

**KARJALAN METSIEN TERVEYDENTILA -  
TUTKIMUSHANKKEEN VÄLIRAPORTTI**

**Ilari Lumme  
(Toim.)**

Metsäntutkimuslaitos, Metsäekologian tutkimusosasto  
Vantaa 1994

---

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 489

METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
Kirjasto



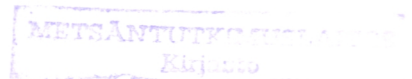
**KARJALAN METSIEN TERVEYDENTILA -  
TUTKIMUSHANKKEEN VÄLIRAPORTTI**

Ilari Lumme  
(Toim.)

Metsäntutkimuslaitos, Metsäekologian tutkimusosasto  
Vantaa 1994

---

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 489



Toimittajan yhteystiedot: Ilari Lumme, Metsäntutkimuslaitos, Metsäekologian tutkimusosasto,  
PL 18 01301 Vantaa.

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos. Hanke 3094. Hyväksynyt: Tutkimusjohtaja Eero  
Paavilainen.

Jakelu: Metsäntutkimuslaitos, Metsäekologian tutkimusosasto, PL 18 01301 Vantaa.

ISBN 951-40-1353-0  
ISSN 0358-4283

Painatuskeskus Oy  
Helsinki 1994

## Sisällys

Ilari Lumme ja Eino Mälkönen: Karjalan metsien terveydentilan tutkimushankkeen yleiskuvaus.....	4
Ilari Lumme, Vladimir Arkhipov ja Ilppo Kettunen: Ilman epäpuhtauksien laskeuma, maaveden laatu ja neulasten ravinnetila Kaakkois-Suomen ja Karjalan kannaksen männiköissä.....	10
Jarmo Poikolainen, Harri Lippo ja Natalia Fedorets: Ilman epäpuhtauksien laskeuma ja neulasten ravinnetila Kostamuksen ja Kainuun männiköissä.....	16
Eero Kubin, Jarmo Poikolainen ja Harri Lippo: Raskasmetalli- ja rikkilaskeuma Karjalan männiköissä.....	21
Seppo Nevalainen, Pekka Niemelä, Vladimir Arkhipov ja Natalia Fedorets: Männiköiden terveydentila Karjalan alueella.....	25
Seppo Nevalainen ja Vladimir Arkhipov: Neulasten pintavahojen kunto Kaakkois-Suomen ja Karjalan kannaksen männiköissä.....	31
Margarita Potasheva, Aleksei Kravtshenko ja Jarmo Poikolainen: Jäkälät ilman epäpuhtauksien indikaattoreina Kostamuksen männiköissä.....	35
Ilari Lumme ja Eino Mälkönen: Yhteenveto ja johtopäätöksiä.....	39

# KARJALAN METSIEN TERVEYDENTILAN TUTKIMUSHANKKEEN YLEISKUVAUS

Ilari Lumme ja Eino Mälkönen

Metsäntutkimuslaitos, Metsäekologian tutkimusosasto, PL 18, 01301 Vantaa

## HANKKEEN TAUSTA

Suomen kansainvälinen yhteistyö ilman epäpuhtauksista metsien terveydentilalle aiheutuvan riskin torjumiseksi on painottunut viime vuosina Itä-Eurooppaan. Päästöarviot Venäjän luoteisosista ja Baltian maista ovat täsmentyneet ja samalla ne ovat osoittautuneet suuriksi. Päästötiedot ovat osin edelleen epävarmoja ja lisäksi Pietarin kaupungin, Leningradin alueen ja Baltian taloudellinen elpyminen saattaa jopa lisätä liikenteen aiheuttamia päästöjä. Sijaintinsa vuoksi merkityksellisiä päästöalueita Suomen kannalta ovat erityisesti Kuolan niemimaa, Leningradin alue, Pietari, Viro ja Karjalan tasavalta. Vuonna 1994 päättyvä Itä-Lapin metsävaurioprojekti tuottaa tietoa Suomen Lapin ja Kuolan metsien terveydentilasta ja sen ennakoitavissa olevasta kehityksestä. Kuolan eteläpuolella ei rajanläheisillä alueilla tietävästi ole mainittavia metsähujoja, jotka voitaisiin yhdistää ilman epäpuhtauksiin. Kuitenkin esimerkiksi rikkidioksidipäästöjen arvioidaan olevan Pietarin kaupungin ja Leningradin alueilla, Virossa sekä Karjalan tasavallassa yli kaksinkertaiset koko Suomen alueen rikkidioksidipäästöihin verrattuna (Plancercenter 1991). Suomen ja Keski-Euroopan päästöjen rajoitustoimenpiteiden edistytessä Kaakkois-Suomeen ja Kainuuseen kohdistuva ilman epäpuhtauksien kuormitus aiheutuneekin enenevässä määrin Venäjän luoteisosan ja Viron suurista päästölähteistä.

