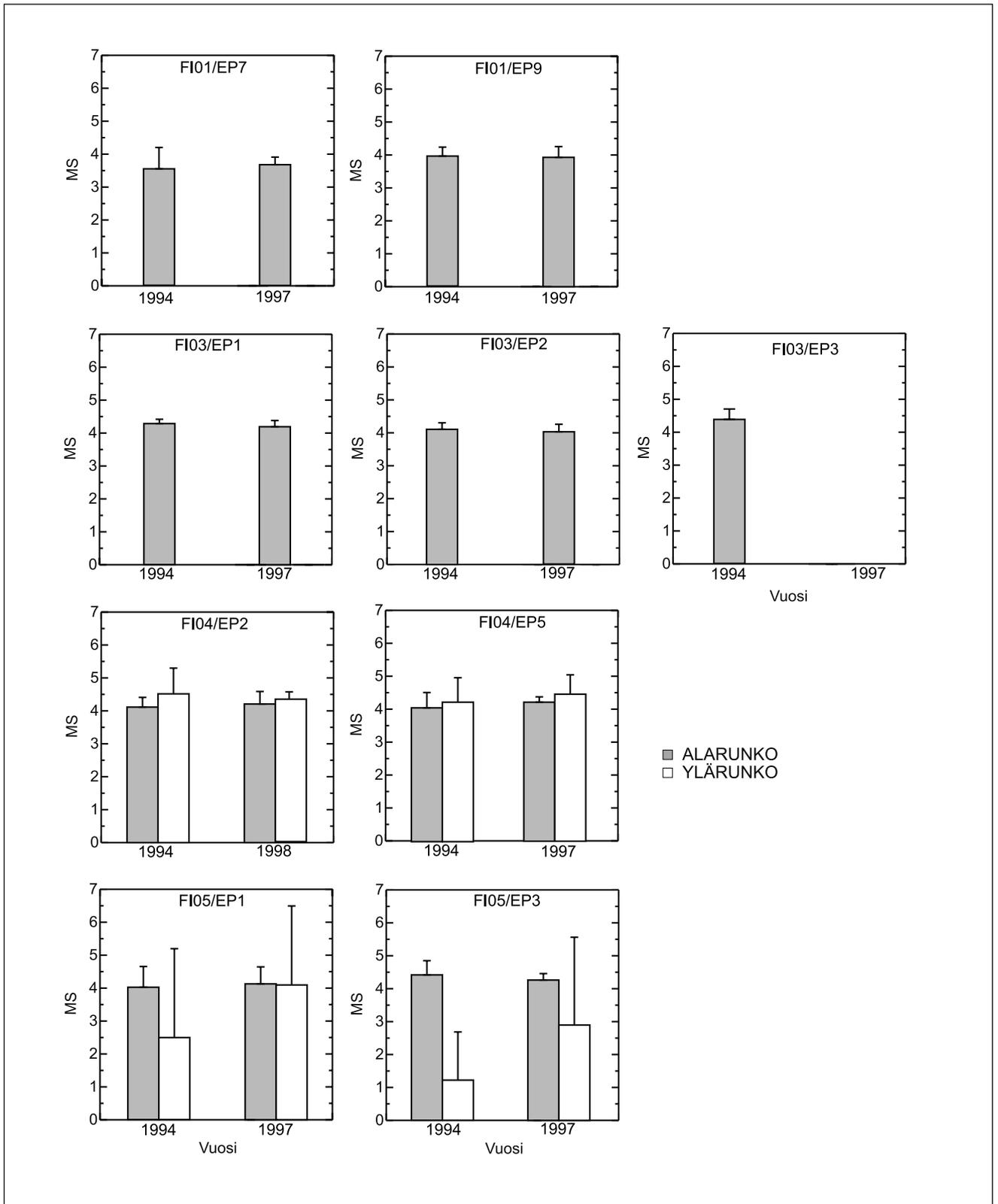
Pesosjärvellä MS-indeksin arvot ovat molemmilla epifyyttialoilla hyvin samansuuruisia ja ne ovat hieman Hietajärven arvoja korkeampia, keskimäärin neljä. Myös aloilta EP3 ja EP4 vuonna 1989 lasketut MS-indeksin arvot ovat samaa suuruusluokkaa, alalla EP4 jopa alan EP5 arvoja korkeampia (alarungolla 4,9 ja ylärungolla 5,3; liite 1). Pesosjärvellä indeksin arvoa nostaa erityisesti ilmansaasteille herkkien luppojen ja tuhkarpeen esiintyminen. Yksiselitteistä nousevaa tai laskevaa trendiä ei Pesosjärvekään tuloksissa ole havaittavissa. Alalla EP2 vuosien välillä on tilastollista eroa kahden linjan alarunkotuloksissa ($p=0.017$, $n=8$). Sen sijaan ylärunkojen indeksien arvot eivät eroa tilastollisesti merkitsevästi toisistaan eri vuosina. Alalla EP5 eroja on puunvaihtojen takia vaikea tilastollisesti todentaa.

Alalla EP5 MS-indeksin arvot ovat ylälinjoilla hieman korkeampia kuin alalinjoilla (ks. myös alojen EP3 ja EP4 tulokset, liite 1), kun taas alalla EP2 tilanne on päinvastainen. Erot ylä- ja alarungon välillä ovat kuitenkin pienet, eivätkä tilastollisesti merkitseviä. Myöskin erot kahdella ja neljällä linjalla lasketuissa tuloksissa ovat varsin pienet, eivätkä tilastollisesti merkitseviä.

Vuoskojärven molempien epifyyttialojen indeksien arvot alarungoilla asettuvat lähes samalle tasolle kuin indeksin arvot Hietajärvellä. Vuoskojärven vähäisessä lajistossa korostuu herkkien lajien osuus (lupot, tuhkarve, koivunrusko-karve). Vuoskojärvellä vuosien väliset vaihtelut MS-indeksin arvoissa ovat suuremmat kuin muilla alueilla ja myös puukohtainen vaihtelu on muita alueita suurempaa.

5.4.4 MS-indeksi koko rungon lajistolla

MS-indeksin arvo on mahdollista laskea myös käyttäen koko rungon lajistoa, eli myös linjojen väleiltä tavatut seurattavaan lajijoukkoon kuuluvat lajit otetaan huomioon. Näin saaduissa indeksin arvoissa (kuva 5.4.4.1) alueiden ja vuosien väliset erot häviävät lähes kokonaan.

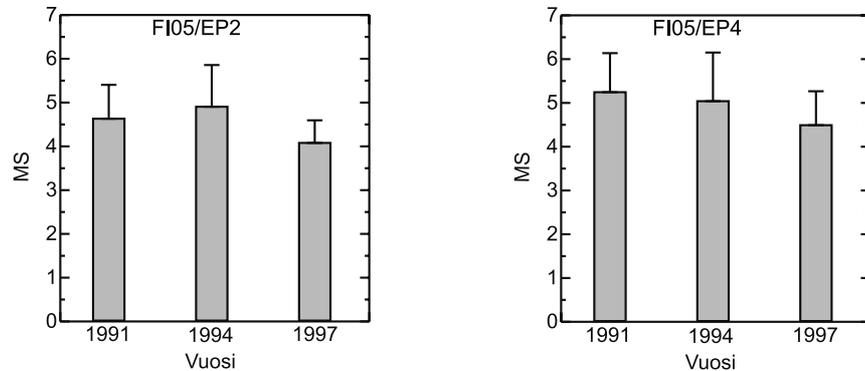


Kuva 5.4.4.1. Mäntynäytepuiden koko rungon (alarunko 50-200 cm) MS-indeksin arvot Valkea-Kotisen (FI01), Hietajärven (FI03), Pesosjärven (FI04) ja Vuoskojärven (FI05) epifyyttialoilla. Pesosjärvellä ja Vuoskojärvellä erikseen myös MS-indeksin arvot ylärungolla (200-300 cm).

5.5 MS-indeksi tunturikoivualoilla

Vuoskojärven tunturikoivualoille on laskettu MS-indeksin arvot käyttäen lähtöaineistona koko rungon lajistoa (taulukot 5.3.1 ja 5.3.2, kuva 5.5.1, liite 6). PSI- ja WS-indeksejä ei tunturikoivualoille ole laskettu, koska tunturikoivunäytepuilta ei ole käytettävissä lajien peittävyystietoa. Epifyyttialakohtainen MS-arvo on saatu puukohtaisten arvojen (n=20, 1991 n=19) keskiarvona.

Tunturikoivualojen indeksi-arvot ovat varsin korkeat (4-5) ja samaa suuruusluokkaa tai hieman korkeammat, kuin mäntyalojen vastaavat koko alarunгон lajistolla lasketut indeksi-arvot. Indeksien arvoon muodostumiseen vaikuttavat erityisesti herkkien luppojen ja koivunruskokarpeen (herkkyysarvo molemmilla 6) säännöllinen esiintyminen näytepuilla (ks. taulukot 5.3.1 ja 5.3.2). Vuosien välillä on jossain määrin eroja ja alalla EP4 on tuloksissa laskeva suuntaus. Sen sijaan alalla EP2 suuntausta ei voida havaita. Molemmilla aloilla vuosien välinen vaihtelu on tilastollisesti merkitsevä (EP2, p=0.006, n=18; EP4, p=0.003, n=19).



Kuva 5.5.1. MS-indeksin arvot Vuoskojärven (FI05) tunturikoivuepifyyttialoilla eri seuranta-vuosina.

5.6 Jäkälien vauriot

Sormipaisukarpeen vaurioastetta ja jäkälien yleistä vaurioastetta arvioitiin Suomen Standardisoimisliiton arviointiohjeen mukaisesti (Suomen Standardisoimisliitto 1990). Standardi on alunperin tarkoitettu ilmansuojelun selvityksiin ja seurantaan erityisesti taajamissa ja teollisuuslaitosten ympäristössä ja tausta-alueille soveltaminen oli jossain määrin hankalaa.

Vuoskojärvellä sormipaisukarvetta esiintyy hyvin vähän ja joskus se puuttuu tutkimusrungoilta kokonaan. Koska Vuoskojärvellä on oletettavaa, että jäkälien vähäisyys tai puuttuminen sekä sekovarren kitukasvuisuus johtuu ainakin pääosin luontaisista tekijöistä, ei standardia katsottu voitavan soveltaa alueelle.

Valkea-Kotisen molemmilla aloilla on todettu sormipaisukarpeessa seuranta-kaudella yleensä lieviä vaurioita (vaurioluokka II: lievää sekovarsien kasvun tyrehtymistä, mikä näkyy liuskoittuneisuuden lievänä loivenemisena sekä sekovarren vihertymistä). Sormipaisukarpeen lievien vaurioiden sekä naavamaisten jäkälien vähyyden ja kitukasvuisuuden takia jäkälien yleisvaurioasteeksi saadaan III (selvä vaurio). Vuonna 1994 epifyyttialalla EP7 yleisin puukohtainen sormipaisukarpeen vaurioluokka oli I (normaali) ja jäkälien yleinen vaurioaste II (lievät vauriot).

Hietajärvellä sormipaisukarpeen kunto on arvioitu kaikkina seurantavuosina normaaliksi (I). Myös järkien yleinen vaurioaste on yleensä arvioitu luokkaan I (normaali), ainoastaan vuonna 1990 yleiseksi vaurioasteeksi on annettu II aloilla EP1 ja EP2. Tämä johtunee siitä, että Hietajärvellä, kuten muillakin yksittäisillä tausta-alueilla järki-standardin soveltamisessa nousee ongelmaksi, milloin esim. naavamaisten järkien esiintymisrunsaus ja kasvutapa tulkitaan 'luonnontilaisiksi'.

Pesosjärvellä sormipaisukarpeessa ei ole todettu ilmansaasteiden aiheuttamia vaurioita ja myös järkien yleinen vaurioaste on arvioitu aina luokkaan I (normaali).

5.7 Ilmansaasteindeksit suhteessa sadeveden kemiaan

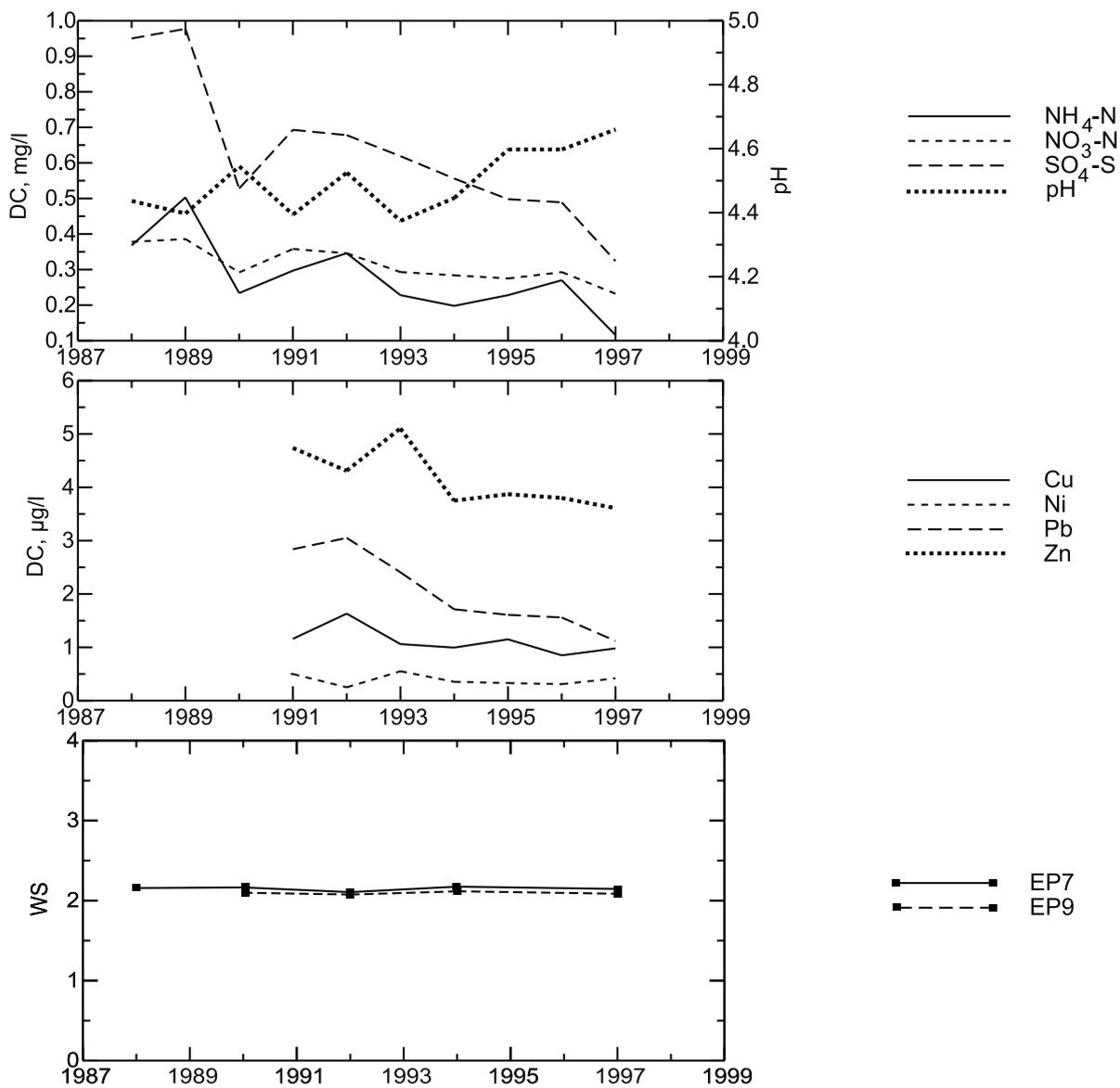
Tässä luvussa tarkastellaan YYS-alueiden epifyyttialoilta saatuja ilmansaasteindeksien arvoja suhteessa Ilmatieteen laitoksen YYS-alueilta mittaamiin sadeveden rikki-, typpi- ja raskasmetallipitoisuuksiin ja laskeumaan. Näitä tarkastellaan lähinnä suhteessa WS-indeksiin, koska se on MS-indeksiä herkempi, mutta toisaalta verrattuna PSI-indeksiin tasoittaa luontaisten kasvupaikkatekijöiden ja seurantaan liittyvien subjektiivisten tekijöiden vaikutusta. Runkoepifyyttien seuranta-kertoja on yleensä vain neljä (Valkea-Kotisen alalla EP7 5 ja Hietajärven alalla EP3 3 kertaa), joten seuranta-aineisto on vielä liian pieni pitkälle menevien johtopäätösten tekemiseen indeksien ja kemiallisten tausta-aineistojen välisistä suhteista, varsinkin kun luontaisilla ja mittauksiin liittyvillä satunnaistekijöillä on myös vaikutusta tuloksiin.

Seurantajakson aikana varsinkin sadeveden sulfaattipitoisuudet ja laskeuma ovat alentuneet kaikilla alueilla (kuvat 5.7.1-5.7.4, liite 7). Aleneminen on ollut voimakkainta eteläisillä seuranta-alueilla (ks. myös Ruoho-Airola ym. 1998). Myös typen yhdisteiden pitoisuudet ja laskeuma ovat alentuneet etenkin Valkea-Kotisella ja Hietajärvellä ja jossain määrin myös Pesosjärvellä. Typen yhdisteiden pitoisuuden ja laskeuman aleneminen on kuitenkin ollut sulfaatilla havaittua alenemista vähäisempää. Myös vetyionikonsentraatio (H^+) on merkittävästi laskenut kaikilla seuranta-alueilla (ks. Ruoho-Airola ym. 1998).

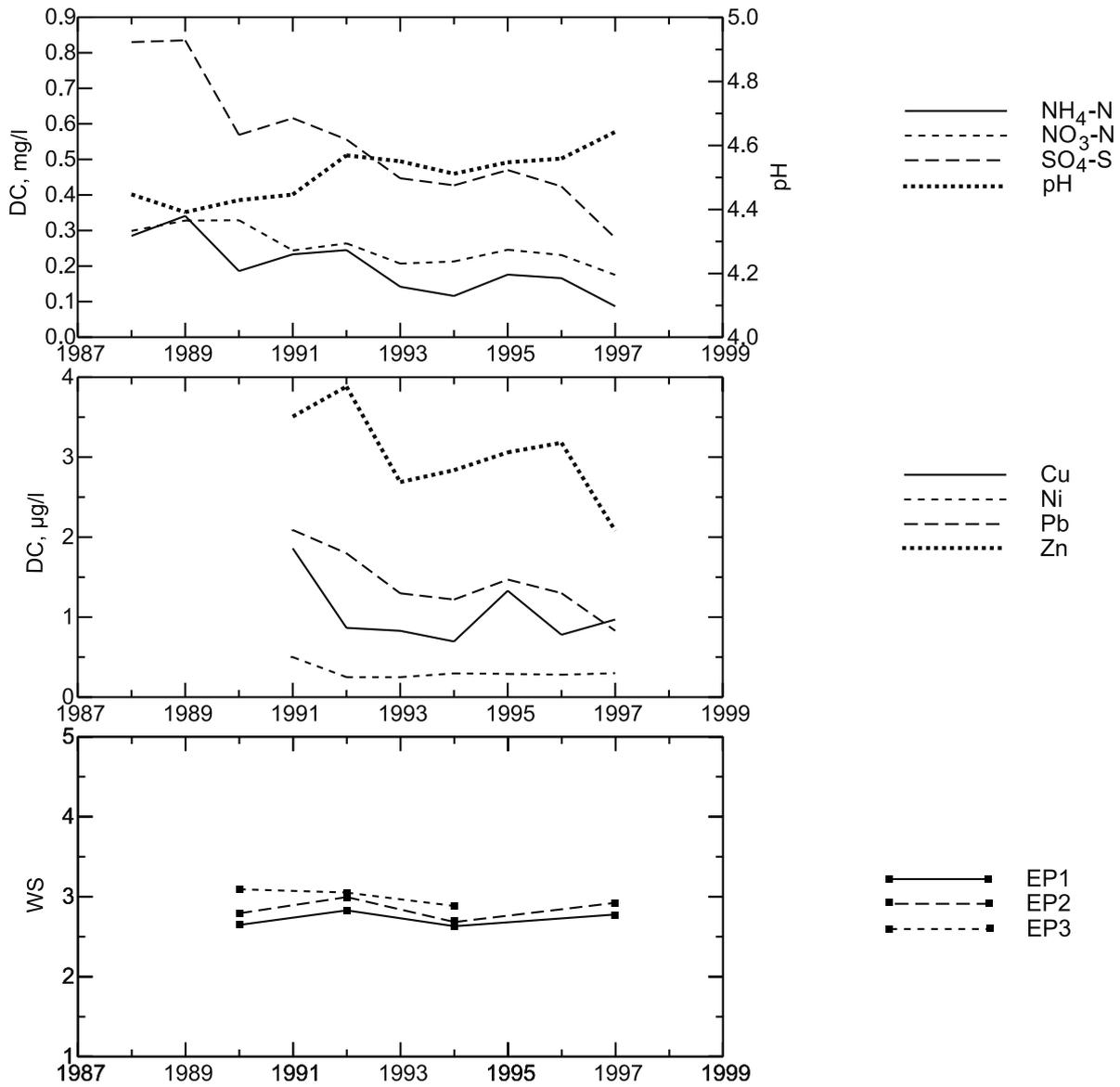
Valkea-Kotisella sadeveden sulfaattirikin sekä nitraatti- ja ammoniumtypen pitoisuuksien ja laskeuman aleneminen on ollut YYS-alueista voimakkainta (ks. kuva 5.7.1, liite 7). Ruoho-Airolan ym. (1998) mukaan Valkea-Kotisella kaikkien happamoittavien yhdisteiden pitoisuuksien, samoin kuin laskeumien aleneminen on ollut tilastollisesti merkitsevää ajanjaksolla 1988-1996 ja laskeva trendi on jatkunut sulfaatin, nitraatin ja ammoniumin osalta vuoden 1996 jälkeenkin (kuva 5.7.1). Raskasmetalleista ainakin lyijy- ja sinkkipitoisuudet ja laskeumat näyttävät laskeneen seurantajakson aikana. Tarkastellulla seurantajaksoilla WS-indeksin arvoissa ei trendiä esiinny.

Myöskään *Hietajärvellä* ei esiinny ajallista trendiä WS-indeksin arvoissa, vaikka myös siellä sadeveden sulfaatin, nitraatin ja ammoniumin pitoisuudet ja laskeuma ovat pienentyneet seurantajakson aikana (kuva 5.7.2, liite 7). Aleneminen on Hietajärvellä ollut jossain määrin pienempää kuin Valkea-Kotisella (ks. myös Ruoho-Airola ym. 1998). Vastaavasti vetyionikonsentraatio on merkittävästi alentunut ja sadeveden pH:ssa esiintyykin nouseva suuntaus (Ruoho-Airola ym. 1998). Hietajärvi on kauempana päästölähteistä kuin Valkea-Kotinen ja meteorologiset seikat vaikuttavat Ruoho-Airolan ym. (1998) mukaan enemmän ilmansaaste-pitoisuuksiin. Raskasmetalleista ainakin lyijyn ja sinkin pitoisuuksissa ja laskeumassa laskeva suuntaus on nähtävissä.

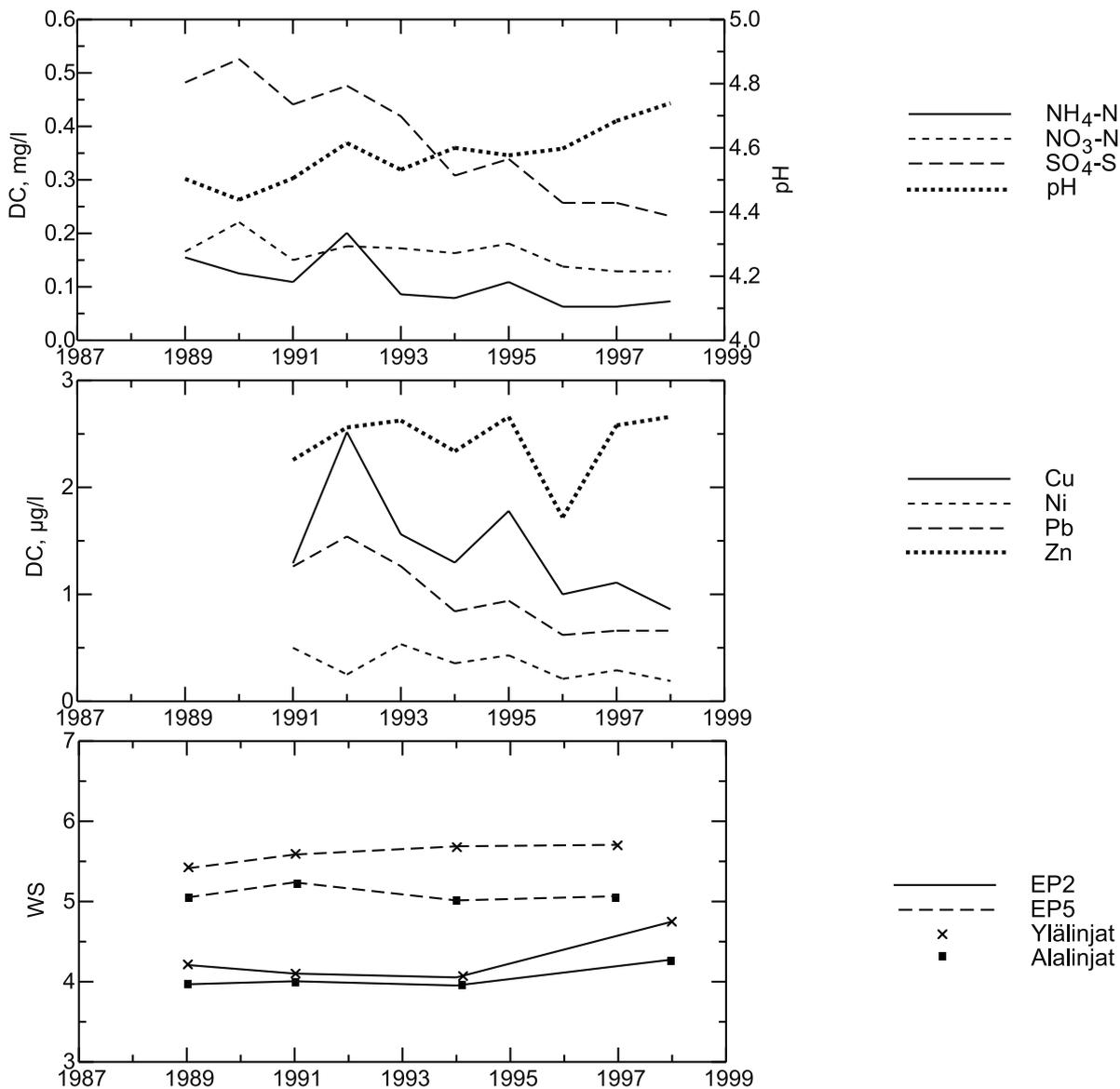
Pesosjärvellä havaitaan laskeva ajallinen trendi sulfaatin ja ammoniumin pitoisuuksissa (kuva 5.7.3, ks. myös Ruoho-Airola ym. 1998) ja laskeumassa (liite 7). Metalleista ainakin kuparin ja lyijyn pitoisuudet ovat laskussa. Myöskään Pesosjärvellä ei WS-indeksin arvoissa esiinny yksiselitteistä suuntausta.



Kuva 5.7.1 Sadeveden ammonium-, nitraatti- ja sulfaattipitoisuudet, pH ja eräiden raskasmetallien (Cu, Ni, Pb, Zn) pitoisuudet, sekä WS-indeksin arvot Valkea-Kotisen yhdenntetyn seurannan alueella.



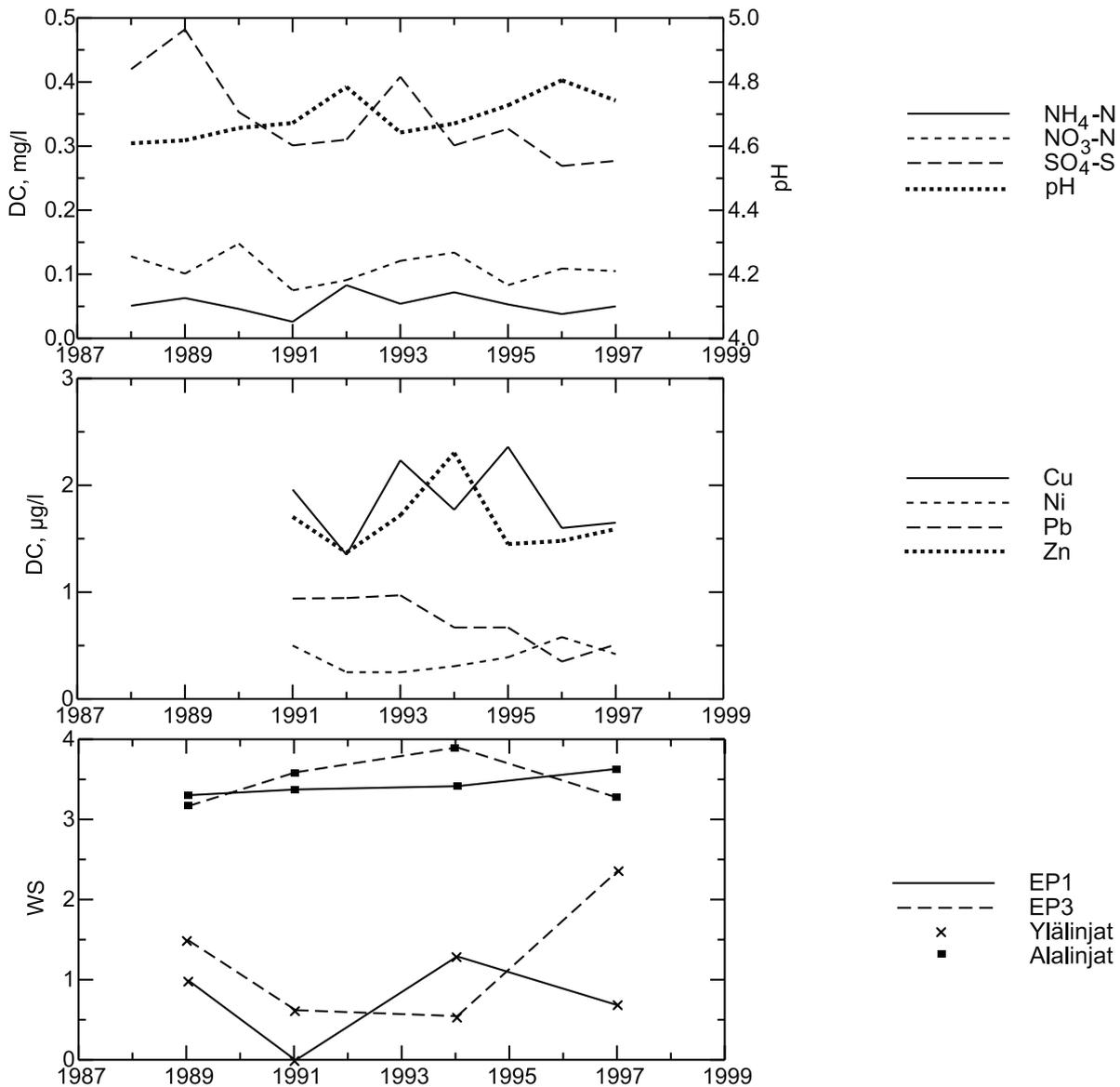
Kuva 5.7.2 Sadeveden ammonium-, nitraatti- ja sulfaattipitoisuudet, pH ja eräiden raskasmetallien (Cu, Ni, Pb, Zn) pitoisuudet, sekä WS-indeksin arvot Hietajärven yhdenntyn seurannan alueella (WS-indeksituloksissa *Parmeliopsis hyperopota* ja *Imshaugia aleurites* lajiparina).



Kuva 5.7.3 Sadeveden ammonium-, nitraatti- ja sulfaattipitoisuudet, pH ja eräiden raskasmetallien (Cu, Ni, Pb, Zn) pitoisuudet, sekä WS-indeksin arvot Pesosjärven yhdennetyn seurannan alueella (WS-indeksin alalinjatulokset kahdelta linjalta, 120 ja 150 cm).

Vuoskojärvellä vain sulfaattipitoisuudet ja laskeuma alenevat merkittävästi seurantaajaksolla (kuva 5.7.4, liite 7, ks. myös Ruoho-Airola ym. 1998). Aleneminen on vähäisempää kuin eteläisemmillä alueilla. Raskasmetalleista ainakin lyijyn pitoisuus sadevedessä ja lyijyn ja sinkin laskeuma näyttäisivät alentuneen. WS-indeksin arvoissa ei Vuoskojärvelläkään esiinny yksiselitteistä suuntausta. Jäkälien niukuuden takia sattumalla on tuloksissa suuri vaikutus, mikä näkyy suurina vaihteluilma indeksien arvoissa etenkin ylärungolla (ks. myös luku 5.4.2).

Tarkasteltaessa seurantakauden keskimääräisiä sadeveden ilmansaastepitoisuuksia ja laskeumaa eri seuranta-alueilla todetaan, että sulfaatti-, ammonium- ja nitraattipitoisuudet ja laskeuma alenevat kohti pohjoista ja pH nousee lievästi (taulukko 5.7.1). Raskasmetalleista lyijyn ja sinkin keskimääräiset sadeveden pitoisuudet ja laskeuma alenevat etelästä pohjoiseen (taulukko 5.7.2). Kuparin pitoisuus on pohjoisilla seuranta-alueilla korkeampi kuin eteläisillä alueilla ja laskeuma on suurin Pesosjärvellä. Vuoskojärvellä sadeveden mukana tullutta laskeumaa alen-



Kuva 5.7.4 Sadeveden ammonium-, nitraatti- ja sulfaattipitoisuudet, pH ja eräiden raskasmetallien (Cu, Ni, Pb, Zn) pitoisuudet, sekä WS-indeksin arvot Vuoskojärven yhdenntyn seurannan alueella.

taa muihin seuranta-alueisiin verrattuna alhainen sademäärä (kuva 3.2.2). Nikkelin pitoisuudet ovat korkeimmat Vuoskojärvellä ja Valkea-Kotisella, mutta laskeuma alenee etelästä pohjoiseen. Pohjoisilla alueilla kupari- ja nikkelpitoisuuksiin vaikuttavat Kuolan teollisuusalueen päästöt (ks. myös Ukonmaanaho ym. 1998).

Tässä tarkasteltujen mäntynäytealojen indeksien arvot kasvavat pääsääntöisesti etelästä pohjoiseen samassa suunnassa kuin sadeveden rikki-, typpi- ja eräiden raskasmetallien pitoisuudet ja laskeuma alenevat. Poikkeuksen tästä gradientista muodostaa Vuoskojärvi.

Edellä on verrattu eri YYS-alueiden ilmansaastekuormitusta tarkastelemalla seurantakauden keskimääräisiä pitoisuuksia ja laskeumaa. Kuten edellä on todettu, tarkasteltujen sadeveden rikki- ja typpiyhdisteiden ja eräiden metallien pitoisuuksien ja laskeuman aleneminen on ollut suurinta eteläisillä seuranta-alueilla. Tämä on jonkin verran tasoittanut YYS-alueiden keskinäistä ilmansaasteiden kuormitustilannetta.

Taulukko 5.7.1. Ammonium- ja nitraattitypen ja sulfaattirikin pitoisuudet (mg (N tai S)/ l) ja pH sadevedessä sekä avoimen paikan laskeuma (mg (N tai S)/m²) (Lähde: Ilmatieteen laitos, Ilmanlaaturekisteri 2000) YYS-alueilla. Arvot seurantajakson 1989-1997 vuosiarvojen sademäärillä painotettuja keskiarvoja. Lisäksi vastaavan ajanjakson (poikkeus Pesosjärvi ala EP2, jossa mukana myös v. 1998) ilmansaasteindeksien PSI, WS ja MS keskimääräiset arvot alalinjoilla 60-150 cm eri epifyyttialoilla ja seuranta-alueilla.

	DC/Sadeveden pitoisuus				DC/Laskeuma			Indeksit		
	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	SO ₄ ²⁻ -S	pH	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	SO ₄ ²⁻ -S	PSI	WS	MS
Valkea-Kotinen	0,27	0,31	0,60	4,50	169,0	190,8	372,1	33,3	2,1	3,2
EP7								35,9	2,1	3,1
EP9								30,8	2,1	3,2
Hietajärvi ¹⁾	0,19	0,25	0,51	4,52	115,1	150,1	312,6	85,9	2,9	4,0
EPI								102,3	2,7	4,0
EP2								63,2	2,8	3,8
EP3								92,2	3,0	4,0
Pesosjärvi ²⁾	0,11	0,16	0,39	4,56	56,5	81,1	192,8	102,8	4,3	4,2
EP2								41,5	3,9	4,3
EP5								164,1	4,8	4,1
Vuoskojärvi	0,06	0,10	0,34	4,70	19,0	35,6	116,3	6,8	3,5	3,8
EPI								6,6	3,4	3,9
EP3								7,1	3,5	3,7

¹⁾ Indeksituloksissa *Imshaugia aleurites* ja *Parmeliopsis hyperopta* luettu lajipariksi.

²⁾ Indeksituloksissa vuosien 1989 ja 1991 osalta kahden alalinjan tulokset.

Taulukko 5.7.2. Kuparin, nikkelin, lyijyn ja sinkin pitoisuudet sadevedessä (µg/l) ja avoimen paikan laskeuma (µg/m²) YYS-alueilla. Arvot vuosien 1991-1997 (Ni 1993-1997) sademäärällä painotettuja keskiarvoja (Lähde: Ilmatieteen laitos, Ilmanlaaturekisteri 2000).

	Pitoisuus				Laskeuma			
	Cu	Ni	Pb	Zn	Cu	Ni	Pb	Zn
Valkea-Kotinen	1,13	0,39	2,08	4,18	669,2	221,9	1227,3	2465,4
Hietajärvi	1,06	0,28	1,46	3,08	665,0	172,8	915,0	1929,0
Pesosjärvi	1,55	0,35	1,05	2,38	752,9	153,0	505,7	1151,4
Vuoskojärvi	1,84	0,39	0,75	1,62	595,7	123,8	242,9	525,7

Tulosten ja käytettyjen menetelmien tarkastelu

6

6.1 Epifyyttialojen lajisto

Useimmat seurantaan valituista lajeista esiintyvät koko maassa. Lajien levinneisyys voi kuitenkin olla enemmän pohjois- tai eteläpainotteista, esim. koivunruskokarpeen ja luppojen esiintyminen painottuu pohjoiseen ja vastaavasti esim. paisukarpeet, harmaaröyhelö ja hankakarve ovat esiintymisessään enemmän eteläpainotteisia (Ahti 1981, Kuusinen ym. 1996, Kuusinen ym. 1990, Lommi & Kuusinen 1997). Seurantaan valituista lajeista saasteille erittäin kestävä puistokehräjäkälä (*Lecanora conizaeoides*) esiintyy Suomessa vain maan eteläisimmissä osissa taajama-alueilla, joten sen puuttuminen YYS-alueiden männyn runkojäkälälajistosta on odotettua. Naavoja esiintyy yleisesti eniten keskiboreaalaisella vyöhykkeellä, ja niiden runsaus alenee sekä pohjoiseen että etelään. Naavojen niukkuus pohjoisessa johtunee ilmastollisista tekijöistä, etelässä myös ilmansaasteilla on mitä ilmeisimmin vaikutusta (Kuusinen ym. 1990). Myös luppojen vähäisyyttä Etelä-Suomessa on selitetty ilmansaastetekijöillä.