Edellä mainittujen alueellisten taustatekijöiden lisäksi tiedot ilman epäpuhtauksien metsävaiikutuksista Suomen oloissa ovat edelleen puutteelliset ja toisaalta metsien terveydentilan tutkimuksessa ja seurannassa tarvitaan lisää luotettavia indikaattoreita. Metsiin tulevan kuormituksen ja metsien terveydentilan selvittämiseksi Kaakkois-Suomessa ja Kainuussa sekä Leningradin alueella ja Karjalan tasavallassa onkin esitettävissä mm. seuraavat näkökohdat:

- nykyisin näiltä alueilta ei ole käytettävissä luotettavia laskeumatietoja rajoittamisvaatimusten perustaksi,
- alueet ovat puuntuotannollisesti tärkeitä sekä Suomelle että Venäjälle,
- alueilla sijaitsee luonnonsuojelullisesti tärkeitä kohteita,
- tiedot ilman epäpuhtauksien metsävaikutuksista ovat edelleen puutteellisia,
- metsien terveydentilan arviointiin tarvitaan lisää metsien elinvoimaa kuvaavia indikaattoreita.

Metsäntutkimuslaitoksen ja venäläisten tutkimuslaitosten, Lesprojekt (Pietari) ja Venäjän tiedakatemian Komarovin kasvitieteellinen instituutti (Pietari) sekä Karjalan tiedekeskuksen Metsäinstituutti (Petroskoi), kesken on ollut käynnissä yhteistutkimushanke vuodesta 1991 lähtien ilman epäpuhtauksien laskeuman ja metsien terveydentilan selvittämiseksi. Tämä tutkimushanke, joka päättyy vuonna 1996, liittyy Suomen ja Venäjän luoteisosan ympäristönsuojelun aluetason yhteistyöhön.

## HANKKEESEEN OSALLISTUVAT ORGANISAATIOT

### Metsäntutkimuslaitos:

Ilari Lumme, FT, hankkeen vastuututkija, laskeuma, puiden ravinnetila ja maantutkimus  
 Eero Kubin, FT, bioindikaattoritutkimukset  
 Seppo Nevalainen, MMK, puuston terveydentila, sienituhot, neulasten pintavahatutkimukset  
 Pekka Niemelä, FT, puuston hyönteistuhot, lustoanalyysit  
 Sirkka Sutinen, FT, neulasten solukkovauriot  
 Jarmo Poikolainen, FM, laskeuma- ja puiden ravinnetilatutkimus  
 Harri Lippo, FM, laboratoriopalvelut  
 Pekka Nöjd, MMK, puuston kasvututkimukset  
 Eino Mälkönen, prof., hankkeen koordinointi

### Kymen vesi- ja ympäristöpiiri:

Ippo Kettunen, MMK, tutkimuspäällikkö, laskeumamittaukset

### Joensuun yliopisto:

Raimo Silvennoinen, FT, spektrometriset tutkimukset

### Lesprojekt, Pietari:

Vladimir Arkhipov, osastopäällikkö, hankkeen vastuututkija  
 Mikhail Ivanov, laskeumamittaukset  
 Viktor Berezin, kasvututkimukset

### Komarovin kasvitieteellinen instituutti, Pietari:

Vasily Yarmishko, laboratoriopäällikkö, hienojuuritutkimukset  
 Vladimir Gorshkov, jäkälätutkimukset  
 Irina Bakkal, hienojuuri- ja kasvillisuustutkimukset

### Karjalan tiedekeskuksen Metsäinstituutti, Petroskoi:

Natalia Fedorets, hankkeen vastuututkija  
 Valentina Gabukova, ravinnefysiologiset tutkimukset  
 Aleksei Kravtzenko, bioindikaattoritutkimukset  
 Margarita Potasheva, bioindikaattoritutkimukset  
 Vladimir Shubin, männyn mykorritsatutkimukset  
 Lidia Zaguralskaja, maamikrobiologiset tutkimukset

### North Central Forest Experiment Station, USDA Forest Service, Michigan, USA:

Dr. William Mattson, männynlustojen hiili-isotooppitutkimukset

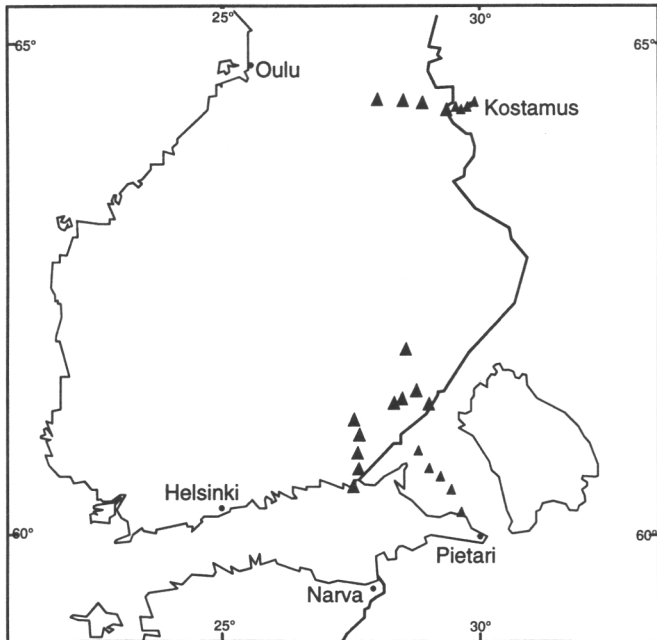
Lisäksi laskeumatuloksista pyritään laatimaan laskeumalleja yhteistyössä Ilmatieteen laitoksen kanssa.