Paitsi maantieteelliset ja ilmastolliset tekijät jäkälälajistoon ja lajien runsaus-suhteisiin vaikuttavat paikalliset kasvuolosuhteet, kuten metsikön puulajisuhteet, puuston ikä ja tiheys, samoin kasvupaikan maaperätekijät. Esimerkiksi maaperän kosteudella on todettu olevan suuri vaikutus kasvupaikkatyypikohtaisiin luppomääriin (Helle ym. 1989) ja maaperän kemiallisten ominaisuuksien on todettu vaikuttavan kaarnan kemiallisiin ominaisuuksiin ja sitä kautta runkojäkäliin (Farmer ym. 1991). Myös yksittäisen puun ominaisuuksilla, kuten puun iällä, oksiston runsaudella sekä kaarnan rakenteellisilla ja kemiallisilla tekijöillä on vaikutusta epifyyttien esiintymiseen (Poikolainen ym. 1998a, Kuusinen ym. 1990, Halonen ym. 1991, Hyvärinen ym. 1992). Koska lupot ovat porojen talviravintoa, porolaidunnus vähentää varsinkin luppojen, mutta myös muiden makrojäkälien määrää puiden alaosissa ja tämä on saattanut muuttaa epifyyttijäkälien lajisuhteita porojen laiduntamilla alueilla Pohjois-Suomessa (Kuusinen ym. 1990, Poikolainen ym. 1998a, Helle ym. 1990).

YYS-alueet sijaitsevat hyvin eri puolilla Suomea eri kasvillisuusvyöhykkeissä ja ilmasto-oloissa. Tästä syystä alueiden epifyyttilajisto ja erityisesti lajien runsaus-suhteet eroavat jossain määrin toisistaan. YYS-epifyyttialojen makrojäkälälajisto edustaa tyypillistä kyseisten maantieteellisten alueiden mäntyjen runkojäkälälajistoa (vrt. esim. Kuusinen ym. 1990, Jukola-Sulonen & Kleemola 1994, Oksanen 1995). Lajistoon ja lajien runsaussuhteisiin vaikuttavat osaltaan myös eri alojen erilaiset kasvuolosuhteet, kuten metsikkörakenne. YYS-seuranta-alueiden puusto on vanhaa ja alueet sijaitsevat kaukana päästölähteistä, joten jäkälän kasvuolosuhteet ovat alueilla keskimääräistä paremmat. Ilmeisesti tästä syystä Valkea-Kotisen ja Hietajärven lajimäärä on vastaavalla lajistolla tarkastellen suurempi kuin VMI-tulosten mukaan keskimäärin vastaavalla maantieteellisellä alueella (vrt. Kuusinen ym. 1990).

YYS-aloilla ei seurantakauden aikana ole tapahtunut mitään merkittäviä muutoksia näytealametsiköissä, joten epifyyttien ympäristöolot ovat pysyneet jotta-kuinkin samanlaisina. Merkittävimmän ovat vaihdelleet vuosittaiset sääolosuh-

teet ja lisäksi alueen ilmansaastekuormituksessa on tapahtunut muutosta, joka eri alueilla on ollut eriasteista (ks. luku 5.7). Lajien peittävyyksissä epifyyttialoilla on jossain määrin vuosien välistä vaihtelua, jonka taustalla voi olla sekä luontaisia, itse mittaustapahtumaan liittyviä, että ilmansaastekuormitukseen liittyviä tekijöitä. Eri tekijöiden vaikutusta on vielä näin pienellä seuranta-aineistolla mahdollonta erottaa toisistaan. Mitään selvää trendiä ei lajipeittävyyksissä yleensä ole havaittavissa.

VMI:n pysyvien näytealojen (3000 seuranta-alaa) jäkäläinventoinneissa on todettu epifyyttijäkäliden yleisesti runsastuneen kaudella 1985-1995 (Poikolainen ym. 1998b). Seurannassa olleet 13 jäkälälajia tai -sukua sisältyvät YYS-alueillakin tarkasteltuun lajistoon. Useimmat tarkastelluista jäkälästä yleistyivät selvimmin alueella, joka ulottuu Etelä-Suomen pohjoisosista Etelä-Lappiin. Rikkidioksidia kestävien lajien (esim. viherlevä ja viherkuprajäkälä, seinäsuomujäkälä, sormipaisukarve, keltatyvikarve) havaittiin runsastuneen eniten ja rikkidioksidille herkkien lajien vähiten (lupot ja naavat). VMI:n tutkijat tulkitsevat runsastumisen johtuvan ilman laadun paranemisesta ja rikkilaskeuman vähenemisestä (Poikolainen ym. 1998a ja 1998b). Kestävät lajit ovat saattaneet jopa hyötyä typpilaskeuman ravinnevaikutuksesta, samalla kun rikkilaskeuma on vähentynyt (Kuusinen ym. 1990, Poikolainen ym. 1998a, Poikolainen & Kuusinen 1998, Kärenlampi ym. 1989, Oksanen ym. 1990). Esimerkiksi sormipaisukarpeen ja keltatyvikarpeen on arveltu yleisesti hyötynneen paitsi em. ravinnevaikutuksesta, myös herkkien lajien vähenemisen myötä tapahtuneesta lajien välisen kilpailun vähenemisestä.

Valkea-Kotisella saasteita kestävä sormipaisukarve muodostaa selvästi valtaosan runkojen makrojäkälästä. Naavamaisia jäkäläitä on hyvin vähän. Naavamaisien jäkäliden on todettu vähentyneen merkittävästi erityisesti Etelä-Suomessa viime vuosisadan puolivälin jälkeen (mm. Kuusinen ym. 1990, Poikolainen & Kuusinen 1998). Metsäntutkimuslaitoksen metsikkökarikeseurannan (Kuusinen 1993, Poikolainen & Kuusinen 1998) tulosten mukaan kehitys on jatkunut aina 1980-luvulle saakka. Naavamaisien jäkäliden vähenemisen syynä on yleisesti pidetty ilmansaasteita, erityisesti rikkilaskeumaa. Kuitenkin myös vanhojen metsien pinta-alan pienenemisellä, samoin metsien nuorentumisella on todennäköisesti ollut vaikutusta (Vuokko 1982, Kuusinen ym. 1990).

Hietajärvellä sekä lajimäärä että jäkäliden peittävyys on suuri. Tähän vaikuttaa osaltaan maantieteellinen sijainti, koska Hietajärvellä esiintyy yleisenä sekä pohjois- että eteläpainotteista lajistoa, samoin levinneisyydeltään keskiboreaalisia naavoja. Naavamaisia jäkäläitä esiintyy runsaammin kuin Valkea-Kotisella, mutta toisaalta selvästi vähemmän kuin Pesosjärvellä. Lajistossa esiintyy hyvin yleisesti ja suurella peittävyydellä saasteita kestävä lajistoa, kuten sormipaisukarvetta ja keltatyvikarvetta, mutta myös saasteille herkkiä lajeja, kuten luppvoja, naavoja ja tuhkarvetta tavataan säännöllisesti.

Pesosjärvellä jäkäliden lajimäärä on myös varsin suuri. Jotkut levinneisyydeltään eteläpainotteiset lajit (hankakarve, harmaaröyhelö) ja naavat puuttuvat tai esiintyvät satunnaisesti, mutta luppolaajeja on useita. Sormipaisukarve ei enää ole runkojäkälälajistossa vallitseva, mutta sitä esiintyy edelleen säännöllisesti. Silmiinpistävää on luppujen runsaus, joskin tältä osin seurannassa olleet kaksi epifyyttialaa eroavat huomattavasti toisistaan. Luontaisilla tekijöillä on vaikutusta lupon runsauteen (esim. Helle ym. 1989), mutta mitkä ovat ne nimenomaiset kasvupaikkaan tai näytepuihin liittyvät tekijät, jotka tekevät Pesosjärven epifyyttialasta EP2 muita mäntyaloja vähäluppoisemman ei ole selvää. Tummaluppvoja (*Bryoria*-suku) ja korpiluppua (*Alectoria sarmentosa*) esiintyy Pesosjärven alueella runsaasti etenkin kuusten oksilla ja ne ovat elinvoimaisia ja kookkaita.

Pesosjärven lajipeittävyksien, ja erityisesti luppojen peittävyksien selvä pieneneminen vuonna 1994 johtunee menetelmällisistä ongelmista, mitä tukee myös peittävyksien nopea palautuminen vuoden 1991 tasolle vuosien 1997-1998 tuloksissa. Ilmansaastekuormituksessa ei ole tässä käytetyllä tausta-aineistolla osoitettavissa mitään tavallisuudesta poikkeavaa 'saastepeikkiä' vuosien 1991-1994 välillä, mutta asian tarkempi selvittäminen edellyttäisi myös lyhytaikaisten saaste-episodien tutkimista. Koska peittävyudet ovat muita vuosia alhaisemmat myös ylärunkotuloksissa, ei porolaidunnus voi olla syynä alhaisiin peittävyysarvoihin kyseisenä vuonna.

Vuoskojärvellä männyn epifyyttilajimäärä on pieni ja peittävyudet erittäin alhaiset. Jopa muilla alueilla yleinen sormipaisukarve esiintyy siellä erittäin pienillä peittävyyksillä ja kitukasvuisena. Vuoskojärvi sijaitsee niin pohjoisessa, että maantieteelliset ja ilmastolliset seikat rajoittavat männyn epifyyttijäkäljen esiintymistä. Useat seuratuista lajeista eivät alueella esiinny tai ne ovat levinneisyytensä pohjoisrajalla (Ahti 1981). Vuoskojärven tunturikoivulla sen sijaan esiintyy runsaasti koivunruskokarvetta.

Pesosjärvi ja Vuoskojärvi sijaitsevat poronhoitoalueella, joten porojen laidunnuksella on mitä ilmeisimmin vaikutusta alarunkojen jäkäliin. Pesosjärven tuloksista nähdään, että etenkin runsasluppoisilla aloilla EP3, EP4 ja EP5 rungon yläosissa, joihin poro ei yletä, on luppojen peittävyys selvästi suurempi kuin alarungoilla. Siihen, missä määrin tämä johtuu yksinomaan porosta, ja missä määrin myös siitä, että lupot suosivat puiden ylärunkoja (Ahti 1981, Halonen ym. 1991, Jukola-Sulonen & Kleemola 1994, Tuominen & Mäkelä 1995) on mahdoton tällä aineistolla ottaa kantaa. Asian selvittäminen edellyttäisi laiduntamattomia vertailualueita.

6.2 Ilmansaastekuormituksen vaikutus runkoepifyytteihin

Ilmansaasteindeksit saavat erilaisia arvoja eri YYS-alueilla. Tämä voi osaltaan johtua vasteesta ilmansaastekuormitukseen. Tarkasteltavien seuranta-alueiden määrä on kuitenkin pieni ja alueet sijaitsevat maantieteellisesti kaukana toisistaan, joten ilmansaasteiden aiheuttamat vaikutukset on vaikea erottaa muista jäkäljen esiintymiseen ja runsauteen vaikuttavista tekijöistä (ks. myös Kuusinen ym. 1990, Poikolainen ym. 1998b, Bråkenhielm & Liu 1993, Liu 1996, Aastrup ym. 1996, Oksanen 1995).

YYS-alueet edustavat maantieteellisellä alueellaan ns. tausta-alueita, joiden ilmansaasteet, kuten rikki-, typpi- ja raskasmetallilaskeuma tulevat pääosin kaukokulkeutumana esim. Keski-Euroopasta ja pohjoisilla alueilla myös Kuolan teollisuusalueelta tai Muurmanskin ja Kostamuksen alueelta (Ruoho-Airola ym. 1998). Suomessa sadeveden happamoittavien rikki- ja typpiyhdisteiden pitoisuudet ja laskeuma alenevat etelästä pohjoiseen, ja tämä on nähtävissä myös Ilmatieteen laitoksen tuloksissa YYS-alueilta (ks. luku 5.7, Ruoho-Airola ym. 1998, Kulmala ym. 1998). Myös eräiden metallien, esim. lyijyn ja sinkin, pitoisuus sadevedessä ja laskeuma alenevat kohti pohjoista (ks. myös Ukonmaanaho ym. 1998, Kulmala ym. 1998).

Kaikilla tässä esitetyillä ilmansaasteindekseillä (PSI, WS, MS) tarkasteltuna Pesosjärvi saa keskimäärin korkeimmat indeksinarvot ja erityisen korkeat arvot saadaan ylärungoilta, joihin poro ei ylety. Hietajärvellä indeksien arvot jäävät josain määrin Pesosjärven arvoja alhaisemmiksi ja Valkea-Kotisella kaikki tarkastellut indeksit saavat alhaisempia arvoja kuin Pesosjärvellä ja Hietajärvellä. Vuosko-

järven tilanteesta eri indeksit antavat erilaisen kuvan. Jos tarkastellaan pelkästään Valkea-Kotista, Hietajärveä ja Pesosjärveä noudattelevat indeksien arvot sadeveden rikki- ja typpikuormituksen etelä-pohjoissuuntaista gradienttia.

Ruotsin PMK-ohjelmassa havaittiin myös siinä tarkastellulla indeksillä (WMS, Weighted Mean Sensitivity, ks. Bråkenhielm & Liu 1995), indeksin arvojen kasvavan 14 seuranta-alueella etelästä pohjoiseen ja toisaalta myös lännestä itään, ja samassa suunnassa alenivat myös typpi- ja rikkilaskeuma. Mutta tässäkin yhteydessä todettiin, että maantieteelliset, ilmansaaste- ja biologiset muuttujat korreloivat voimakkaasti keskenään. Ilmastollisten ja maantieteellisten tekijöiden vaikutuksen PMK-hankkeessa saatuihin tuloksiin on tulkittu olevan jopa suurempi kuin laskeuman vaikutuksen (Aastrup ym. 1996).

Suomessa Metsäntutkimuslaitoksen valtakunnallisissa jäkäläinventoinneissa (Kuusinen ym. 1990, Poikolainen ym. 1998b, Jukola-Sulonen & Kleemola 1994) on todettu, että tarkastellun IAP-indeksin arvot ovat Etelä-Suomessa yleisesti alhaisempia kuin Pohjois-Suomessa. Tämän on tulkittu johtuvan pitkälti juuri pitkäaikaisesta ilmansaastekuormituksesta, erityisesti rikin laskeumasta. Valtakunnallisessa, sormipaisukarpeen kemiallista koostumusta selvittävässä tutkimuksessa (näytteet v. 1985-1986, Kubin 1993) todettiin, että ilmansaasteet ovat myös aiheuttaneet sormipaisukarpeen alkuainepitoisuuksiin alueellisia eroja. Rikin ja tyypin pitoisuudet sormipaisukarpeessa ovat suurimmat Etelä-Suomessa ja alenevat kohti pohjoista. Korkeita sormipaisukarpeen kupari- ja nikkelpitoisuuksia esiintyy myös Kuolan teollisuusalueen vaikutuspiirissä Lapissa.

Seurantajakson aikana etenkin eteläisillä alueilla on tapahtunut merkittävää tässä tarkasteltujen sadeveden rikki- ja typpiyhdisteiden ja joidenkin raskasmetallien pitoisuuksien ja laskeuman alenemista. Ruoho-Airolan ym. (1998) mukaan seurantajaksolla 1988-1996 sulfaattikonsentraatio on laskenut 35% Vuoskojärvellä ja muilla YYS-alueilla 45-50%. Ilmatieteen laitoksen tausta-aluemittausten mukaan (Kulmala ym. 1998) kysymyksessä on sulfaatin osalta koko maassa todettu parikolmekymmentä vuotta kestänyt trendi. Pidempiaikainen laskeva suuntaus on todettu myös nitraatin ja ammoniumin laskeumassa, joskin niillä trendi on ollut selvin Suomen eteläosissa. Millään YYS-alueella ei kuitenkaan ole havaittavissa yksiselitteistä trendiä ilmansaasteindeksien arvoissa seurantajaksolla 1989-1998. Epifyyttialoilta laskettujen indeksien arvoissa esiintyy vuosien välistä vaihtelua ja joillakin aloilla ja indekseillä esiintyy nousevaa tai laskevaa suuntausta, mutta kehitys ei kuitenkaan ole ollut samanlainen valuma-alueen eri aloilla eikä kaikilla indekseillä tarkasteltuna. Lisäksi aikasarjat ovat vielä liian lyhyitä pitkälle meneviin tulkintoihin. Myöskään Ruotsin PMK-hankkeen tuloksissa vuosilta 1982-1992 ei havaittu selvää trendiä siinä yhteydessä tarkastellun WMS-indeksin arvoissa (Bråkenhielm & Liu 1995). Sen sijaan VMI-jäkäläinventointien yhteydessä (Poikolainen ym. 1998b) on havaittu IAP-indeksin arvojen yleisesti nousseen kaudella 1985-1995 erityisesti alueella, joka ulottuu Etelä-Suomen pohjoisosista Lapin läänin eteläosiin.

Jäkälät saavat ilman epäpuhtauksia sade- ja runkovaluntaveden mukana veteen liuenneina yhdisteinä, kuivalaskeumana ilman hiukkasmaisten aineiden mukana sekä kaasumaisessa muodossa (esim. Farmer ym. 1991, Gries 1996, Nash 1996). Happaman sateen, kuten rikin märkä- ja kuivalaskeuman on todettu olevan jäkälille haitallista suoraan (esim. Tarhanen 2000, Oksanen 1995, Gries 1996) tai välillisesti, aiheuttaessaan maaperän happamoitumista (Farmer ym. 1991, Wooding & Farmer 1993). Useassa yhteydessä jäkälien on todettu olevan erityisen herkkiä kaasumaisille ilman epäpuhtauksille, etenkin rikkidioksidille (mm. Hawksworth 1973, Holopainen 1984, Holopainen & Kärenlampi 1985, Hultengren ym. 1991, Gries 1996). Ilman kaasumaisten rikki- ja typpiyhdisteiden pitoisuuksia ei edellä tulos-ten yhteydessä ole erikseen tarkasteltu.

Ilmatieteen laitoksen mittauksen mukaan (Kulmala ym. 1998) myös ilman rikkidioksidipitoisuudet tausta-asemilla ovat yleisesti alentuneet koko maassa 1980-luvun alusta lähtien ja aleneminen on ollut voimakkainta Etelä-Suomessa. Korkeimmillaan rikkidioksidin vuosipitoisuudet ovat olleet esim. Etelä-Suomessa sijaitsevalla Virolahden mittausasemalla 1970-luvun lopulla ($5-6 \mu\text{g SO}_2\text{-S/m}^3$). Esimerkiksi Kevon mittausasemalla korkein vuosipitoisuus on mitattu 1974 ($4,38 \mu\text{g SO}_2\text{-S/m}^3$).

Kaudella 1989-1996 rikkidioksidin pitoisuudet ovat vaihdelleet Kevon mittausasemalla $0,57-1,57 \mu\text{g SO}_2\text{-S/m}^3$ (Kulmala ym. 1998; huom. oheiset Ilmatieteen laitoksen arvot ilmoitettu rikkinä, rikkidioksidina ilmoitettuna arvot ovat noin kaksinkertaiset). Oulangan EMEP-mittausasemalla, joka sijaitsee muutaman kilometrin päässä Pesosjärven epifyyttialoista, rikkidioksidin pitoisuus on alentunut mittausjaksolla 1990-1996 arvosta $1,09 \mu\text{g SO}_2\text{-S/m}^3$ pitoisuuteen $0,60 \mu\text{g SO}_2\text{-S/m}^3$ (Kulmala ym. 1998). Hietajärvellä ilman rikkidioksidipitoisuudet ovat olleet vuoden 1993 jälkeen alkaneissa Ilmatieteen laitoksen YYS-mittauksissa tasoa $1,0 \mu\text{g SO}_2\text{-S/m}^3$ tai sen alle (Ilmatieteen laitos, ilmanlaaturekisteri 2000) ja Valkea-Kotisella aloitetuissa YYS-mittauksissa vuosina 1997-1999 tasoa $0,6-0,8 \mu\text{g SO}_2\text{-S/m}^3$ (Ilmatieteen laitos 2000).