## HANKKEEN TAVOITTEET

Tavoitteena on selvittää Kaakkois-Suomen ja Karjalan kannaksen sekä Kostamuksen alueen ja Kainuun metsien terveydentilaa, mitata metsiin tulevien ilman epäpuhtauksien määrää ja laatua sekä selvittää niiden vaikutuksia kasvillisuuteen ja maaperään. Suoritettavien mittausten perusteella pyritään määrittämään mahdollinen kuormitusgradientti Venäjän luoteisosan sekä Viron huomattavien päästölähteiden ja Kaakkois-Suomen välillä samoin kuin Kostamuksen kaivoskombinaatin ja Kainuun välillä sekä kuormituksen mahdollinen yhteys metsien terveydentilaan. Tutkimuksen tulosten perusteella voidaan täsmentää päästöjen vähentämisaatimuksia ja kohdentaa rajoitustoimenpiteitä.

## KOEALAVERKKO

Metsiin tulevan ilman epäpuhtauksien laskeuman ja metsien terveydentilan tutkimiseksi tutkimusalueen männiköihin perustettiin koelaverkko, joka koostuu 23 koelasta (kuva 1). Koelat, joista viisi sijoitettiin Karjalan kannakselle ja neljä Kostamuksen kaivoskombinaatin lähialueelle, sijaitsevat pääsääntöisesti ns. tausta-alueilla siten, että Pietarin kaupunkia ja Kostamuksen kaivoskombinaattia lukuunottamatta yksittäisten päästölähteiden ja valtateiden suoranaisia vaikutuksia vältettiin. Koelat sijoitettiin 50-120-vuotiaisiin männiköihin. Kasvupaikkatyyppinä on kuivahko tai kuiva kangas.

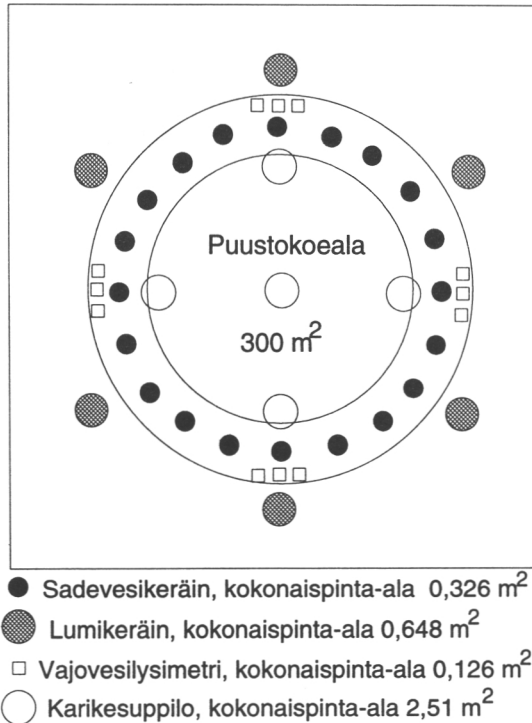


Kuva 1. Koelajen sijainti.

Puustokoealat ovat 600 m<sup>2</sup>:n kokoisia ympyräkoelajoja, jonka kehälle (300 m<sup>2</sup>) asennettiin näytteenotto- ja mittalaitteet laskeumatutkimuksia varten (kuva 2). Koelalan sisäosalla (300 m<sup>2</sup>) tutkitaan hyönteisten ja sienitautien aiheuttamia tuhoja, bioindikaattoreita, puuston rakennetta ja kasvua sekä männyn hienojuuria. Neulas-, maaperä- ja lustonäytteet kerättiin koelalan kehältä. Kaikki koelat varustettiin Suomessa käytössä olevilla tarvikkeilla ja laitteilla. Samoin kaikki kemialliset analyysit tehdään Suomessa. Tässä hankkeessa käytetään pääosin samoja tutkimus- ja analyysimenetelmiä, joita on käytetty Itä-Lapin metsävaurioprojektissa



(Tikkanen ja Varmola 1991). Näin menetellen saatavat tulokset ovat suoraan vertailukelpoisia muissa tutkimushankkeissa Suomen metsien terveydentilasta saatavien tulosten kanssa.



Kuva 2. Koealan rakenne.

## TUTKIMUKSET

1. Ilman epäpuhtauksien laskeumatutkimus ja maaperätutkimukset

a. Vapaa sadanta

b. Metsikkösadanta

c. Bioindikaattoreiden (sammal, jäkälä, kaarna) raskasmetallipitoisuudet

d. Maaveden laatu ja maaperän kemialliset ominaisuudet

2. Puuston terveydentilan tutkimus

Kaikilta koaloilta inventoidaan vuosittain sienitautien ja hyönteisten aiheuttamat tuhot maastoarvioinnein. Lisäksi määritetään puiden elinvoimaisuutta ilmentäviä tunnuksia kansainvälisen käytännön mukaisesti (harsuuntuminen ja väriasiat). Tutkimusta syvennetään seuraavilla puuston terveydentilan indikaattoreilla.