Holopaisen (1984) mukaan keskimääräinen vuosipitoisuus $5-10 \mu\text{g SO}_2 \mu\text{g/m}^3$ tai kuukausimaksimipitoisuus jopa alle $20 \mu\text{g SO}_2 \mu\text{g/m}^3$ ovat riittäviä aiheuttamaan solurakenteen muutoksia herkissä jäkälälajeissa. YYS-alueiden rikkidioksidipitoisuuden vuosi-arvot ovat nykyisin varsin alhaiset verrattuna Holopaisen (1984) esittämiin kriittisiin pitoisuuksiin, mutta pitoisuudet ovat ilmeisesti olleet selvästi korkeampia. Toisaalta lyhytaikaisetkin korkeat pitoisuuspiikit voivat aiheuttaa jäkälille solutason vaurioita (esim. Holopainen & Kauppi 1989). Herkkien jäkälälajien solutason muutosten tutkiminen voisi YYS-alueillakin olla keino selvittää ilmansaasteiden mahdollisia vaikutuksia.

Kaukokulkeutuvilla ilmansaasteilla on ilmeisesti ollut vaikutusta Valkea-Kotisen epifyyttikasvillisuuteen. Tarkasteltujen indeksien arvot ovat yleensä muita YYS-alueita alhaisempia. Ilmansaasteille herkkiä naavamaisia jäkäläitä on vähän ja ilmansaasteita kestävätkin lajit, lähinnä sormipaisukarve vallitsevat. Lisäksi sormipaisukarpeessa on havaittu lieviä vaurioita. Ilmansaastekuormitus onkin ollut Valkea-Kotisella kaikkein suurin.

Valkea-Kotinen on YYS-alueista ainoa, jonka näytepuilta on tavattu viherlevää (+ viherkuprajäkälää), joskin niukasti. Viherlevää on kuitenkin havaittu Valkea-Kotisella selvänä leväpeitteenä erityisesti pienten kuusten neulasilla (Welling 1993; Kokko 1997, julkaisematon aineisto). Viherlevän lisääntymisen puiden rungoilla ja neulasilla on todettu olevan yhteydessä typpilaskeumaan, joskin myös luontaisten kasvupaikkatekijöiden (esim. varjoisuus, kosteus) tiedetään vaikuttavan viherlevän esiintymiseen (Bråkenhielm 1989, Environment Data Centre 1993, Bråkenhielm & Liu 1995, Kuusinen ym. 1990).

Myös Hietajärvi on saanut pohjoisia alueita enemmän saastekuormaa, mutta vaikutukset eivät ole nähtävissä siten kuin Valkea-Kotisella. Herkkiä lajeja esiintyy yleisesti ja jäkälien, esim. sormipaisukarpeen kunto on alueella hyvä. Indeksien arvot jäävät kuitenkin alhaisemmiksi kuin esim. Pesosjärvellä. Siihen, onko runkojäkäläyhteisö Hietajärvellä täysin luonnontilainen vai onko kaukokulkeutuvilla ilmansaasteilla ollut vaikutusta esim. naavamaisten jäkälien esiintymiseen verrattuna muutamien vuosikymmenien takaiseen tilanteeseen on mahdoton ottaa kantaa, sillä tässä yhteydessä ei ole ollut käytettävissä vanhempaa tietoa naavamaisten jäkälien runsaudesta seuranta-alueilla. Jäkäläitä on käytetty bioindikaattoreina myös Pohjois-Karjalan bioindikaattoritutkimuksessa vuosina 1998-1999 (Niskanen ym. 1999), jonka mukaan käytetyillä jäkäläindikaattoreilla (eri indikaattorijä-

kälien esiintyminen, IAP-indeksi, sormipaisukarpeen kunto, jäkäliden rikkipitoisuus) jäkäläyhteisöt voidaan tulkita hyväkuntoisiksi Lieksan kunnan kaakkoisosissa, jossa Hietajärvi sijaitsee.

Pesosjärvellä ei tässä käytetyillä menetelmillä ole osoitettavissa kaukokulkeutuvien ilmansaasteiden vaikutuksia epifyytteihin. Pesosjärvi on varsin kaukana päästölähteistä ja ilmansaastekuormitus on yleensä alhainen. Meteorologisilla seikoilla on kuitenkin suuri vaikutus Pesosjärven alueen ilmansaastekuormitukseen (Ruoho-Airola ym. 1998). Sopivien tuulten vallitessa on Pesosjärven seuranta-alueen lähellä sijaitsevalla Ilmatieteen laitoksen EMEP-mittausasemalla todettu esim. korkeita rikkidioksidin ja hiukkasmaisen sulfaatin pitoisuuspiikkejä ja normaalia happamampaa sadetta (esim. Laurila ym. 1991, Ruoho-Airola & Leinonen 1994 ja 1996). Itä-Lapin metsävaurioprojektin yhteydessä Pesosjärveä lähimmillä koelajoilla Sallassa todettiin tummalupon leväsolujen hienorakenteessa rikkiin liittyvää oireyhtymää, jonka katsottiin johtuvan Kuolan Montsegorskin alueen ilmansaasteista (Oksanen 1995). Eräiden tutkijoiden mukaan (Helle ym. 1989, Helle ym. 1990) on mahdollista, että Pohjois-Suomessakin luppomäärät olisivat vähentyneet ilmansaasteiden vaikutuksesta (esim. aleneminen luppobiomassoisissa Taivalkoskella ja Sodankylässä 1976-1988; Helle ym. 1990).

Pohjois-Lappi saa ainakin ajoittain, sopivien tuulten vallitessa saastekuormaa (erityisesti rikkiä ja raskasmetalleja) Kuolan teollisuusalueelta (mm. Ruoho-Airola ym. 1998, Oksanen 1995, Tarhanen ym. 2000), ja ilmansaasteillakin voisi siksi olla vaikutusta jäkäliin Vuoskojärvellä. Mahdollisen ilmansaastevaikutuksen arviointi ja erottaminen luontaisten tekijöiden vaikutuksesta on kuitenkin lajiinventoinnin perusteella Vuoskojärvellä erityisen vaikeaa. Koska jäkäliden määrä männyllä on hyvin alhainen, ei mäntyaloilta saatuja indeksituloksia voida pitää Vuoskojärvellä erityisen luotettavina. Toisaalta tunturikoivujen rungoilla esiintyy runsaasti koivunruskokarvetta, joka Hultengrenin ym. (1991) mukaan on ilmansaasteille herkkä (herkkyysarvo 6). Itä-Lapin metsävaurioprojektin yhteydessä todettiin sormipaisukarpeen ja tummalupon leväsoluissa ilmansaasteista johtuvia biokemiallisia ja solurakenteen muutoksia koko Inarin Lapin alueella, erityisesti Inarin Lapin itäosissa (Tarhanen ym. 1996, Oksanen 1995). Kevolta ei muutoksia ole tutkittu (Tarhanen, suull.). Sormipaisukarpeen rikkipitoisuudet ovat olleet 1980-luvun puolivälissä Metsäntutkimuslaitoksen selvityksen mukaan (Kubin 1993) Kevon seuduilla alhaisia verrattuna itäisempään osaan Utsjokea, sen sijaan sormipaisukarpeen kupari- ja nikkelpitoisuudet ovat olleet koko Utsjoen alueella korkeita.

Koska YYS-alueet sijaitsevat ns. tausta-alueilla ovat ilmansaastepitoisuudet olleet siellä enimmäkseen varsin alhaisia. Siksi mahdolliset ilmansaastevaikutukset ovat oletettavastikin vähäisiä ja mahdolliset kuormituksen alenemisen aiheuttamat muutokset hitaita verrattuna voimakkaammin kuormitettuihin alueisiin (ks. myös Bråkenhielm & Liu 1995). Vähittäisen muutoksen havaitseminen nopeasti edellyttää seurantamenetelmältä suurta herkkyyttä ja YYS-alueiden epifyttiseurantamenetelmä ei ehkä ole tarpeeksi herkkä vähittäisten muutosten havaitsemiseen nopeasti (Bråkenhielm ja Liu 1995, Aastrup ym. 1996). Mahdollista vastetta ilmansaasteiden vähenemiseen olisi todennäköisesti odotettavissa ensimmäisenä Valkea-Kotisella, jossa kuormitus on ollut suurinta ja jossa se on eniten alentunut.

Pitkään jatkunut kuormitus voi vaikuttaa monella tavalla ekosysteemin kemiallisiin ainekiertoihin ja -varastoihin. Esim. happamoittava laskeuma voi vaikuttaa maaperän happamuuteen ja puskurikykyyn ja sitä kautta kaarnan happamuuteen ja puskurikykyyn ja runkoepifyyttien kasvuolosuhteisiin. Monet prosessit heijastuvat myös esim. runkoyalunnan ainepitoisuuksiin ja happamuuteen (Parker 1983, Edmonds ym. 1991, Farmer ym. 1991, Starr & Ukonmaanaho 1994, Ukonmaanaho 1997). Sadeveden valuessa lehvästöä ja runkoa pitkin siihen mm. liuke-

nee kuivalaskeumana sitoutuneita yhdisteitä ja biokemiallisia reaktioita (aineiden ottoa ja luovuttamista) tapahtuu valuvan veden, lehvästön, kaarnan, kaarnan mikroeliöstön ja epifyyttien kesken. Jäkälien kasvuolosuhteet eivät siis välttämättä muutu nopeasti ja mahdolliset kuormituksen alenemisen vaikutukset tapahtuvat oletettavasti viiveellä (ks. myös Farmer ym. 1991, Wooding & Farmer 1993, Kuusinen ym. 1990).

YYS-hankkeen osaohjelmassa 'runkovalunta' (osaohjelma SF, Stemflow, Environment Data Centre 1993) Metsäntutkimuslaitos on seurannut puiden runkovalunnan kemiallisia. Sadeveden ja runkovalunnan kemian, samoin kuin männyn runkovalunnan kemian ja runkoepifyyttien peittävyyksien ja ilmansaasteindeksien keskinäinen tarkastelu tuottaisi lisätietoja niistä tekijöistä, jotka vaikuttavat epifyyttien esiintymiseen ja runsauteen puiden rungolla.

6.3 Käytettyjen menetelmien arviointi

6.3.1 Maastomenetelmät

Yhdennetyt seurannat runkoepifyyttiseurannan näytepuuksi sovittiin pohjoismaisella tasolla seurannan alkuvaiheessa mänty ja pohjoisille alueille myös tunturikoivu. Lisäksi pyrittiin siihen, että epifyyttiseuranta-alat sijoitetaan yhdennetyt seurannat perusidean mukaisesti mahdollisimman lähelle muita intensiivitaso seurantoja, olosuhteiltaan mahdollisimman homogeenisille alueille (Nordic Council of Ministers 1988). Nämä pyrkimykset ovat erityisesti Pesosjärvellä, mutta jossain määrin myös Valkea-Kotisella olleet ristiriidassa sen kanssa, että näytepuulajin pitäisi olla seurantametsikössä vallitseva. Näillä valuma-alueilla vallitsevat tuoreen kankaan kuusikot, eikä mäntyvaltaisia kankaita alueilla juurikaan esiinny (Lindholm ym. 1988, Keränen & Kokko 1993).

Seurattavan muuttujan mittaustarkkuus on sitä parempi, mitä pienempi näytealan sisäinen vaihtelu on (Partanen ja Veijola 1996). Silloin kun arvioidaan ajallista kehitystä, ei näytealan puiden välinen suuri vaihtelu merkitse Partasen ja Veijolan (1996) mukaan aivan yhtä paljon kuin paikallisia eroja tutkittaessa, koska tarkastelu perustuu näytealoilla tapahtuvaan muutokseen, ei itse havaintoarvoon. Tarkasteltavan muuttujan mittaustarkkuus on seurantatutkimuksessakin kuitenkin tärkeää, jotta saatuja tuloksia voidaan käyttää alueellisten tasojen arviointiin ja alueiden keskinäiseen vertailuun.

Muuttujien mittaustarkkuutta ja koealoittaisen näytemäärän riittävyttä voidaan arvioida tilastollisesti. Partasen ja Veijolan (1996) mukaan bioindikaattoritutkimuksessa useille muuttujille voidaan tavoitteena pitää 10%:n suhteellista keskiarvon keskivirhettä, jolloin keskiarvon luottamusväli on noin $\pm 20\%$. Liitteissä 2-6 on esitetty suhteellinen keskivirhe prosentteina kunkin epifyyttialan kokonaispeittävyys- ja indeksituloksille. Tarkastelluilla parametreilla mittaustarkkuus vaihtuu varsin hyvältä tai kohtuulliselta Valkea-Kotisen ja Hietajärven aloilla sekä Pesosjärven alalla EP5. Heikoin mittaustarkkuus on tarkasteltavien indeksien suhteen Vuoskojärvellä ja varsinkin ylärunkotuloksissa Pesosjärvellä ja Vuoskojärvellä. Erityisesti ylärunkotuloksissa vaihtelua voi osaltaan aiheuttaa ylärunkojen kaarnan hilseilevyys, jota esiintyi osalla näytepuita enemmän kuin toisilla. Mittaustarkkuuden parantamiseksi suurempi näytealakohtainen puumäärä olisi eduksi.

Muuttujien mittaustarkkuus nousee seurannassa merkittäväksi tekijäksi myös siinä tapauksessa, että pysyväksi tarkoitettuja näytepuita joudutaan vaihtamaan, kuten on jouduttu tekemään joillakin aloilla erityisesti seurannan alkuvaiheessa. Jos puukohtainen vaihtelu tuloksissa on suurta, on olemassa riski, että yksittäisen

puun vaihtamisella on vaikutusta alalta saatuihin keskiarvoihin. Siksi Pesosjärvelä ja Vuoskojärvellä puunvaihdolla voi olla tuloksen kannalta suurempi merkitys kuin eteläisillä alueilla.

YYS-ohjelmassa männyllä käytetty seurantamenetelmä on saanut mallinsa Ruotsin PMK-ohjelmasta (Bråkenhielm 1989), jota toteutettiin Ruotsissa 1982-1995. PMK-ohjelman tulosten raportoinnin yhteydessä on korostettu (Bråkenhielm & Liu 1995, Aastrup ym. 1996), että epifyyttien seuranta ilmansaasteiden aiheuttamien vasteiden arvioimiseksi tausta-alueilla edellyttää herkkiä maastomenetelmiä ja pitkäaikaista seuranta. Tausta-alueiden seurannassa korostuu myös luontaisten tekijöiden ja ilmansaastetekijöiden vaikutusten erottamisen vaikeus. PMK-hankkeen jälkeen perustetuilla uusilla YYS-seuranta-alueillaan ruotsalaiset ovat pyrkineet parantamaan epifyyttiseurantamenetelmän herkkyyttä lisäämällä seurantaalojen määrää kattavasti eri puolille valuma-aluetta sekä ottamalla seurantaan mukaan kaikki epifyyttilajit (myös rupimaiset). Ruotsin aloitteesta myös kansainvälisen YYS-hankkeen epifyyttiseurannan menetelmäsuosituksia (ICP IM Programme Centre 1998) on jossain määrin muutettu.

Uusimpien ohjeiden (ICP IM Programme Centre 1998) mukaan suositellaan valuma-alueelle perustettavaksi useita koealoja, esim. 5-10, joissa kussakin olisi 5-10 näytepuuta. Näytepuut voivat edustaa yhtä tai useampaa puulajia. Suositeltavaa on inventoida koko runkoepifyyttilajisto, tai jollei tämä ole mahdollista, rajattu indikaattorilajisto (pensasmaiset, lehtimäiset ja joitain helposti tunnettavia rupimaisia jäkäliä, joille on määritetty herkkyyсарvo). Itse mittausmenetelmästä kuvataan kolme vaihtoehtoa, linjamenetelmä, ruudukon avulla toteutettu pistefrekvenssimenetelmä tai pelkkä lajiston listaaminen. Suositeltavaa on käyttää linjat tai pistefrekvenssimenetelmän rinnalla koko rungon lajiston listaamista sekä runkojen valokuvausta. Suomen YYS-alueiden epifyyttiseurannan kehittäminen uusimpien suositusten mukaiseksi edellyttäisi näytealojen määrän lisäämistä ja useampien puulajien ottamista mukaan seurantaan.

Seurannan kannalta olisi eduksi, jos näytepuumäärää voitaisiin ainakin osalla näytealoista lisätä nykyisestä ja jos kaikki epifyyttilajit voitaisiin ottaa mukaan seurantaan. Linjamenetelmä on kuitenkin varsin hidas toteuttaa, mikä rajoittaa alojen ja puumäärän lisäämistä, mikäli seuranta jatketaan samalla menetelmällä. Lisäksi rupimaisten jäkälien tunnistus ja tarkkojen esiintymisvälien määrittäminen linjoilta on osoittautunut käytännössä vaikeaksi.

Koko jäkälälajiston inventointi maastossa edellyttää jäkäläasiantuntijoiden käyttöä maastotyössä. Paitsi rupimaiset jäkälät, myös naavamaiset jäkälät ovat tunnistamisen kannalta vaikeita lajeja. Niiden tunnistus lajilleen antaisi kuitenkin tarpeellista lisäinformaatiota, koska niihin sisältyy ilmansaasteherkkyydeltään jossain määrin erilaisia lajeja (Kuusinen ym. 1990, Hultengren ym. 1991, Oksanen 1995, Kauppi & Halonen 1992). Mahdollisimman tarkkaan tunnistukseen niiden osalta onkin pyritty, mutta käytännössä tunnistuksen taso on kuitenkin vaihdellut eri alueilla ja eri seurantavuosina. Seurattavaan lajistoon kuuluvien harmaatyvikarpeen ja tuhkarpeen keskinäisessä erottamisessa on myös ollut jossain määrin ongelmia.

Käytetty linjamenetelmä, jossa mitataan millimetreittäin kunkin yksilön esiintyminen on toisaalta tarkka, mutta siinä on myös riskinsä, mikäli maastotyöntekijät vaihtuvat, ja työn tarkkuus vaihtelee. Erityisen herkkä se on sille, miten tarkasti hyvin pienet, jäkälien sekovarren alut tunnistetaan lajilleen ja kirjataan ylös ja tällaista pientä 'taimainesta' voi olla rungoilla paljon.

Pistefrekvenssimenetelmän käyttöönotto saattaisi jossain määrin vähentää mittauksen subjektiivisuutta ja ainakin se olisi nykyistä menetelmää nopeampi toteuttaa. Kansainvälisissä YYS-manuaaleissa (Environment Data Centre 1993, ICP IM Programme Centre 1998, vrt. myös Suomen Standardisoimisliitto 1990) on kuvattu yhtenä seurantamenetelmävaihtoehtona ruudukon (esim. 30 x 40 cm) avulla

toteutettava pistefrekvenssimittaus, jota Ruotsikin on uusilla YYS-alueillaan siirtynyt käyttämään. Menetelmän muuttaminen aiheuttaisi kuitenkin epäjatkuvuutta seurantasarjaan.

Frekvenssimittaus voitaisiin suorittaa myös listaamalla lajit nytkin käytössä olevilta linjoilta tietyin välimatkoin (Kovanen 1992, Halonen 1998). Nyt linjoilta kerätty millimetriväliaineisto on myös mahdollista muuttaa jälkeinpäin pistefrekvenssiaineistoksi. Kovanen (1992) on vertaillut Pesosjärven vuoden 1989 seurantaaineistolla (Kokko & Kovanen 1989) alkuperäisen millimetriväliaineiston ja jälkeinpäin tuotettujen pistefrekvenssiaineistojen antamia peittävyystuloksia keskenään. Tutkituista lajeista lupoilta, sormipaisukarpella ja keltatyvikarpella alkuperäisellä millimetriväliaineistolla saadut peittävyudet eivät poikenneet tilastollisesti merkittävästi 100 satunnaispisteen frekvenssiaineiston tuottamista, eikä myöskään systemaattisesti yhden cm:n välein kootun pistefrekvenssiaineiston tuottamista peittävyysarvoista.