2.1 Neulastutkimukset

a. Neulasten alkuainepitoisuudet, S, N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Zn, Mn, Fe, Al

b. Neulasten soluvauriot, valo- ja elektronimikroskopia

c. Neulasten pintavahojen kunto, elektronimikroskopia

d. Hyönteisten aiheuttamat tuhot neulasissa

## 2.2 Neulaskariketutkimus

Neulasia ravintonaan käyttävien hyönteisten aiheuttamat tuhot (vrt. 2.1. d)

## 2.3. Neulasiston spektroradiometriset mittaukset

Puuston vaurioitumisasteen arviointi latvuksen heijastusspektrin perusteella

## 2.4. Lustojen hiili-isotooppianalyysit ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ )

Puiden stressihistorian selvittäminen

## 2.5. Männyn hienojuuritutkimukset

a. Hienojuurten biomassa

b. Hienojuurten dynamiikka

## 2.6. Epifyyttijäkälien esiintyminen

a. Ilman epäpuhtauksien indikaattorilajit

## 3. Puuston kasvututkimukset

Koaloilta tehdään puustomittaukset ja kasvuindeksin perusteella selvitetään, onko puuston kasvussa todettavissa mahdollisten kuormitusgradienttien mukaista vaihtelua.

## HANKKEEN RAHOITUS

Hanketta ovat tähän mennessä rahoittaneet METLA, Ympäristöministeriö (aluetason ympäristöyhteistyö), Suomen ja Venäjän välinen tiede- ja teknologiayhteistyökomissio sekä Kymen vesi- ja ympäristöpiiri. Venäjällä hanketta rahoittavat Lesprojekt-yhtymä (Venäjän Federaation varat) sekä Venäjän tiedeakatemian Karjalan tiedekeskuksen Metsäinsituutti.

## JULKAISUT

Hankkeen julkaisutoiminta vuosina 1992-1993:

Lumme, I. & Arkhipov, V. 1993. Ilman epäpuhtauksien kuormitus Kaakkois-Suomen ja Karjalan kannaksen männiköissä. Ilmansuojelu-utiset 4:34-38.

Arkhipov, V., Lumme, I., Agapov, J. & Mälkönen E. 1993. Venäläis-suomalainen metsien terveydentilan tutkimus. Tuloksia ilman epäpuhtauksien laskeumasta Leningradin alueen ja Kaakkois-Suomen männiköissä. Lesnoje Khozjajitsvo. Moskova. Painossa.

Lumme, I. & Arkhipov, V. 1993. Deposition of S, N and base cations in Scots pine stands in S.-E. Finland and the Karelian Isthmus. Julkaisussa: Tuomisto, J. & Ruuskanen, J. (toim.) First Finnish conference of environmental sciences 8-9.10.1993. Kuopion yliopiston julkaisu- ja C. Luonnontieteet ja ympäristötieteet 14: 113-116.

Poikolainen, J. 1994. Kostamuksen kaivoskombinaatin Kainuussa aiheuttama ilman epäpuhtauksien laskeuma. Muhoksen tutkimusaseman tutkimuspäivä 23.11.1993. 8 s. Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusaseman tiedonantoja. Painossa.

Poikolainen, J. 1994. Kostamuksen päästöjen vaikutusta metsiin tutkitaan. Julkaisussa: Oulun läänin ympäristön tila. Osa: Metsät ja suot. Vesi- ja ympäristöhallitus. s. 9-11. Painossa.

**KIRJALLISUUS**

Plancenter Ltd., 1991. Environmental priority action programme for Leningrad, Leningrad region, Karelia and Estonia. Synthesis Report, Ministry of Environment of Finland. 193 s.

Tikkanen, E. & Varmola, M. (toim.) 1991. Research into forest damage connected with air pollution in Finnish Lapland and the Kola Peninsula of the USSR. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 373. 157 s.

# ILMAN EPÄPUHTAUKSIEN LASKEUMA, MAAVEDEN LAATU JA NEULASTEN RAVINNETILA KAAKKOIS-SUOMEN JA KARJALAN KANNAKSEN MÄNNIKÖISSÄ

Ilari Lumme<sup>1</sup>, Vladimir Arkhipov<sup>2</sup> ja Ilppo Kettunen<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Metsäntutkimuslaitos, Metsäekologian tutkimusosasto, PL 18, 01301 Vantaa

<sup>2</sup>Lesprojekt, Koli Tomchaka 16, 196084 Pietari, Venäjä

<sup>3</sup>Kymen vesi- ja ympäristöpiiri, Marjoniementie 12, 45100 Kouvola

## TIIVISTELMÄ

*Vuosina 1991-1993 saadut ilman epäpuhtauksien laskeumatulokset viittaavat siihen, että Pietarin kaupungin, Leningradin alueen ja myös Viron suuret päästölähteet aiheuttavat Karjalan kannaksen mäntymetsiin suhteellisen korkean rikki- ja typpikuormituksen. Pietarin suunnasta ja Virosta ulottuu kuormitusgradientti Kaakkois-Suomeen, jonka eteläosissa rikki- ja typpi-laskeuma on 2-3-kertainen sisämaan tausta-arvoihin verrattuna. Laskeuman poikkeuksellisen korkea emäskationipitoisuus lieventää rikin ja typen haittavaikutuksia. Männyn neulasten sekä maan pintakerroksen rikki-, typpi- ja kalsiumpitoisuudet korreloivat positiivisesti paikallisen märkälasseuman kanssa. Huomattava osa metsämaahan kohdistuvasta happamoitavasta laskeumasta neutraloitui välittömästi maan pintakerroksen alapuolella. Alustavat tulokset neulasten ravinnepitoisuuksista osoittivat häiröitä puuston magnesiumin saannissa Karjalan kannaksen eteläosissa.*

## JOHDANTO

Viime vuosina tehtyjen päästöarvojen mukaan Pietarin kaupungin, Leningradin alueen ja Viron rikkidioksidipäästöt ovat yhteensä 400 000 - 500 000 t/vuosi (Plancenter 1991). Näistä osa kulkeutuu ilmavirtausten mukana Suomeen. Karjalan kannaksella vertailukelpoisia laskeumamittauksia ei ole tähän mennessä tehty, mutta Ilmatieteen laitoksen ja Vesi- ja ympäristöhallituksen pitkäaikainen laskeuman seuranta osoittaa ilman epäpuhtauksien kuormituksen korkeaksi Kaakkois-Suomen eteläosassa, Virolahden alueella (Leinonen ja Juntto 1993, Järvinen ja Vänni 1994). Tällä tutkimuksella selvitetään Kaakkois-Suomen ja Karjalan kannaksen männiköihin kohdistuvaa ilman epäpuhtauksien kuormitusta, metsikön ja laskeuman välisiä vuorovaikutuksia, päästöjen leviämistä sekä saadaan taustatietoa puuston terveydentilan tutkimukselle. Laskeuman vaikutuksia maaperän happamuuteen ja ravinnetilaan tutkitaan analysoimalla maavettä, joka kuvaa herkimmin maaperässä tapahtuvia muutoksia. Männyn neulasten ravinnepitoisuuksia analysoimalla selvitetään koemetsiköiden ravinnetilaa sekä rikki-, typpi- ja emäskationilasseuman mahdollisia vaikutuksia siihen.

## AINEISTO JA MENETELMÄT

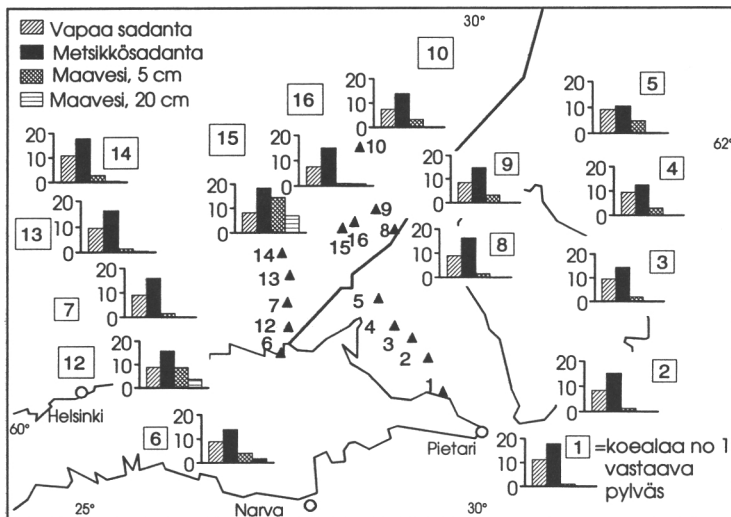
Männiköihin kohdistuvaa ja metsikössä sekä maaperässä vaikuttavaa ilman epäpuhtauksien kuormitusta selvitettiin kaikilla 15 koealalla mittaamalla ja analysoimalla vapaata ja metsikkösadantaa sekä maavettä. Metsikkösadanta mitattiin sadevesikeräimillä, joita on sijoitettu 20 kpl kullekin metsäkoelalle. Vapaan sadannan määrä ja laatu mitattiin metsikkökoelalan välittömässä läheisyydessä sijaitsevalta puuttomalta koealalta (5 sadevesikeräintä/koeala), (Hyvärinen 1990, Derome et al. 1991). Näitä tuloksia vertaamalla saadaan selville puuston latvuskerroksen vaikutus metsämaahan tulevaan laskeumaan. Talvikauden laskeumaa tutkittiin luminäytteitä analysoimalla. Lumikeräimiä on sijoitettu 6 kpl/metsäkoela ja 2 kpl/avoin koela.

Laskeumatulokset sisältävät märkälaskeuman ja osan kuivalaskeumasta. Maavesinäytteet kerätään vajovesilysimetreillä, joita asennettiin maaperään kolmelle eri syvyydelle: 5, 20 ja 40 cm (4 kpl/kerros/koeala). Laskeuma- ja maavesinäytteistä analysoitiin seuraavat parametrit: sadanta, pH (vetyionien määrä), johtoluku, kokonais- ja sulfaattirikki, kokonais-, ammonium- ja nitraattityppi sekä Ca, K, Mg, Na, Al, P, Cl. Tässä artikkelissa esitellään vuosilaskeumatulokset jaksolta 15.11.1992-15.11.1993 (vrt. myös Lumme ja Arkhipov 1993). Neulasnäytteet kerättiin talvella 1993 valtapuiden elävän latvuksen ylimmästä kolmanneksesta, kymmenestä koepuusta/koeala (kaksi näyteoksa/puu). Eri neulasvuosikertojen erottelun, neulasten kuivauksen (48 h, +60 °C) ja jauhatuksen jälkeen näytteistä määritettiin seuraavat alkuaineet: N, S, P, K, Ca, Mg, Al, Fe, Mn, Zn, Cu ja B (LECO CHN ja märkäpoltto, ICP). Tämän artikkelin neulasten ravinnepitoisuudet koskevat vuonna 1991 kehittyneitä neulasia.