6.3.2 Ilmansaasteindeksit

Tässä raportissa ilmansaasteindeksien laskemisessa on epifyyttilajeille käytetty Hultengrenin ym. (1991) ns. pohjoismaista herkkyysluokitusta. Suomessa esim. VMI-epifyyttiseurannassa on IAP-indeksin laskussa käytetty herkkyysarvona kunkin indikaattorijäkälän seuralaislajien määrää, joka lasketaan tarkasteltavasta koko lähtöaineistosta (Kuusinen ym. 1990). Eri herkkyysluokitukset antavat eri lajeille jossain määrin erilaisia herkkyysarvoja suhteessa toisiinsa (tässä käytetyn lajiston osalta vertailu Hultengrenin herkkyysluokituksen ja VMI:ssä käytetyn herkkyysluokituksen välillä, ks. Tuominen & Mäkelä 1995). Esim. tuhkarpeen herkkyudesta esitetään erilaisia arvioita. Hultengren ym. (1991) luokittelee sen jopa herkemäksi kuin lupot ja naavat. Kuusinen ym. (1990) käsittelevät sitä lajiparina harmaatyvikarpeen kanssa ja nämä luetaan yhdessä suhteellisten herkkien lajien ryhmään. Myös Kauppi ja Halonen (1992) pitävät lajia Hultengrenin ym. (1991) arviota kestävämpänä. Lajien herkkyydessä saattaa olla eroja niiden levinneisyysalueen eri osissa (mm. Kauppi & Halonen 1992).

Kuten erityisesti Vuoskojärven tuloksista nähdään, eri indeksit saattavat joissain tapauksissa antaa alueen ilmansaastekuormitustilanteesta erilaisen kuvan. Siksi eri indekseillä lasketut tulokset eivät ole suoraan vertailukelpoisia keskenään. Lisäksi indeksien arvoja tulkittaessa on tarkkaan tiedettävä, mihin indeksi perustuu ja 'mistä se kertoo'.

Tässä raportissa käytetyistä indekseistä PSI-indeksi on voimakkaasti riippuvainen epifyyttien kokonaispeittävydestä rungolla (luku 5.4). Luontaisten tekijöiden aiheuttamat erot lajien peittävyyksissä korostuvat silloin ehkä liikaakin (vrt. esim. tilanne Pesosjärvellä, jossa eri alat antavat hyvin erilaisia arvoja). PSI-indeksi on myös herkkä subjektiivisille eroille työn tarkkuudessa. PSI-indeksi vaikuttaa näistä syistä ongelmalliselta laaja-alaisissa inventoinneissa, joissa halutaan verrata alueita keskenään, koska eri alueet eroavat luontaisten tekijöiden suhteen väistämättä toisistaan. Paikallisissa selvityksissä se on varmasti käyttökelpoisempi, jos keskenään vertailtavien näytealojen olosuhteet eivät poikkea kovin paljon toisistaan ja subjektiivinen vaihtelu tuloksissa saadaan minimoitua.

Koska WS-indeksi ottaa huomioon jäkälän suhteellisen peittävyuden, tasoittaa se luontaisten ja subjektiivisten tekijöiden vaikutusta tulokseen ja vaikuttaa siksi käyttökelpoiselta alueiden keskinäisissä vertailuissa ja paikallisissa muutosseurannoissa. Indeksien arvojen rinnalla on kuitenkin syytä tarkastella myös lajien todellisia peittävyksiä ja niiden kehitystä. Jos jäkälän peittävyudet ovat hyvin

pienet (vrt. Vuoskojärvi), on indeksin tuloksia tulkittava varoen. WS-indeksi vastaa nykyisessä kansainvälisessä YYS-manuaalissa esitettyä, jäkälien peittävyysaineistoon perustuvaa ilmansaasteindeksiä (ICP IM Programme Centre 1998).

Männyn linja-aineistolla lasketut MS-indeksin arvot korreloivat koko seuranta-aineistossa positiivisesti WS-indeksin arvojen kanssa. Koska MS-indeksi ottaa huomioon lajien herkkyysarvon lisäksi vain lajien esiintymisen, indeksi ei kuitenkaan ole yhtä herkkä eroille alojen ja vuosien välillä kuin esim. WS-indeksi. MS-indeksin tuloksen kannalta on siksi sama, esiintyykö lajia, esim. saasteille herkkää loppoa yksi pieni sekovarsi, vai onko lajin peittävyys suuri. Erityisesti, jos lähtöaineistona käytetään koko rungon tai koko seuranta-alan lajistoa, hävittää indeksi paljon informaatiota. MS-indeksin herkkyys paranee, mikäli voidaan käyttää suurta puumäärää ja inventoida koko epifyyttilajisto. Samoin herkkyyttä voitaisiin parantaa tälläkin seuranta-aineistolla laskemalla indeksin arvo männyllä erikseen kullekin linjalle ja tunturikoivulla kullekin korkeusvyöhykkeelle ja tarkastelemalla näin saatuja keskilukuja.

Yhteenveto

Runkoepifyttiseurantaa on toteutettu osana Ympäristön yhdenntyn seurannan ohjelmaa (YYS) neljällä, eri puolella Suomea sijaitsevalla alueella (Valkea-Kotinen Lammilla, Hietajärvi Lieksassa, Pesosjärvi Kuusamossa ja Vuoskojärvi Utsjoella) kaudella 1988-1998. Seurantakertoja on kullakin alueella tänä aikana kertynyt 4-5. Jäkäliden peittävyttä on mitattu mäntynäytepuilla ns. linjamenetelmällä. Vuoskojärven alueella on myös tunturikoivunäytealoja, joilla jäkälälajistoa on listattu rungoilta korkeusvyöhykkeittäin. Runkojäkäliden esiintymisen ja runsauden, sekä niiden perusteella laskettujen ilmansaasteindeksien (PSI-, WS-, MS-indeksit) sekä jäkäliden vaurioluokituksen avulla pyritään arvioimaan kaukokulkeutuvien ilmansaasteiden ja ilmansaastekuormituksen, erityisesti rikki- ja typpilaskeumassa, tapahtuvien muutosten vaikutuksia YYS-alueiden epifyyttiyhteisöihin.

Valkea-Kotisen makrojäkälissä esiintyy kaikkein herkimpiä lajeja, kuten naavamaisia jäkäläiä hyvin vähän, sen sijaan saasteita kestävä sormipaisukarve vallitsee. Sormipaisukarpeessa on todettu lieviä vaurioita, jotka mahdollisesti johtuvat ilmansaasteiden vaikutuksesta. Valkea-Kotisella ilmansaasteindeksien arvot jäävät alhaisemmiksi kuin Hietajärvellä ja Pesosjärvellä. Valkea-Kotisella ilmansaastekuormitus on ollut YYS-alueista korkein ja on oletettavasti vaikuttanut alueen runkojäkälisiin.

Hietajärvellä saasteita kestävä keltatyvikarve ja sormipaisukarve ovat peittävydeltään runsaimpia, mutta ilmansaasteille herkkiä lajeja, esimerkiksi naavamaisia jäkäläiä esiintyy runsaammin kuin Valkea-Kotisella. Sormipaisukarpeessa ei ole havaittu vaurioita. Siihen, onko ilmansaasteilla kuitenkin ollut vaikutusta Hietajärven runkojäkälisiin on vaikea ottaa kantaa, koska tässä yhteydessä ei ole ollut käytettävissä tietoa naavamaisten jäkäliden runsaudesta seuranta-alueilla joitakin vuosikymmeniä sitten. Hietajärven ilmansaastekuormitus on ollut jossain määrin alhaisempaa kuin Valkea-Kotisella. Ilmansaasteindeksien arvot ovat korkeampia kuin Valkea-Kotisella, mutta alhaisempia kuin Pesosjärvellä.

Pesosjärvellä ei jäkäläkartoituksella voida osoittaa kaukokulkeutuvien ilmansaasteiden vaikutuksia. Runkojäkäläiä on paljon ja erityisesti ilmansaasteille herkien loppujen peittävydet ovat suuret. Erityisen suuria luppomääriä tavataan paikoin poron ulottumattomissa olevilla ylärungoilla. Pesosjärvellä kaikkien ilmansaasteindeksien arvot ovat kaikista YYS-alueista korkeimmat.

Vuoskojärven männyillä esiintyy vähän jäkälälajeja ja jäkäliden peittävydet ovat erittäin pienet. Oletettavasti tämä johtuu ainakin pääosin luontaisista tekijöistä. Tunturikoivun rungoilla sen sijaan esiintyy runsaasti koivunruskokarvetta, jota pidetään saasteille herkkänä lajina. Ilmansaasteiden vaikutukseen Vuoskojärven jäkäläyhteisöihin ei voida tässä käytetyillä menetelmillä ottaa kantaa. Vuoskojärven ilmansaastekuormitus on ollut eteläisiä YYS-alueita alhaisempaa, tosin Kuolan teollisuusalueen päästöjen vaikutukset näkyvät mm. kohonneina sadeveden raskasmetallipitoisuuksina ja ajoittain esiintyy kohonneita ilman rikkidioksi- ja raskasmetallipitoisuuksia.

Tässä tarkasteltavalla seurantajaksolla 1988-1998 sadeveden sulfaatti- ja vetionipitoisuudet ja laskeuma ovat Ilmatieteen laitoksen mittausten mukaan alenuneet merkittävästi kaikilla YYS-alueilla. Aleneminen on ollut voimakkainta eteläisillä seuranta-alueilla. Myös nitraatti- ja ammoniumtyypen pitoisuudet ja las-

keuma ovat alentuneet etenkin Valkea-Kotisella ja Hietajärvellä ja jossain määrin myös Pesosjärvellä. Millään YYS-alueella ei kuitenkaan ole havaittavissa seuranta-kaudella yksiselitteistä nousevaa trendiä ilmansaasteindeksien arvoissa.

Koska YYS-alueet sijaitsevat ns. tausta-alueilla, on ilmansaastekuormitus alunperinkin ollut alhainen verrattuna lähellä päästölähteitä sijaitseviin alueisiin. Kaukokulkeutuvien ilmansaasteiden mahdollisia vaikutuksia on Valkea-Kotista lukuunottamatta käytetyillä menetelmillä vaikea osoittaa. Tausta-alueilla mahdolliset ilmansaastekuormituksen alenemisen vaikutukset näkyvät myös todennäköisesti hitaasti ja suuremmalla viiveellä verrattuna voimakkaammin kuormitettuihin alueisiin. Saattaa myös olla, ettei käytetty seurantamenetelmä ole tarpeeksi herkkä vähittäisen muutoksen havaitsemiseen näin lyhyellä seurantajaksolla varsinkin, kun myös luontaisilla ja mittaukseen liittyvillä subjektiivisilla tekijöillä voi olla vaikutusta saatuihin tuloksiin.

Käytetyistä indekseistä PSI-indeksin arvoon vaikuttaa voimakkaasti jäkälien kokonaispeittävyys rungoilla. Indeksillä on siten herkkä myös luontaisille eroille jäkälien peittävyyksissä ja subjektiivisille tekijöille työn tarkkuudessa. Jäkäliden suhteellisen peittävyys huomioiva WS-indeksi vaikuttaa käyttökelpoisemmalta, vaikkakin sen antamiin tuloksiin on suhtauduttava varauksin, mikäli jäkälien kokonaispeittävyys rungoilla on erittäin alhainen. MS-indeksin arvot noudattelivat tarkastellussa aineistossa pitkälti WS-indeksin arvoja. Koska MS-indeksi ei ota huomioon lajien peittävyystietoa, ainoastaan esiintymistiedon, indeksi hävittää käytettävissä olevaa informaatiota, eikä ole erityisen herkkä havaitsemaan eroja alueiden ja seurantavuosien välillä.

Summary

Epiphytic lichens on Scots pine trunks have been monitored in 1988-1998 within the Integrated Monitoring Programme (ICP IM) at four IM areas: Valkea-Kotinen (Lammi), Hietajärvi (Lieksa), Pesosjärvi (Kuusamo) and Vuoskojärvi (Utsjoki). During this period observations were repeated mainly four times. The coverage of epiphyte species (according to a specific species list, consisting mainly of macrolichens) on Scots pine trunks were monitored by a line method (Environment Data Centre 1993). Also the species not encountered along the measurement lines, yet existing on the trunks, were listed. At the two northernmost areas, Pesosjärvi and Vuoskojärvi, the upper lines were placed higher up to avoid the grazing effect of reindeer. At the mountain birch plots at the Vuoskojärvi area only the lichen species were listed at four height intervals. The vitality of all lichen species as a whole and of *Hypogymnia physodes* separately was estimated according to the Finnish Standard for lichen vitality (Suomen Standardisoimisliitto 1990).

Possible effects of transboundary air pollution (especially sulphur and nitrogen) and changes in air pollution inputs during the monitoring period were assessed on the basis of the occurrence and abundance of lichen species, vitality of lichens, and air pollution indices (PSI, see Environment Data Centre 1993; WS and MS, see Liu 1996; air pollution sensitivity values for species from Hultengren et al. 1991).

The species composition and abundance of epiphytic lichens varied between the different IM areas. This is partly due to the geographical location of the sites. Each IM area represents its own vegetation zone (Bergström et al. 1995).

At the southernmost monitoring area, Valkea-Kotinen, possible effects of air pollution could be detected. The abundance of most sensitive lichen species, e.g. filamentous *Bryoria*- and *Usnea*-species was low. The macrolichen vegetation composed almost entirely of tolerant *Hypogymnia physodes*. Although the number of other species was quite high, their total cover remained low. Also slight damage in *Hypogymnia physodes* indicate possible effects of air pollution. The values of air pollution indices were lower compared with Hietajärvi and Pesosjärvi. At the Valkea-Kotinen the deposition of air pollutants has been the highest of all the IM areas.

At the Hietajärvi area the number of epiphytic macrolichens was high. Tolerant lichen species, *Parmeliopsis ambigua* and *Hypogymnia physodes*, were most abundant, but the abundance of sensitive filamentous lichens was higher compared with Valkea-Kotinen. No damage was detected in *Hypogymnia physodes*. The values of air pollution indices were higher than at Valkea-Kotinen, but lower than at Pesosjärvi. However, it is impossible to say whether the epiphyte community at Hietajärvi is in 'natural' state or not, because no information was available about e.g. the abundance of sensitive species for some decades ago.

At Pesosjärvi no effects of transboundary air pollution could be shown. The coverage of macrolichens, especially sensitive *Bryoria*-species was very high. There was no damage in *Hypogymnia physodes* and the values of all indices were higher than at the other IM areas.

At the Vuoskojärvi area the number and abundance of lichen species on Scots pine trunks were very low. This may be explained mainly by natural reasons. Vuoskojärvi is situated at the northernmost limit of pine forests in Finland and many lichen

species occur there close to the margins of their distribution area. However, on mountain birch trunks quite sensitive *Melanelia olivacea* is very common. Due to the scarcity of lichens on Scots pine trunks the values of indices vary a lot. It can be concluded, that the methods used are not suitable for detecting effects of air pollution at the Vuoskojärvi area. The air pollution deposition is normally lower at Vuoskojärvi than at the other IM areas. However, Vuoskojärvi is sharply affected by emissions of Russia when the wind is from the east (Ruoho-Airola et al. 1998).

The IM areas are background areas with no local pollution sources nearby. Thus the possible effects of air pollutants on epiphytes are likely to be minor and possible changes in epiphyte communities slow and small compared with areas under heavier pollution impact. In this study only a possible effect of transboundary air pollution at Valkea-Kotinen could be shown by the methods used.

During the monitoring period a decreasing trend was detected for the concentration and deposition of air pollutants, especially for sulphate (Ruoho-Airola et al. 1998). The downward trend has been stronger at the southern IM areas. However, the values of air pollution indices did not show any response to decreasing pollution inputs. Either the monitoring period was too short to detect response to the decreasing air pollution input or the methods used are not sensitive enough to detect possible slight changes in epiphyte communities in background areas.

The PSI values are strongly dependent on total cover of lichens on trunks, because it takes into account the real cover of lichens. Therefore, PSI is sensitive to differences in abundance of lichens in different monitoring areas/plots caused e.g. by natural factors, as well as for subjective factors in field work. The WS-index, which takes into account the relative cover of lichens seems, therefore, to be more useful in monitoring. However, if the coverage of lichens on trunks is very low (e.g. at Vuoskojärvi) the WS results may be less reliable. The MS gives quite similar results compared with WS. Because MS only takes into account the presence of lichen species, it, however, wastes information. Thus it may be less sensitive to differences in plots/years.

Kiitokset

Tuija Ruoho-Airolalle parhaimmat kiitokset seuranta-aineistojen toimittamisesta sekä arvokkaista neuvoista sadeveden kemian ja laskeuman tulosten käsittelyyn sekä kommentteista käsikirjoitukseen. Kiitämme myös Mikko Kuusista ja Ahti Mäkistä monista parannusehdotuksista käsikirjoitukseen. Sampsa Lommille kiitokset avusta jäkälien määrittämisessä. Runkojäkälien seurannan maastotöitä ovat eri vuosina ja eri alueilla toteuttaneet Outi Airaksinen, Pekka Halonen, Sirpa Hautala, Risto Heikkinen, Markku Heinonen, Saara Keränen, Tupuna Kovanen, Markku Lehtelä, Reijo Luhtala, Veli-Pekka Rautiainen ja Pirjo Welling, josta heille kiitos.

Kirjallisuus

- Aastrup, M., Bringmark, L., Bråkenhielm, S., Hultberg, L., Iverfeldt, Å., Kvarnäs, H., Liu, Q., Löfgren, S. & Thunholm, B. 1996. Impact of Air Pollutants on Processes in Small Catchments. Integrated Monitoring 1982-1995 in Sweden. Swedish Environmental Protection Agency, Report 4524. 39 s.
- Ahti, T. 1981. Jäkälien määrittäminen. Helsingin yliopiston kasvitieteen laitoksen monisteita 72: 1-71.
- Airaksinen, O., Lindholm, T. & Mäkelä, K. 1989a. Metsäkasvillisuus ja puiden runkojen jäkälät Kotisten yhdenntyn seurannan alueella vuonna 1988. Ympäristöministeriö, ympäristönsuojeluosasto. Selvitys 71. 33 s.
- Airaksinen, O., Lindholm, T. & Mäkelä, K. 1989b. Metsäkasvillisuus ja puiden runkojen jäkälät Kotisten yhdenntyn seurannan alueella vuonna 1988. Liitteet. Ympäristöministeriö, ympäristönsuojeluosasto. Selvitys 71. 33 s.
- Bergström, I. 1998. The Integrated Monitoring Programme in Finland. Boreal Environment Research 3. 201-203.
- Bergström, I., Mäkelä, K. & Starr, M. (toim.) 1995. Integrated Monitoring Programme in Finland. First national Report. Ministry of the Environment, Environmental Policy Department, Helsinki. Report 1. 138 s. + 3 liitettä.
- Bruteig, I. E. 1992. The epiphytic lichen *Hypogymnia physodes* as a biomonitor of atmospheric nitrogen and sulphur deposition in Norway. Environmental Monitoring and Assessment 26: 27-47.
- Bråkenhielm, S. 1989. Fältinstruktion för observatörer inom PMK-vegetation. Statens Naturvårdsverk. Uppsala. 70 s.
- Bråkenhielm, S. & Liu, Q. 1993. Monitoring epiphytes as biological indicators. BIOGEOMON Symposium, Prague, Sept. 18-20, 1993. Preliminary version.
- Bråkenhielm, S. & Liu, Q. 1995. Spatial and temporal variability of algae and lichen epiphytes on trees in relation to pollutant deposition in Sweden. Water, Air and Soil Pollution 79: 61-74.
- Edmonds, R. L., Thomas, T. B. & Rhodes, J. J. 1991. Canopy and soil modification of precipitation chemistry in a temperate rain forest. Soil Sci. Soc. Am. J. 55: 1685-1693.
- Environment Data Centre 1989. Field and Laboratory Manual. International Co-operative Programme on Intergrated Monitoring. National Board of Waters and the Environment, Helsinki. 127 s.
- Environment Data Centre 1993. Manual for Integrated Monitoring. Programme Phase 1993-1996. UN ECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution. International Co-operative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems. National Board of Waters and the Environment, Helsinki. 114 s.
- Etelä-Suomen ja Pohjanmaan metsien suojelun tarve -työryhmä 2000. Metsien suojelun tarve Etelä-Suomessa ja Pohjanmaalla. Suomen ympäristö 437.
- Farmer, A. M., Bates, J. W. & Bell, J. N. B. 1991. Seasonal variations in acidic pollutant inputs and their effects on the chemistry of stemflow, bark and epiphytic tissues in three oak woodlands in N.W. Britain. New Phytol. 118: 441-451.
- Gries, C. 1996. Lichens as indicators of air pollution. Julkaisussa: Nash III, T. H. (toim.), Lichen Biology: 240-254. Cambridge University Press.
- Halonen, P. 1998. Runkojäkälien (EP) seuranta-alojen mittaukset Pesosjärven yhdenntyn seurannan alueella vuonna 1997. Työselostus. Käsikirjoitus. Suomen ympäristökeskus, Luonto- ja maankäyttöyksikkö. 8 s.
- Halonen, P., Hyvärinen, M. & Kauppi, M. 1991. The epiphytic lichen flora on conifers in relation to climate in the Finnish Middle Boreal Subzone. Lichenologist 23(1): 61-72.
- Hawksworth, D. L. 1973. Mapping studies. Julkaisussa: Ferry, B.W., Baddeley, M.S. ja Hawksworth, D.L. (toim.), Air pollution and lichens: 28-76.
- Helle, P., Helle, T. & Mönkkönen, M. 1989. Lupon esiintyminen Oulangan kansallispuistossa. Folia Forestalia 736: 94-98.

- Helle, T., Norokorpi, Y. & Saastamoinen, O. 1990. Reduction of arboreal lichens in two spruce stands in northern Finland between 1976 and 1988. Julkaisussa: Kinnunen, K. ja Varvola, M. (toim.), Effects of air pollutants and acidification in combination with climatic factors on forests, soils, and waters in northern Fennoscandia: 57-65. Report from a workshop held in Rovaniemi, Finland 17-19 October, 1988. Nordic Council of Ministers, Nord 1990:20.
- Holopainen, T. H. 1984. Types and distribution of ultrastructural symptoms in epiphytic lichens in several urban and industrial environments in Finland. *Annales Botanici Fennici* 21: 213-229.
- Holopainen, T. & Kauppi, M. 1989. A comparison of light, fluorescence and electron microscopic observations in assessing the SO₂ injury of lichens under different moisture conditions. *Lichenologist* 21: 119-134.
- Holopainen, T. & Kärenlampi, L. 1984. Injuries to lichen ultrastructure caused by sulphur dioxide fumigations. *New Phytologist* 98: 285-294.
- Holopainen, T. & Kärenlampi, L. 1985. Characteristic ultrastructural symptoms caused in lichens by experimental exposure to nitrogen compounds and fluorides. *Annales Botanici Fennici* 22: 333-342.
- Hultengren, S., Martinsson, P.-O. & Stenström, J. 1991. Lavar och luftföroreningar. Känslighetsklassning och indexberäkning av epifytiska lavar. *Naturvårdsverket rapport 3967*.
- Hultengren, S., Martinsson, P.-O. & Stenström, J. 1992. Känslighetslista med tillägg av kväve- och pH-tal. Bilaga till: Hultengren, S., Martinsson, P.-O. och Stenström, J. 1991: Lavar och luftföroreningar. Känslighetsklassning och indexberäkning av epifytiska lavar. *Naturvårdsverket rapport 3967*. 15 s.
- Hyvärinen, M., Halonen, P. & Kauppi, M. 1992. Influence of stand age and structure on the epiphytic lichen vegetation in the middle - boreal forests of Finland. *Lichenologist* 24(2): 165-180.
- Hämet-Ahti, L. 1963. Zonation of the mountain birch forests in northernmost Fennoscandia. *Annales Botanici Societatis Zoologicae Botanicae Fennicae Vanamo* 34(4): 1-127.
- ICP IM Programme Centre 1998. Manual for Integrated Monitoring. UN ECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution. International Co-operative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems. Finnish Environment Institute.
- Ilmatieteen laitos 1991. Tilastoja Suomen ilmastosta 1961-1990. Liite Suomen meteorologiseen vuosikirjaan, nide 90 osa 1 B 1990. Helsinki. 125 s.
- Insarova, I. D., Insarov, G. E., Bråkenhielm, S., Hultengren, S., Martinsson, P.-O. & Semenov, S. M. 1992. Lichen sensitivity and air pollution. Swedish Environmental Protection Agency Report 4007. Uppsala.
- Jukola-Sulonen, E.-L. & Kleemola, J. 1994. Havupuiden epifyyttijäkälät ympäristöindikaattoreina. Julkaisussa: Mälkönen, E. ja Sivula, H. (toim.), Suomen metsien kunto. Metsien terveydentilan tutkimusohjelman väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 527: 54-71.
- Jussila, I. 1997. Porin-Harjavallan ja Pohjois-Satakunnan alueen ilman laadun seuranta bioindikaattorien avulla vuosina 1996-97. SYKESARJA B 12. Turun yliopisto. Satakunnan ympäristötutkimuskeskus. 78 s.
- Jussila, I., Joensuu, E. & Laihonon, P. 1999. Ilman laadun bioindikaattoriseuranta metsäympäristössä. Ympäristöopas 59. Ympäristöministeriö. 57 s.
- Kauppi, M. & Halonen, P. 1992. Lichens as indicators of air pollution in Oulu, northern Finland. *Annales Botanici Fennici* 29: 1-9.
- Keränen, S. & Kokko, A. 1993. Pesosjärven yhdennetyn seurannan alueen kasvillisuus vuosina 1989 ja 1990. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja, sarja A 171: 1-90.
- Kleemola, S. & Forsius, M. 1999. ICP IM activities, monitoring sites and available data. Julkaisussa: Kleemola, S. ja Forsius, M. (toim.), 8th Annual Report 1999. The Finnish Environment 325: 10-15.
- Kokko, A. 1990. Maastotyöohjeet. Runkoepifyytit. Käsikirjoitus. Vesi- ja ympäristöhallitus, Luonnonsuojelututkimusyksikkö. 6 s. + 3 liitettä.
- Kokko, A. & Kovanen, T. 1990. Metsäkasvillisuus ja puiden runkojen jäkälät Pesosjärven yhdennetyn seurannan alueella vuonna 1989. Käsikirjoitus. Vesi- ja ympäristöhallitus, luonnonsuojelututkimusyksikkö. 28 s.

- Kovanen, T. 1992. Kasvillisuusnäytealojen ja männyn runkojäkälien seurantaan käytettyjen tutkimusmenetelmien arviointi sekä männyn runkojäkälien esiintyminen ja korkeusjakauma Pesosjärven yhdenntyn ympäristön seurannan alueella. Tutkielma. Oulun yliopisto. Kasvitieteen laitos. 63 s. + 3 liitettä.
- Kubin, E. 1989. Sormipaisukarvejäkälän, *Hypogymnia physodes*, alkuainepitoisuudet Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakuntien alueella 1986. Julkaisussa: Varmola, M. ja Palviainen, P. (toim.), Lapin metsien terveys. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1989. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 347: 131-140.
- Kubin, E. 1993. Sormipaisukarvejäkälän kemiallinen koostumus laskeuman kuvaajana. Julkaisussa: Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E.-L., Mikkela, H. ja Nieminen, T. (toim.), Metsäluonto ja ilmansaasteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 446: 153-158.
- Kulmala, A., Leinonen, L., Ruoho-Airola, T., Salmi, T. & Walden, J. 1998. Air quality trends in Finland. Ilmanlaatumittauksia. Ilmatieteen laitos. 91 s.
- Kuusinen, M. 1993. Karikeaineistojen avulla selvitetään muutoksia herkkien jäkälien esiintymisessä. Julkaisussa: Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E.-L., Mikkela, H. ja Nieminen, T. (toim.), Metsäluonto ja ilmansaasteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 446: 147-148.
- Kuusinen, M., Ahti, T. & Lommi, S. 1996. Pieni jäkäläopas. Helsingin yliopiston kasvitieteen monisteita 146: 1-53.
- Kuusinen, M., Mikkola, K. & Jukola-Sulonen, E.-L. 1990. Epiphytic Lichens on Conifers in the 1960 to 1980's in Finland. Julkaisussa: Kauppi, P., Anttila, P. ja Kenttämies, K. (toim.), Acidification in Finland: 397-420. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg.
- Kärenlampi, L., Oksanen, J. & Anttonen, T. 1989. Growth rate of epiphytic lichens as a bioindicator. Julkaisussa: Bucher, J.B. ja Bucher-Wallin, I. (toim.), Air pollution and forest decline: 445-446. Birmensdorf.
- Laurila, T., Tuovinen, J.-P. & Lättilä, H. 1991. Lapin ilmansaasteet. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaatuosasto, Helsinki. 67 s.
- Lehto, J. & Leikola, M. 1987. Käytännön metsätyypit. Kirjayhtymä. Helsinki. 96 s.
- Lindholm, T., Airaksinen, O., Mäkelä, K. & Tuominen, S. 1988. Kotisten yhdenntyn seurannan alueen kasvillisuus. Ympäristöministeriö, ympäristönsuojeluosasto. Yhdenntyn ympäristön seurannan raportti no. 1, sarja D, 4/1988. 114 s. + 3 liitettä.
- Liu, Q. 1996. Vegetation monitoring in the ICP IM Programme: Evaluation of data with regard to effects of N and S deposition. Julkaisussa: Kleemola, S. ja Forsius, M. (toim.), 5th Annual Report 1996. The Finnish Environment 27: 55-79.
- Lommi, S. & Kuusinen, M. 1997. Männyn ja tunturikoivun epifyyttijäkälien tunnistusopas. Moniste. 4.8.1997. Versio 1.1. Suomen ympäristökeskus, Luonto- ja maankäyttökäytäntö.
- Mäkelä, K. 1992. Ympäristön yhdenntetty seuranta. Kasvillisuuden intensiivitason seuranta. Maastotyöohjeet. Käsikirjoitus 17.7.1992. Vesi- ja ympäristöhallitus, luonnonsuojelututkimusyksikkö. 26 s. + 10 liitettä.
- Mäkelä, K. 1994. Ympäristön yhdenntetty seuranta. Alaohjelmien runkojäkälät (Trunk epiphytes, EP) ja viherlevät (Aerial green algae, AL) maastotyöohjeet. Käsikirjoitus 7.7.1994. Vesi- ja ympäristöhallitus, luonnonsuojelututkimusyksikkö. 22 s. + 9 liitettä.
- Mäkelä, K. 1997. Epifyyttien seurannan maastotyöohjeet ympäristön yhdenntyn seurannan ohjelmassa. Suomen ympäristökeskuksen moniste 72: 1-66.
- Nash III TH. 1996. Nutrients, elemental accumulation and mineral cycling. Julkaisussa: Nash III TH (toim.), Lichen biology. Cambridge University Press. 136-153.
- Niskanen, I. 1995. Pääkaupunkiseudun bioindikaattoriseuranta vuonna 1994. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1995:11. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta (YTV).
- Niskanen, I., Ellonen, T., Nousiainen, O., Veijola, H. & Miettinen, M. 1999. Pohjois-Karjalan bioindikaattoritutkimus vuosina 1988-1999. Alueelliset ympäristöjulkaisut 146. Pohjois-Karjalan ympäristökeskus.
- Niskanen, I., Veijola, H., Mattila, T., Harju, M.-P. & Ellonen, T. 1997. Länsi-Uudenmaan ilmanlaadun bioindikaattoritutkimus vuonna 1995. Uudenmaan liiton julkaisuja E38. 85 s.
- Nordic Council of Ministers 1988. Guidelines for Integrated Monitoring in the Nordic Countries. NORD 1988:26. Copenhagen. 61 s.
- Oksanen, J. 1995. Jäkälät reagoivat herkimmin. Julkaisussa: Tikkanen, E. (toim.), Kuolan saastepestöt Lapin metsien rasitteena. Itä-Lapin metsävaurioprojektin loppuraportti: 103-119.

- Oksanen, J., Tynnyrinen, S. & Kärenlampi, L. 1990. Testing for increased abundance of epiphytic lichen on a local pollution gradient. *Annales Botanici Fennici* 27:301-307.
- Parker, G. 1983. Throughfall and stemflow in the forest nutrient cycle. *Advantages in Ecological Research* 13: 58-133.
- Partanen, P. & Veijola, H. 1996. Bioindikaattoriseurannan tilastollinen arviointi. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1996: 18. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta (YTV).
- Pihlström, M., Mäkinen, A., Hämekoski, K. & Ruuhijärvi, R. 1994. Pääkaupunkiseudun metsien bioindikaattoriseuranta 1988-1993. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1994:9. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta (YTV).
- Poikolainen, J. & Kuusinen, M. 1998. Epifyyttijäkälien runsaus metsäpuiden karikkeessa vuosina 1967-1994. Julkaisussa: Mälkönen, E. (toim.), Ympäristömuutos ja metsien kunto. Metsien terveydentilan tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 691: 133.
- Poikolainen, J., Kuusinen, M. & Mikkola, K. 1998a. Puiden jäkälät ilmanlaadun indikaattoreina. Julkaisussa: Mälkönen, E. (toim.), Ympäristömuutos ja metsien kunto. Metsien terveydentilan tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 691: 128-132.
- Poikolainen, J., Kuusinen, M. & Mikkola, K. 1998b. Jäkälälajien runsauden ja ilmanpuhtausindeksin muutokset vuosina 1985-1995. Julkaisussa: Mälkönen, E. (toim.), Ympäristömuutos ja metsien kunto. Metsien terveydentilan tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 691: 134-138.
- Ranta, E., Rita, H. & Kouki, J. 1989. *Biometria. Tilastotiedettä ekologeille*. Yliopistopaino. Helsinki. 569 s.
- Ruoho-Airola, T. 1995. Air quality and deposition. Julkaisussa: Bergström, I., Mäkelä, K. ja Starr, M. (toim.), *Integrated Monitoring Programme in Finland. First national Report*. Ministry of the Environment, Environmental Policy Department, Helsinki. Report 1: 35.
- Ruoho-Airola, T. & Leinonen, L. 1994. Ympäristön yhdennetty seuranta. Mittaustuloksia 1991-1992. Laskeuman yhteenveto 1987-1992. Ilmatieteen laitos, Ilmansuojelun julkaisuja 20: 1-67.
- Ruoho-Airola, T. & Leinonen, L. 1996. Ympäristön yhdennetty seuranta. Ilmanlaatumittaukset 1993-1994. Laskeumatulosten vertailu jaksoon 1988-1992. Laskeumatulosten luotettavuus. Ilmatieteen laitos, Ilmansuojelun julkaisuja 24: 1-83.
- Ruoho-Airola, T., Syri, S. & Nordlund, G. 1998. Acid deposition trends at the Finnish Integrated Monitoring catchments in relation to emission reductions. *Boreal Environment Research* 3: 205-219.
- Starr, M. & Ukonmaanaho, L. 1994. Metsikkösadannan ja maaveden laatu ympäristön yhdennetyn seurannan valuma-alueilla. Julkaisussa: Mälkönen, E. ja Sivula, H. (toim.), Suomen metsien kunto. Metsien terveydentilan tutkimusohjelman väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 527: 271-284.
- Suomen Standardisoimisliitto 1990. SFS Standardi 5670. Ilmansuojelu. Bioindikaatio. Jäkäläkartoitus. 8 s.
- Tarhanen, S. 1998. Ultrastructural responses of the lichen *Bryoria fuscescens* to simulated acid rain and the heavy metal deposition. *Annals of Botany* 82: 735-746.
- Tarhanen, S. 2000. Responses of Epiphytic Lichens to Air Pollution in Northern Boreal Forest Ecosystems. Doctoral dissertation. Department of Ecology and Environmental Science. University of Kuopio. Kuopion yliopiston julkaisuja C. Luonnontieteet ja ympäristötieteet 108: 1-41 + 5 liitettä.
- Tarhanen, S., Holopainen, T., Poikolainen, J. & Oksanen, J. 1995. Kalvonvuoto epifyyttijäkälien soluissa. Julkaisussa: Tikkanen, E. (toim.), Kuolan saastepäästöt Lapin metsien rasiiteena. Itä-Lapin metsävaurioprojektin loppuraportti: 108-109.
- Tarhanen, S., Holopainen, T., Poikolainen, J. & Oksanen, J. 1996. Effect of industrial emissions on membrane permeability of epiphytic lichens in northern Finland and the Kola peninsula industrial areas. *Water, Air and Soil Pollution* 88: 189-201.
- Tarhanen, S., Poikolainen, J., Holopainen, T. & Oksanen, J. 2000. Photobiont ultrastructure of *Bryoria* lichens along pollution gradients in northern Finland and smelter areas in NW Russia. *New Phytologist* (painossa).
- Tuominen, S. 2000. Hietajärven yhdennetyn seurannan alueen kasvillisuus. Käsikirjoitus. Suomen ympäristökeskus, Luonto- ja maankäyttökysikkö.

- Tuominen, S. & Mäkelä, K. 1995. Epiphytes. Julkaisussa: Bergström, I., Mäkelä, K. ja Starr, M. (toim.), Integrated Monitoring Programme in Finland. First national Report. Ministry of the Environment, Environmental Policy Department, Helsinki. Report 1: 93-96.
- Ukonmaanaho, L. 1997. Laskeuman vaikutus lehvästösadannan, runkovalunnan, maaveden ja karikesadon kemialliseen koostumukseen neljällä tausta-alueella Suomessa. Lisensiaattitutkielma. Helsingin yliopisto. Ekologian ja systematiikan laitos. 88 s. + liite.
- Ukonmaanaho, L., Starr, M., Hirvi, J.-P., Kokko, A., Lahermo, P., Mannio, J., Paukola, T., Ruoho-Airola, T. & Tanskanen, H. 1998. Heavy metal concentrations in various aqueous and biotic media in Finnish Integrated Monitoring catchments. *Boreal Environment Research* 3: 235-249.
- Vitikainen, O., Ahti, T., Kuusinen, M., Lommi, S. & Ulvinen, T. 1997. Checklist of lichens and allied fungi of Finland. *Norrinia* 6: 1-123.
- Vuokila, Y. 1980. Metsänkasvatuksen perusteet ja menetelmät. WSOY. Porvoo. 256 s.
- Vuokko, 1982. Naavatiedustelun tulos: Kuuset kuriin, parta pois! *Suomen Luonto* 2: 44-46.
- Welling, P. 1993. Aluskasvillisuus ja männyn runkojen jäkälät Valkea-Kotisen sekä kuusen neulasten viherlevät Valkea-Kotisen ja Musta-Kotisen yhdenneytymisen seurannan alueilla vuonna 1992. Käsikirjoitus. Vesi- ja ympäristöhallitus. 49 s.
- Wooding, S.J. & Farmer, A. M. 1993. Impacts of sulphur and nitrogen deposition on sites and species of nature conservation importance in Great Britain. *Biological Conservation* 63: 23-30.
- Ympäristöntutkimuksen ja -seurannan työryhmä 1986. Yhdenneytymisen seuranta luonnontilaisilla valuma-alueilla. Julkaisussa: Ympäristötutkimus ja -seuranta. *Komiteamietintö* 39: 54-59.