## TULOKSET

### Vetyionilaskeuma

Vetyionilaskeuma on männiköihin ja maaperään kohdistuva happamoittava kuormitus. Karjalan kannaksella (koealat 1-5) vetyionien määrä laskeumassa aleni Pietarin kaupungista pohjoisen suuntaan (kuva 1). Suomessa, Rautjärven alueelta Savonlinnaan suuntautuvan koealalinjan rajanläheisissä männiköissä vetyionilaskeuma oli korkea aleten jonkin verran pohjoisen suunnassa (koealat 8-10, 15-16). Virolahdelta Savitaipaleelle suuntautuvalla koealalinjalla (koealat 6-7 ja 12-14), vetyionilaskeuma korreloi negatiivisesti emäskationilaskeuman (Ca,  $r = -0.505^*$ ) kanssa (vrt. kuva 7). Puiden latvusto lisäsi metsämaahan tulevaa vetyionilaskeumaa. Maaperän puskuriprosessit neutraloivat valtaosan happamoittavasta laskeumasta välittömästi humuskerroksen alapuolella.

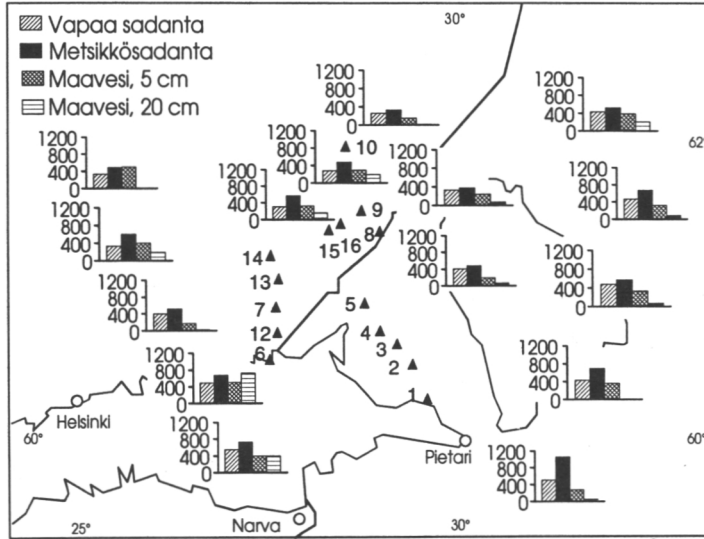


Kuva 1. Vetyionien vuosilaskeuma ja maaveden vetyionimäärä ( $\text{mg}/\text{m}^2$ ).

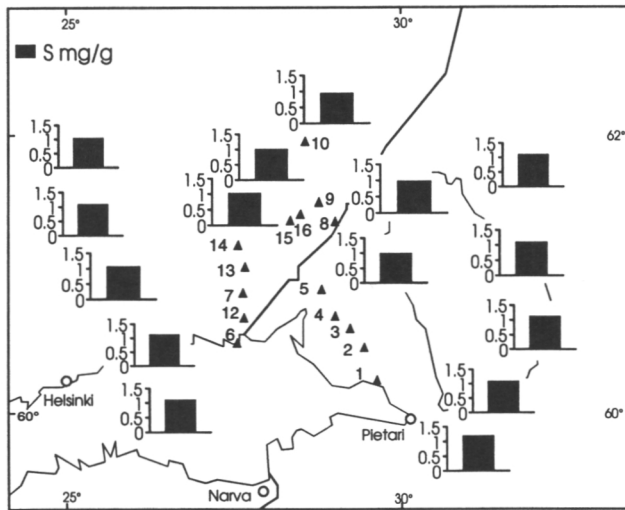
### Rikki

Laskeumatulosten mukaan Kaakkois-Suomen ja Leningradin-Viron alueen välillä on havaittavissa Suomea kohti aleneva rikkilaskeuman gradientti (kuva 2). Pietarin kaupungin läheisyydessä rikin taso oli korkea. Virolahden-Muurikkalan alueella (koealat 6, 7 ja 12) rikkilaskeuma oli samaa suuruusluokkaa kuin Karjalan kannaksen keski- ja pohjoisosissa. Kokonaisrikin ja sulfaattirikin välinen suhde vaihteli vähän tutkimusalueen eri osissa; valtaosa kokonaisrikistä oli sulfaattirikkiä. Puusto lisäsi metsämaahan tulevaa rikkilaskeumaa. Kaakkois-Suomen eteläosissa (koealat 6 ja 12) mitattiin korkeita rikkiarvoja myös maavedestä sekä 5

cm:n että 20 cm:n syvyydestä (kuva 2). Neulasten rikkipitoisuus korreloi positiivisesti ( $r=0.841^{***}$ ) rikkilaskeuman kanssa. Neulasten rikkipitoisuus oli merkitsevästi ( $p<0.05$ ) korkeampi Karjalan kannaksella ja Virolahden-Lemin alueen männiköissä (koealat 1-6,12-13) kuin Kaakkois-Suomen pohjoisimmalla koealalla (10), (kuva 3). Rikkipitoisuus neulasissa oli lähellä muissa tutkimuksissa Kaakkois-Suomen alueelta saatuja arvoja (Laine et al. 1993).



Kuva 2. Rikkilaskeuma ja maaveden rikkimäärä (mg/m<sup>2</sup>).

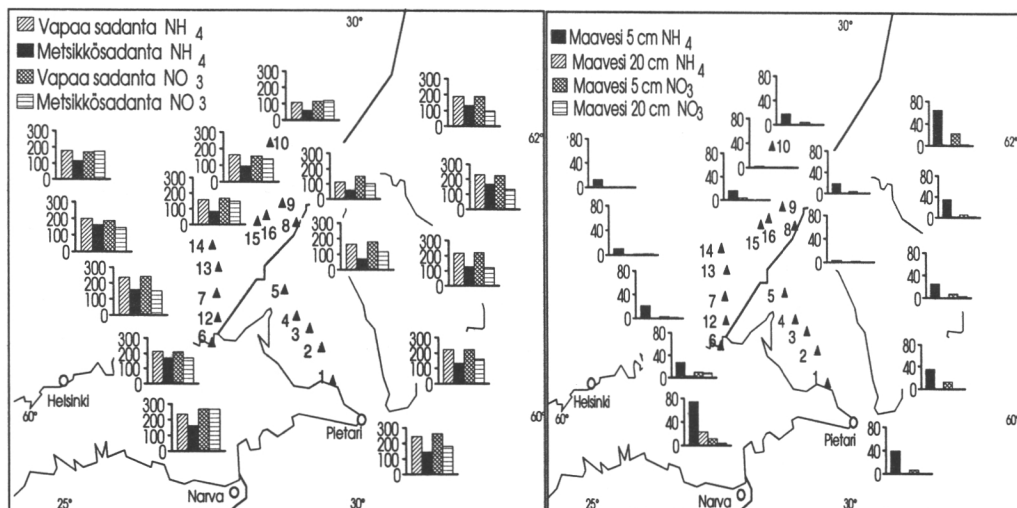


Kuva 3. Neulasten (1-vuotiset) rikkipitoisuus (mg/g).

### Typpi

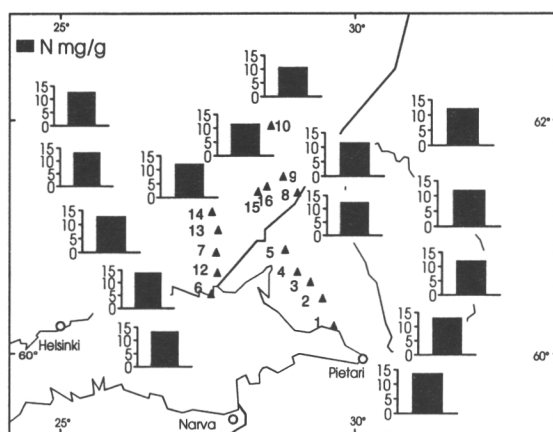
Ammonium- ja nitraattitypen laskeumat olivat samansuuntaiset rikkilaskeuman kanssa (kuva 4). Virolahden-Muurikkalan alueella (koealat 6-7, 12) typpilaskeuma oli korkeampi kuin Karjalan kannaksella ja se säilyi suhteellisen korkeana Savitaipaleelle asti. Männynlatvustot vähensivät metsämaahan tulevaa typpilaskeumaa. Puusto käyttää osan laskeumatypistä suoraan neulasiston kautta hyväkseen. Maaveden ammoniumtypen määrä maan pintakerroksessa oli Karjalan kannaksella ja Virolahden alueella korkeampi kuin muilla koealoilla (kuva 5).

Neulasten typpipitoisuus oli Pietarin kaupungin läheisyydessä ja Virolahden-Savitaipaleen alueella (koalat 1-2 ja 6-7,12-14) merkitsevästi ( $p < 0.01$ ,  $r = 0.698^{**}$ ) korkeampi kuin koalaverkon pohjoisimmalla koalalla (koala 10, kuva 6). Neulasten typpipitoisuus oli melko alhainen tutkimusalueen pohjoisosissa (Metsänterveysopas 1988, Hüttl 1991, Mälkönen 1991).



Kuva 4. Typpilaskeuma ( $\text{mg/m}^2$ ).

Kuva 5. Maaveden typpimäärä ( $\text{mg/m}^2$ ).