Liite 1.

Runkojäkälien peittävyuden keskiarvo (\bar{x}) ja keskihajonta (s.d.) sekä ilmansaasteindeksien PSI, WS ja MS arvot Pesosjärven epifyyttialoilla EP3 ja EP4 (n=8) mäntyjen alarungoilla (linjat 120 ja 150 cm) vuonna 1989.

	EP3		EP4	
	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.
LAJIT				
<i>Alectoria sarmentosa</i>	0,1	0,3	0,5	0,9
<i>Bryoria</i> spp.	14,4	5,1	24,5	12,7
<i>Hypogymnia physodes</i>	5,7	6,2	0,1	0,3
<i>Imshaugia aleurites</i>	1,6	1,5	0,7	1,6
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	8,8	5,9	3,2	2,6
<i>Parmeliopsis hyperopta</i>	0,6	2,0	-	-
Kokonaispeittävyys	31,3	10,5	29,0	14,7
Taksonien lukumäärä	6		5	
INDEKSIT				
PSI	129,2	34,5	161,8	81,7
WS	4,2	0,6	5,6	0,3
MS	4,3	0,3	4,9	0,5

Runkojäkälien peittävyuden keskiarvo (\bar{x}) ja keskihajonta (s.d.) sekä ilmansaasteindeksien PSI, WS ja MS arvot Pesosjärven epifyyttialoilla EP3 ja EP4 (n=8) mäntyjen ylärungoilla (linjat 250 ja 280 cm) vuonna 1989.

	EP3		EP4	
	\bar{x}	s.d.	\bar{x}	s.d.
LAJIT				
<i>Alectoria sarmentosa</i>	-	-	1,4	2,5
<i>Bryoria</i> spp.	37,4	12,6	34,8	10,3
<i>Hypogymnia physodes</i>	1,8	3,1	-	-
<i>Imshaugia aleurites</i>	1,1	0,9	0,3	0,5
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	5,3	4,5	1,0	1,4
<i>Parmeliopsis hyperopta</i>	0,1	0,3	-	-
Kokonaispeittävyys	45,7	16,0	37,5	10,9
Taksonien lukumäärä	5		4	
INDEKSIT				
PSI	246,7	82,1	222,8	63,3
WS	5,4	0,5	6,0	0,1
MS	4,3	0,3	5,3	0,7

Liite 2.

Runkojäkälälajien kokonaispeittävyysien keskiarvo (\bar{x}), keskiarvon suhteellinen keskivirhe prosentteina (s.e. %), keskihajonta (s.d.), mediaani (Md), minimi (min.) ja maksimi (max.) yhdenneen seurannan epifyttialoilla eri seurantavuosina. Vuosiluvun jälkeen koodit a = alalinjojen 60 ,90, 120 ja 150 cm keskiarvoja, a* = alalinjojen 120 ja 150 keskiarvoja, y = ylälinjojen 250 ja 280 cm keskiarvoja ja y* = linjan 220 keskiarvoja (n=8, paitsi Vuoskojärven alalla EPI vuonna 1989 n=7). Arvo 0,0 tarkoittaa arvoja < 0,05.

	\bar{x}	s.e. %	s.d.	Md	min.	max.
Valkea-Kotinen EP7						
1988a	10,6	17,3	5,2	9,2	5,2	19,8
1990a	15,4	10,7	4,7	15,0	10,6	24,0
1992a	16,3	6,3	2,9	15,9	12,9	21,9
1994a	16,7	9,3	4,4	16,3	8,6	22,8
1997a	18,6	11,1	5,9	19,1	10,1	27,8
Valkea-Kotinen EP9						
1990a	15,9	10,5	4,7	15,7	9,5	21,0
1992a	12,0	8,2	2,8	13,1	7,4	14,8
1994a	14,6	9,7	4,0	16,1	6,9	17,6
1997a	16,6	5,3	2,5	16,6	12,4	21,0
Hietajärvi EPI						
1990a	39,6	7,0	7,9	41,3	26,7	49,3
1992a	35,7	10,2	10,3	38,8	21,6	46,6
1994a	33,6	7,2	6,8	33,8	24,2	42,9
1997a	42,0	6,6	7,8	41,3	29,5	54,0
Hietajärvi EP2						
1990a	21,7	4,3	2,7	21,7	16,7	26,1
1992a	21,4	3,0	1,8	20,9	19,4	25,0
1994a	18,4	7,2	3,8	19,8	10,9	21,8
1997a	26,8	8,7	6,6	23,9	22,3	42,2
Hietajärvi EP3						
1990a	29,9	7,3	6,2	29,3	20,2	39,2
1992a	33,2	7,1	6,6	32,6	25,6	43,9
1994a	29,1	7,1	5,9	30,2	20,5	38,6
Pesosjärvi EP2						
1989a*	12,5	15,9	5,6	13,7	2,2	19,8
1989y	10,9	32,8	10,1	9,9	0,1	24,3
1991a*	9,6	19,1	5,2	8,9	1,1	16,5
1991y	9,4	32,8	8,7	8,1	0,0	20,8
1994a	7,0	19,9	3,9	6,1	2,2	14,8
1994a*	5,9	22,0	3,7	5,5	0,9	12,6
1994y	5,3	32,2	4,8	4,5	0,0	11,9
1998a	15,0	19,8	8,4	12,7	5,0	30,8
1998a*	14,9	21,6	9,1	13,7	3,4	31,8
1998y	11,5	27,1	8,8	10,9	1,3	22,7

	\bar{x}	s.e. %	s.d.	Md	min.	max.
Pesosjärvi EP5						
1989a*	38,0	7,3	7,9	36,6	29,8	53,2
1989y	46,7	11,0	14,6	43,5	29,1	68,7
1991a*	39,4	7,3	8,2	39,5	23,5	53,1
1991y	42,4	10,0	12,8	45,1	23,8	59,3
1994a	20,7	8,2	4,8	21,4	13,7	27,5
1994a*	22,4	9,6	6,1	22,8	12,5	30,9
1994y	30,7	12,3	10,7	27,8	18,5	47,1
1997a	34,6	4,9	4,8	33,4	27,8	41,6
1997a*	36,8	5,0	5,2	36,1	30,8	46,1
1997y	42,9	10,0	12,2	38,9	26,4	61,8
Vuoskojärvi EPI						
1989a	1,0	25,1	0,7	1,2	0,1	2,0
1989y*	0,1	87,7	0,3	0,0	0,0	0,8
1991a	2,1	39,7	2,4	1,6	0,1	6,9
1991y*	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1994a	1,8	25,8	1,3	1,8	0,1	4,0
1994y	0,2	85,5	0,4	0,0	0,0	1,1
1997a	2,2	21,7	1,4	2,1	0,1	4,5
1997y	0,1	84,8	0,3	0,0	0,0	1,0
Vuoskojärvi EP3						
1989a	1,8	34,5	1,7	1,3	0,0	5,4
1989y*	0,4	45,7	0,5	0,2	0,0	1,3
1991a	2,0	33,0	1,9	1,7	0,1	6,0
1991y*	0,2	90,9	0,4	0,0	0,0	1,1
1994a	1,3	24,2	0,9	1,5	0,0	2,6
1994y	0,1	67,6	0,1	0,0	0,0	0,4
1997a	1,9	33,2	1,8	1,6	0,0	5,6
1997y	0,0	49,7	0,1	0,0	0,0	0,1

Liite 3.

Runkojäkälälajistosta lasketun PSI-indeksin keskiarvo (\bar{x}), keskiarvon suhteellinen keskivirhe prosentteina (s.e. %), keskiahajonta (s.d.), mediaani (Md), minimi (min.) ja maksimi (max.) yhdenneen seurannan epifytyttöillä eri seuranta-vuosina. Vuosiluvun jälkeen koodit a = alalinjojen 60, 90, 120 ja 150 cm tuloksista lasketut arvot, a* = lajit *Imshau-gia aleurites* ja *Parmeliopsis hyperopta* käsitelty lajiparina, a** = alalinjojen 120 ja 150 cm tuloksista lasketut arvot, y = ylälinjojen 250 ja 280 cm tuloksista lasketut arvot ja y* = ylälinjan 220 cm tuloksista lasketut arvot (n=8, pait-si Vuoskojärven alalla EPI vuonna 1989 n=7). Arvo 0,0 tarkoittaa arvoja < 0,05.

	\bar{x}	s.e. %	s.d.	Md	min.	max.
Valkea-Kotinen EP7						
1988a	23,0	18,0	11,7	20,6	10,5	43,2
1990a	33,4	11,1	10,5	33,2	21,1	50,8
1992a	34,1	5,6	5,4	34,0	26,5	43,8
1994a	36,1	8,8	9,0	37,8	18,8	48,1
1997a	39,8	10,8	12,1	40,2	22,5	59,2
Valkea-Kotinen EP9						
1990a	33,2	10,0	9,4	32,7	18,9	43,9
1992a	24,8	7,7	5,4	26,3	16,4	29,6
1994a	30,7	9,0	7,8	33,7	14,7	36,7
1997a	34,6	5,3	5,2	35,5	25,8	43,4
Hietajärvi EPI						
1990a	98,2	7,2	19,9	100,4	72,6	126,3
1990a*	104,4	7,5	22,0	103,9	76,3	140,9
1992a	93,0	11,2	29,6	102,0	53,1	137,6
1992a*	100,8	10,8	30,9	107,5	60,1	149,8
1994a	93,4	7,5	19,7	90,3	67,7	127,6
1994a*	88,4	8,2	20,4	87,0	62,5	125,2
1997a	120,8	5,7	19,6	117,7	100,6	151,7
1997a*	115,8	6,4	21,1	111,5	92,4	148,0
Hietajärvi EP2						
1990a	55,5	5,6	8,8	53,2	45,2	73,6
1990a*	60,3	5,3	9,1	59,1	51,5	80,0
1992a	57,1	4,3	6,9	57,5	49,2	69,2
1992a*	64,1	4,7	8,5	64,7	54,3	76,6
1994a	53,3	9,6	14,5	59,6	26,2	65,6
1994a*	49,8	9,0	12,6	54,8	26,5	60,6
1997a	81,4	10,1	23,3	73,3	64,8	134,9
1997a*	78,6	10,1	22,4	70,5	62,4	130,2
Hietajärvi EP3						
1990a	78,9	7,5	16,8	80,8	52,7	103,9
1990a*	92,3	7,0	18,4	93,5	60,0	119,5
1992a	88,8	7,4	18,7	82,8	68,5	120,7
1992a*	100,9	7,2	20,6	93,7	82,3	132,9
1994a	91,5	7,0	18,1	89,7	66,5	118,9
1994a*	83,3	7,1	16,7	78,8	63,1	110,7

	\bar{x}	s.e. %	s.d.	Md	min.	max.
Pesosjärvi EP2						
1989a**	47,9	15,2	20,6	48,1	10,0	71,3
1989y	49,4	34,0	47,5	42,3	0,4	110,8
1991a**	36,9	16,7	17,4	38,1	4,4	56,4
1991y	46,8	33,3	44,1	41,7	0,0	97,7
1994a	24,9	17,6	12,4	22,0	7,1	49,4
1994a**	23,0	21,4	13,9	21,7	3,1	49,4
1994y	24,7	31,9	22,2	23,0	0,0	58,9
1998a	56,3	18,1	28,9	46,5	20,5	109,9
1998a**	61,6	20,2	35,1	55,8	17,7	128,3
1998y	55,5	28,5	44,7	43,7	6,3	112,9
Pesosjärvi EP5						
1989a**	194,4	10,2	56,1	197,3	125,7	278,6
1989y	253,2	11,7	84,0	224,4	165,2	379,8
1991a**	208,3	9,1	53,4	208,6	112,5	303,3
1991y	237,4	11,0	74,2	242,2	128,5	331,0
1994a	91,2	10,4	26,7	92,4	55,4	127,9
1994a**	113,6	11,4	36,7	113,5	60,0	165,0
1994y	174,2	11,8	58,1	155,4	102,4	265,1
1997a	162,4	9,1	41,8	151,4	119,5	238,4
1997a**	187,3	7,2	38,0	173,4	152,2	246,8
1997y	244,1	9,6	66,4	226,6	153,3	356,8
Vuoskojärvi EPI						
1989a	3,5	25,8	2,5	4,0	0,2	7,3
1989y*	0,7	95,4	1,8	0,0	0,0	4,8
1991a	8,5	46,6	11,2	5,4	0,2	33,6
1991y*	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1994a	6,2	26,7	4,7	6,2	0,2	15,1
1994y	0,7	81,6	1,7	0,0	0,0	4,7
1997a	8,2	21,9	5,1	6,8	0,3	15,2
1997y	0,5	90,3	1,2	0,0	0,0	3,4
Vuoskojärvi EP3						
1989a	6,6	35,8	6,7	4,3	0,0	20,2
1989y*	0,9	42,5	1,1	0,5	0,0	2,6
1991a	7,6	37,6	8,1	5,7	0,2	25,7
1991y*	0,3	87,1	0,8	0,0	0,0	2,2
1994a	5,6	27,5	4,4	5,4	0,0	11,7
1994y	0,2	66,2	0,3	0,0	0,0	0,7
1997a	8,5	35,2	8,4	7,5	0,0	25,9
1997y	0,3	49,1	0,4	0,0	0,0	0,9

Liite 4.

Runkojäkälälajistosta lasketun WS-indeksin keskiarvo (\bar{x}), keskiarvon suhteellinen keskivirhe prosentteina (s.e. %), keskiahajonta (s.d.), mediaani (Md), minimi (min.) ja maksimi (max.) yhdenntyn seurannan epifytyialoilla eri seuranta-vuosina. Vuosiluvun jälkeen koodit a = alalinjojen 60, 90, 120 ja 150 tuloksista lasketut arvot, a* = lajit *Imshaugia alearites* ja *Parmeliopsis hyperopta* käsitelty lajiparina, a** = alalinjojen 120 ja 150 cm tuloksista lasketut arvot, y = ylälinjojen 250 ja 280 cm tuloksista lasketut arvot ja y* = ylälinjan 220 cm tuloksista lasketut arvot (n=8, paitsi Vuoskojärven alalla EPI vuonna 1989 n=7). Arvo 0,0 tarkoittaa arvoja < 0,05.

	\bar{x}	s.e. %	s.d.	Md	min.	max.
Valkea-Kotinen EP7						
1988a	2,2	2,1	0,1	2,1	2,0	2,4
1990a	2,2	2,4	0,1	2,1	2,0	2,4
1992a	2,1	1,3	0,1	2,1	2,0	2,2
1994a	2,2	1,8	0,1	2,2	2,0	2,3
1997a	2,1	1,6	0,1	2,1	2,0	2,3
Valkea-Kotinen EP9						
1990a	2,1	2,5	0,1	2,0	2,0	2,5
1992a	2,1	1,3	0,1	2,1	2,0	2,2
1994a	2,1	2,0	0,1	2,1	2,0	2,4
1997a	2,1	0,8	0,0	2,1	2,0	2,1
Hietajärvi EPI						
1990a	2,5	2,8	0,2	2,4	2,2	2,8
1990a*	2,6	3,5	0,3	2,6	2,3	3,0
1992a	2,6	3,3	0,2	2,5	2,3	3,0
1992a*	2,8	3,9	0,3	2,8	2,5	3,3
1994a	2,8	4,1	0,3	2,8	2,4	3,3
1994a*	2,6	3,2	0,2	2,6	2,3	3,0
1997a	2,9	4,7	0,4	2,9	2,4	3,5
1997a*	2,8	4,1	0,3	2,8	2,4	3,1
Hietajärvi EP2						
1990a	2,6	3,6	0,3	2,6	2,2	2,8
1990a*	2,8	3,9	0,3	2,8	2,3	3,1
1992a	2,7	3,5	0,3	2,7	2,2	3,0
1992a*	3,0	3,8	0,3	3,1	2,5	3,4
1994a	2,9	4,1	0,3	3,0	2,4	3,2
1994a*	2,7	3,4	0,3	2,8	2,3	3,0
1997a	3,0	2,8	0,2	3,1	2,7	3,4
1997a*	2,9	3,1	0,3	3,0	2,6	3,2
Hietajärvi EP3						
1990a	2,6	1,9	0,1	2,6	2,4	2,9
1990a*	3,1	3,1	0,3	3,0	2,7	3,5
1992a	2,7	2,3	0,2	2,7	2,4	2,9
1992a*	3,1	3,1	0,3	3,2	2,6	3,4
1994a	3,2	5,2	0,5	3,1	2,4	3,9
1994a*	2,9	3,9	0,3	3,0	2,3	3,2

	\bar{x}	s.e. %	s.d.	Md	min.	max.
Pesosjärvi EP2						
1989a**	4,0	5,1	0,6	4,1	2,9	4,5
1989y	4,2	5,7	0,7	4,2	2,9	5,2
1991a**	4,0	4,6	0,5	4,2	3,2	4,6
1991y	4,1	15,1	1,8	4,7	0,0	5,3
1994a	3,7	5,0	0,5	3,5	3,3	4,9
1994a**	4,0	5,5	0,6	3,9	3,3	5,3
1994y	4,1	15,9	1,8	4,7	0,0	6,0
1998a	3,8	2,6	0,3	3,8	3,5	4,4
1998a**	4,3	3,9	0,5	4,2	3,8	5,2
1998y	4,8	6,2	0,8	5,0	3,3	5,8
Pesosjärvi EP5						
1989a**	5,1	4,2	0,6	5,1	4,2	5,9
1989y	5,4	2,8	0,4	5,5	4,7	5,9
1991a**	5,2	2,2	0,3	5,4	4,7	5,7
1991y	5,6	2,3	0,4	5,6	5,0	6,0
1994a	4,4	6,0	0,7	4,4	3,5	5,8
1994a**	5,0	3,6	0,5	5,0	4,2	5,9
1994y	5,7	1,7	0,3	5,7	5,2	6,0
1997a	4,6	4,8	0,6	4,6	3,8	5,7
1997a**	5,1	3,5	0,5	5,1	4,3	5,9
1997y	5,7	1,2	0,2	5,7	5,4	6,0
Vuoskojärvi EPI						
1989a	3,3	13,3	1,2	3,0	2,0	6,2
1989y*	1,1	75,0	2,3	0,0	0,0	6,0
1991a	3,4	13,1	1,3	3,1	2,0	4,9
1991y*	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1994a	3,4	17,1	1,7	3,1	2,0	7,0
1994y	1,3	66,5	2,4	0,0	0,0	6,0
1997a	3,6	14,9	1,5	3,4	2,0	7,0
1997y	0,7	68,5	1,3	0,0	0,0	3,5
Vuoskojärvi EP3						
1989a	3,2	14,8	1,3	3,7	0,0	4,1
1989y*	1,5	48,8	2,1	1,0	0,0	6,0
1991a	3,6	11,9	1,2	3,4	2,0	6,0
1991y*	0,6	67,2	1,2	0,0	0,0	3,0
1994a	3,9	18,1	2,0	4,0	0,0	6,0
1994y	0,5	65,8	1,0	0,0	0,0	2,4
1997a	3,3	23,0	2,1	4,1	0,0	5,0
1997y	2,4	49,0	3,3	0,0	0,0	7,0

Liite 5.

Runkojäkäälälajistosta lasketun MS-indeksin keskiarvo (\bar{x}), keskiarvon suhteellinen keskivirhe prosentteina (s.e. %), keskiahajonta (s.d.), mediaani (Md), minimi (min.) ja maksimi (max.) yhdenntyn seurannan epifyyttialoilla eri seuranta-vuosina. Vuosiluvun jälkeen koodit a = alalinjojen 60, 90, 120 ja 150 tuloksista lasketut arvot, a* = lajit *Imshaugia alearites* ja *Parmeliopsis hyperopta* käsitelty lajiparina, a** = alalinjojen 120 ja 150 cm tuloksista lasketut arvot, y = ylälinjojen 250 ja 280 cm tuloksista lasketut arvot ja y* = linjan 220 cm tuloksista lasketut arvot (n=8, paitsi Vuoskojärven alalla EPI vuonna 1989 n=7). Arvo 0,0 tarkoittaa arvoja < 0,05.

	\bar{x}	s.e. %	s.d.	Md	min.	max.
Valkea-Kotinen EP7						
1988a	3,5	7,0	0,7	3,4	2,7	4,8
1990a	2,8	8,7	0,7	2,7	2,0	4,0
1992a	3,0	8,7	0,7	2,7	2,0	4,3
1994a	3,4	4,1	0,4	3,4	2,7	3,8
1997a	3,3	5,3	0,5	3,3	2,7	4,0
Valkea-Kotinen EP9						
1990a	3,2	8,6	0,8	3,6	2,0	4,0
1992a	3,1	7,4	0,6	3,3	2,3	3,8
1994a	3,4	6,7	0,6	3,1	2,7	4,3
1997a	3,2	6,6	0,6	3,3	2,0	3,8
Hietajärvi EPI						
1990a	3,8	2,7	0,3	3,9	3,3	4,0
1990a*	4,0	1,4	0,2	4,0	3,8	4,2
1992a	3,8	2,2	0,2	3,8	3,4	4,0
1992a*	4,0	1,3	0,1	4,0	3,8	4,2
1994a	4,3	1,5	0,2	4,3	4,0	4,6
1994a*	4,0	1,8	0,2	4,1	3,8	4,3
1997a	4,1	1,4	0,2	4,1	4,0	4,4
1997a*	4,1	1,3	0,2	4,0	3,8	4,3
Hietajärvi EP2						
1990a	3,8	3,8	0,4	4,0	3,0	4,3
1990a*	3,9	2,4	0,3	4,0	3,4	4,3
1992a	3,7	4,1	0,4	3,9	3,0	4,3
1992a*	3,9	2,4	0,3	3,9	3,4	4,3
1994a	4,0	1,4	0,2	4,1	3,8	4,2
1994a*	3,8	2,3	0,3	3,8	3,4	4,1
1997a	3,8	0,9	0,1	3,7	3,7	4,0
1997a*	3,8	0,9	0,1	3,7	3,7	4,0
Hietajärvi EP3						
1990a	3,9	2,7	0,3	4,0	3,3	4,3
1990a*	4,0	1,4	0,2	4,0	3,8	4,3
1992a	4,0	2,9	0,3	4,0	3,3	4,3
1992a*	4,0	1,6	0,2	4,0	3,8	4,3
1994a	4,2	2,0	0,2	4,1	4,0	4,7
1994a*	4,0	1,9	0,2	4,0	3,8	4,3

	\bar{x}	s.e. %	s.d.	Md	min.	max.
Pesosjärvi EP2						
1989a**	4,5	2,8	0,4	4,5	4,0	5,0
1989y	4,3	2,6	0,3	4,3	4,0	5,0
1991a**	4,6	3,1	0,4	4,5	4,3	5,3
1991y	4,0	14,7	1,7	4,3	0,0	5,0
1994a	4,1	2,4	0,3	4,1	3,7	4,5
1994a**	4,4	3,5	0,4	4,3	3,8	5,0
1994y	3,9	14,7	1,6	4,3	0,0	5,0
1998a	4,1	2,1	0,2	4,0	3,7	4,5
1998a**	4,1	3,5	0,4	4,0	3,3	4,8
1998y	4,2	4,3	0,5	4,1	3,3	5,0
Pesosjärvi EP5						
1989a**	4,3	3,9	0,5	4,3	3,7	5,0
1989y	4,6	3,1	0,4	4,6	4,3	5,0
1991a**	4,1	2,8	0,3	4,3	3,3	4,3
1991y	4,4	4,8	0,6	4,3	3,3	5,0
1994a	3,9	4,4	0,5	4,0	3,3	4,8
1994a**	4,2	5,1	0,6	4,3	3,3	5,0
1994y	4,2	7,0	0,8	4,1	3,3	6,0
1997a	4,0	1,4	0,2	4,0	3,7	4,3
1997a**	4,3	3,4	0,4	4,3	4,0	5,0
1997y	4,3	3,9	0,5	4,3	3,7	5,0
Vuoskojärvi EPI						
1989a	3,4	7,8	0,8	3,7	2,0	4,5
1989y*	1,1	75,0	2,3	0,0	0,0	6,0
1991a**	3,5	9,9	1,0	3,5	2,0	4,8
1991y*	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1994a	4,1	13,4	1,6	4,1	2,0	7,0
1994y	1,4	65,7	2,6	0,0	0,0	6,0
1997a	4,5	11,0	1,4	4,6	2,0	7,0
1997y	0,8	70,1	1,5	0,0	0,0	4,0
Vuoskojärvi EP3						
1989a	3,8	14,6	1,6	4,5	0,0	4,5
1989y*	1,5	48,8	2,1	1,0	0,0	6,0
1991a**	3,9	9,9	1,1	3,7	2,0	6,0
1991y*	0,6	67,2	1,2	0,0	0,0	3,0
1994a	3,9	14,6	1,6	4,5	0,0	5,0
1994y	0,6	66,0	1,1	0,0	0,0	2,5
1997a	3,4	22,0	2,1	4,5	0,0	4,8
1997y	2,4	49,0	3,3	0,0	0,0	7,0

Liite 6.

Tunturikoivun runkojäkääläajistosta lasketun MS-indeksin keskiarvo (\bar{x}), keskiarvon suhteellinen keskivirhe prosentteina (s.e. %), keskihajonta (s.d.), mediaani (Md), minimi (min.) ja maksimi (max.) Vuoskojärven epifyyttialoilla EP2 ja EP4 eri seurantavuosina (1991 n=19, 1994 ja 1997 n=20).

	\bar{x}	s.e. %	s.d.	Md	min.	max.
EP2						
1991	4,6	3,7	0,8	4,5	3,7	6,0
1994	4,9	4,2	0,9	4,7	3,7	6,0
1997	4,1	2,8	0,5	3,9	3,7	6,0
EP4						
1991	5,2	3,8	0,9	6,0	4,0	6,0
1994	5,0	4,8	1,1	5,3	3,3	6,0
1997	4,5	3,8	0,8	4,3	3,3	6,0

Liite 7.

Ammonium- ja nitraattityypen sekä sulfaattirikin avoimen paikan laskeuma (mg (N tai S)m²) sekä eräiden raskasmetallien (kupari, nikkeli, lyijy ja sinkki) laskeuma (μg/m²) YYS-alueilla eri vuosina (Lähde: Ilmatieteen laitos, Ilmanlaaturekisteri 2000).

	NH ₄ ⁺ - N	NO ₃ ⁻ - N	SO ₄ ²⁻ - S	Cu	Ni	Pb	Zn
Valkea-Kotinen							
1988	313	321	808	-	-	-	-
1989	326	251	634	-	-	-	-
1990	156	195	352	-	-	-	-
1991	183	221	427	710	-	1750	2920
1992	234	234	459	1104	-	2064	2915
1993	134	172	363	592	308	1342	2845
1994	114	163	319	549	195	945	2069
1995	147	177	321	720	206	1000	2410
1996	163	177	296	490	180	900	2200
1997	64	127	178	520	221	590	1900
Hietajärvi							
1988	219	230	639	-	-	-	-
1989	187	180	459	-	-	-	-
1990	87	154	267	-	-	-	-
1991	169	177	446	1350	-	1510	2540
1992	176	189	399	621	-	1289	2784
1993	84	123	265	476	-	745	1543
1994	74	136	273	428	183	751	1746
1995	100	140	268	740	161	820	1700
1996	107	149	274	490	176	820	2000
1997	51	102	163	550	171	470	1190
Pesosjärvi							
1989	89	95	277	-	-	-	-
1990	46	81	192	-	-	-	-
1991	62	86	252	740	-	720	1290
1992	130	114	308	1630	-	1000	1660
1993	31	61	149	530	181	430	890
1994	38	78	147	590	161	380	1060
1995	53	88	165	820	197	430	1220
1996	32	69	129	480	101	300	830
1997	29	59	117	480	125	280	1110
1998	46	81	146	510	113	390	1580
Vuoskojärvi							
1988	19	49	160	-	-	-	-
1989	25	41	194	-	-	-	-
1990	10	32	77	-	-	-	-
1991	10	28	114	740	-	350	640
1992	38	42	143	620	-	440	630
1993	16	36	123	580	-	250	440
1994	21	40	90	470	81	180	610
1995	23	36	141	920	152	260	560
1996	12	34	84	430	157	90	400
1997	15	31	81	410	105	130	400

Kuvailulehti

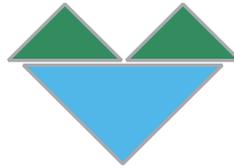
Julkaisija	Suomen ympäristökeskus	Julkaisu-aika Huhtikuu 2001
Tekijä(t)	Aira Kokko, Katariina Mäkelä ja Seppo Tuominen	
Julkaisun nimi	Runkoepifyttiseuranta Suomen ympäristön yhdenntyn seurannan alueilla vuosina 1988-1998	
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut		
Tiivistelmä	<p>Mäntyjen runkojäkäleseuranta on toteutettu vuosina 1988-1998 osana Ympäristön yhdenntyn seurannan (YYS) ohjelmaa neljällä seuranta-alueella (Valkea-Kotinen Lammilla, Hietajärvi Lieksassa, Pesosjärvi Kuusamossa ja Vuoskojärvi Utsjoella). Vuoskojärvellä on seurattu myös tunturikoivun runkojäkäliä.</p> <p>Seuranta-alojen lajisto edustaa tyypillistä kyseisten maantieteellisten alueiden runkojäkälijastoja. Jäkäläien esiintymisen ja runsauden, sekä eri lajeille annettujen saasteherkkyysarvojen avulla on laskettu ilmansaasteindeksien (PSI, WS ja MS) arvot. Niiden perusteella on pyritty tarkastelemaan mahdollisia ilmansaastevaikutuksia jäkälyhteisöihin eri alueilla ja ilmansaastekuormituksessa tapahtuneiden muutosten mahdollisia vaikutuksia epifyytteihin. Saatuja indeksin arvoja on tarkasteltu suhteessa sadeveden kemiaan, lähinnä rikki- ja typpiyhdisteiden pitoisuuksiin ja laskeumaan.</p> <p>Eteläisimmällä seuranta-alueella, Valkea-Kotisella on jäkälijaston, sormipaisukarpeen vaurioiden ja ilmansaasteindeksien perusteella havaittavissa mahdollisia kaukokulkeutuvien ilmansaasteiden vaikutuksia. Pesosjärvi sen sijaan saa YYS-alueista korkeimmat indeksin arvot ja herkkien lajien peittävyudet ovat siellä suurimmat. Paitsi ilmansaasteilla, myös maantieteellisillä, ilmastollisilla ja kasvupaikkatekijöillä on vaikutusta epifyyttien esiintymiseen. Tämä korostuu Vuoskojärvellä, jossa ilmeisesti pääosin luontaisten tekijöiden vuoksi männyillä esiintyy hyvin vähän jäkäliä.</p> <p>Ilmansaastekuormitus, erityisesti rikkilaskeuma on vähentynyt YYS-alueilla seurantakauden aikana ja aleneminen on ollut voimakkainta eteläisillä seuranta-alueilla. Ilmansaasteindeksien arvoissa ei kuitenkaan ole havaittavissa vastetta ilmansaastekuormituksen vähenemiseen.</p>	
Asiasanat	epifyytit, jäkälät, bioindikaattorit, ilmansaasteet, indeksit, seuranta	
Julkaisusarjan nimi ja numero	Suomen ympäristö 476	
Julkaisun teema	Ympäristönsuojelu	
Projektihankkeen nimi ja projektinnumero		
Rahoittaja/ toimeksiantaja		
Projektiryhmään kuuluvat organisaatiot		
	ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-0881-9
	Sivuja 82	Kieli suomi
	Luottamuksellisuus julkinen	Hinta 74 mk
Julkaisun myynti/ jakaja	Oy Edita Ab, Asiakaspalvelu, PL 800, 00043 Edita puh. (09) 566 0266, telefax (09) 566 0380, sähköpostiosoite: asiakaspalvelu@edita.fi	
Julkaisun kustantaja	Suomen ympäristökeskus	
Painopaikka ja -aika	Oy Edita Ab, Helsinki 2001	

Presentationsblad

Utgivare	Finlands miljöcentral	Datum April 2001
Författare	Aira Kokko, Katariina Mäkelä och Seppo Tuominen	
Publikationens titel	Övervakningen av epifytlavar inom de integrerade miljö-övervakningsområdena i Finland 1988-1998	
Publikationens delar/ andra publikationer inom samma project		
Sammandrag	<p>Övervakningen av epifytlavar på tallar har utförts under perioden 1988-1998 som en del av programmet för Integrerad miljö-övervakning (IM) på fyra övervakningsområden (Valkea-Kotinen i Lammi, Hietajärvi i Lieksa, Pesosjärvi i Kuusamo och Vuoskojärvi i Utsjoki). Inom Vuoskojärvi följdes även epifytlavarnas förekomster på fjällbjörk.</p> <p>Epifytlavarnas artsammansättning inom övervakningsområdena överensstämmer väl med den typiska artsammansättningen inom det ifrågavarande geografiska området. Luftföroreningsindex (PSI, WS och MS) har beräknats utifrån de uppmätta artförekomsterna, arternas riklighet och föroreningskänslighetsvärd. Utgående från resultaten har man försökt klargöra luftföroreningarnas inverkan på lavsamhällena inom de undersökta områdena och under övervakningsperioden. Indexvärden har relaterats till regnvattnets kemi, främst svavel- och kvävehalter och nedfallet.</p> <p>På det sydligaste övervakningsområdet, Valkea-Kotinen, kunde eventuella effekter av fjärrtransporterade luftföroreningar på lavarna påvisas utifrån artsammansättningen, erhållna skador på <i>Hypogymnia physodes</i> och luftföroreningsindexet. Största indexvärdet erhöles för Pesosjärvi där de känsliga arternas täckning var störst. Förutom luftföroreningar har geografiska, meteorologiska och växtplatsfaktorer inverkan på förekomsten av epifyter. Dessa faktorer förklarar troligen den låga förekomsten av epifytlavar inom IM området Vuoskojärvi.</p> <p>Luftföroreningsbelastningen, i synnerhet svavelnedfallet, har minskat på IM-områdena under övervakningsperioden. Minskningen har varit kraftigast inom de södra övervakningsområdena. Uppmätta luftföroreningsindex korrelerar inte med den minskade luftföroreningsbelastningen.</p>	
Nyckelord	epifyter, lavar, bioindikatorer, luftförorening, index, miljö, övervakning	
Publikationsserie och nummer	Miljön i Finland 476	
Publicationens tema	Miljövärd	
Projektets namn och nummer		
Finansiär/ uppdragsgivare		
Organisationer i projektgruppen		
	ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-0881-9
	Sidantal 82	Språk finska
	Offentlighet och andra villkor	Pris 74 mk
Beställningar/ distribution	Oy Edita Ab, Kundservice, PB 800, 00043 Edita tel. (09) 566 0266, telefax (09) 566 0380, e-mail: asiakaspalvelu@edita.fi	
Förläggare	Finlands miljöcentral	
Tryckeri/ tryckningsort och -år	Edita Ab, Helsingfors 2001	

Documentation page

Publisher	Finnish Environment Institute	Date April 2001
Author(s)	Aira Kokko, Katariina Mäkelä and Seppo Tuominen	
Title of publication	Trunk epiphyte monitoring at the Finnish Integrated Monitoring areas in 1988-1998	
Parts of publication/ other project publications		
Abstract	<p>Epiphytic lichens on Scots pine trunks have been monitored in 1988-1998 within the Integrated Monitoring Programme (ICP IM) at four IM areas: Valkea-Kotinen (Lammi), Hietajärvi (Lieksa), Pesosjärvi (Kuusamo) and Vuoskojärvi (Utsjoki). At Vuoskojärvi, the epiphytes growing on trunks of mountain birch were also monitored.</p> <p>Air pollution indices (PSI, WS and MS) were calculated on the basis of occurrence, abundance and sensitivity values of lichen species. Indices were used for determining the possible effects of air pollutants and changes in air pollution inputs on epiphytes at the different IM areas. Precipitation chemistry data, especially the concentrations and deposition of sulphur and nitrogen compounds, collected in the IM programme were used as background information.</p> <p>The results suggest, that at the southernmost monitoring area, Valkea-Kotinen, the species composition, values of air pollution indices and damage of <i>Hypogymnia physodes</i> indicate possible effects of transboundary air pollution. At the Pesosjärvi area in northern Finland the values of indices, as well as the coverage of sensitive lichen species are higher than at the other IM areas. In general, also climate, geographical location and site type conditions affect the occurrence and abundance of lichens. This is very obvious at the Vuoskojärvi area, where due to natural factors only a few lichen species exist and the coverage of them on Scots pine trunks is very low.</p> <p>During the monitoring period a decreasing trend was detected for the concentration and deposition of air pollutants, especially sulphate. The downward trend was stronger at the southern IM areas. The values of air pollution indices, however, do not show response to decreasing pollution inputs during the monitoring period.</p>	
Keywords	epiphytes, lichens, bioindicators, air pollution, indices, monitoring	
Publication series and number	The Finnish Environment 476	
Theme of publication	Environmental protection	
Project name and number, if any		
Financier/ commissioner		
Project organization		
	ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-0881-9
	No. of pages 82	Language finnish
	Restrictions Public	Price 74 FMK
For sale at/ distributor	Edita Ltd., PB 800, FIN-00043 Edita tel. +358 9 566 0266, telefax +358 9 566 0380, e-mail: asiakaspalvelu@edita.fi	
Financier of publication	Finnish Environment Institute	
Printing place and year	Edita Ltd., Helsinki 2001	



YMPÄRISTÖN- SUOJELU

Runkoepifyyttiseuranta Suomen ympäristön yhdenntetyn seurannan alueilla vuosina 1988–1998

Runkojäkäläseuranta on toteutettu Suomessa osana kansainvälistä Ympäristön yhdenntetyn seurannan ohjelmaa (UN ECE/ICP IM, Suomessa YYS) neljällä seuranta-alueella: Valkea-Kontinen Lammilla, Hietajärvi Lieksassa, Pesosjärvi Kuusamossa ja Vuoskojärvi Utsjoella. YYS-ohjelman päätavoite on seurata kaukokulkeutuvien ilmansaasteiden, lähinnä rikki- ja typpiyhdisteiden vaikutuksia luonnontilaisiin ekosysteemeihin. YYS-alueet ovat ns. tausta-alueita, joiden läheisyydessä ei ole merkittäviä paikallisia päästölähteitä.

Raportissa esitellään käytetyt seurantamenetelmät ja arvioidaan niiden toimivuutta. Tuloksina esitetään seuranta-alojen runkojäkälälajisto, lajien runsaussuhteet sekä kolmen eri ilmansaasteindeksin arvot eri seurantavuosina. Niiden avulla pyritään tarkastelemaan ilmansaasteiden mahdollisia vaikutuksia jäkäläyhteisöihin Suomen YYS-alueilla. Samoin tarkastellaan, näkykö saastekuormituksessa seurantakauden aikana tapahtunut aleneminen muutoksina ilmansaasteindeksien arvoissa.

Julkaisu on saatavana myös Internetistä:

<http://www.vyh.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy476/sy476.htm>

ISBN 952-11- 0881-9 (nid)

ISBN 952-11-0993-9 (PDF)

ISSN 1238-7312

EDITA Oyj
PL 800, 00043 EDITA, vaihde 020 450 00
ASIAKASPALVELU
puhelin 020 450 05, faksi 020 450 2380
EDITA-KIRJAKAUPPA HELSINGISSÄ
Annankatu 44, puhelin 020 450 2566