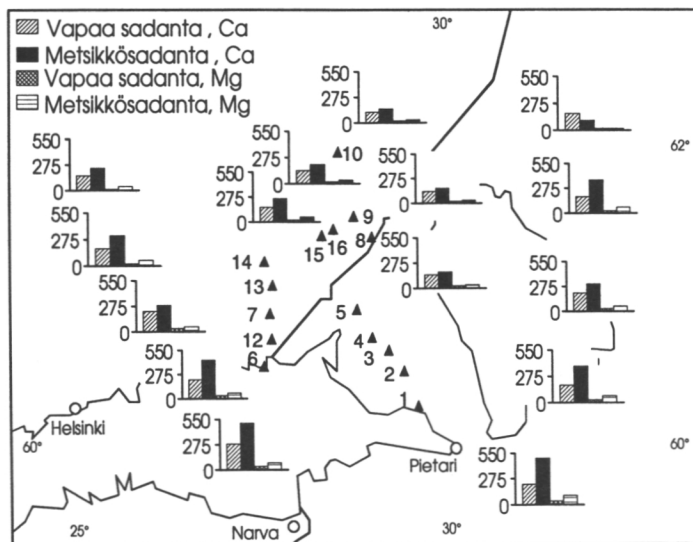


Kuva 6. Neulasten (1-vuotiset) typpipitoisuus ( $\text{mg/g}$ ).

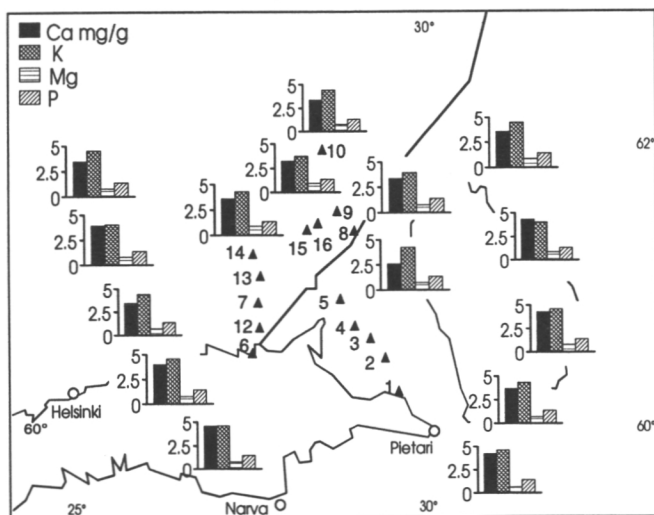
### Emäskationit

Kalsium- ja magnesiumlaskeuma noudattivat samansuuntaista gradienttia kuin rikkilaskeuma (kuva 7). Männynlatvustot lisäsivät laskeuman kalsium- ja magnesiumpitoisuutta selvästi. Kaikki edellä esitetyt laskeumatulokset olivat samansuuntaisia aiemmin Kaakkois-Suomesta tehtyjen laskeumamittausten kanssa, mutta laskeuman taso oli jonkin verran aiempia mittaussuosia alhaisempi. Eräänä syynä lienee vuoden 1993 syyskauden epätavallisen alhainen sademäärä (Hyvärinen 1990, Leinonen ja Junto 1993, Lumme ja Arkhipov 1993, Järvinen ja Vänni 1994). Kalsiumin määrä humuskerroksen maavedessä ja 20 cm:n syvyydessä oli korkeampi Virolahden alueella ja Karjalan kannaksella kuin muualla.

Neulasten kalsiumpitoisuus oli merkitsevästi ( $p < 0.05$ ,  $r = 0.767^{***}$ ) korkeampi Virolahdella (koeala 6) kuin Kaakkois-Suomen sisäosissa (koeala 14, kuva 8). Toisaalta neulasten magnesiumipitoisuus oli merkitsevästi ( $p < 0.05$ ) alaisempi Pietarin läheisyydessä (koealat 1-2) kuin Karjalan kannaksen ja Kaakkois-Suomen pohjoisosissa (koealat 5, 16). Puusto kärsineekin ensin mainituilla koealoilla magnesiumin puutoksesta (Hüttl 1991).



Kuva 7. Kalsium- ja magnesiumlaskeuma ( $\text{mg}/\text{m}^2$ ).



Kuva 8. Neulasten (1-vuotiset) ravinnepitoisuuksia ( $\text{mg}/\text{g}$ ).



**KIRJALLISUUS**

- Derome, J., Niska, K., Lindroos, A-J. & Välikangas, P. 1991. Ion-balance monitoring plots and bulk deposition in Lapland during July 1989-June 1990. Julkaisussa: Tikkanen, E. & Varmola, M. (toim.). Research into forest damage connected with air pollution in Finnish Lapland and the Kola Peninsula of the USSR. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 373: 49-76.
- Hyvärinen, A. 1990. Deposition on forest soils, effects of tree canopy on throughfall. Julkaisussa: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (toim.), Acidification in Finland. Springer-Verlag, Berlin. p. 199-213.
- Hüttl, R. 1991. Die Nährelementversorgung geschädigter Wälder in Europa und Nordamerika. Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen. Offsetdruck Gerhard Seeger, Freiburg im Breisgau. 440 pp.
- Metsänterveysopas 1988. Samerka Oy. Helsinki. 168 s.
- Järvinen, O. & Vänni, T. 1994. Sadeveden pitoisuus- ja laskeuma-arvot Suomessa vuonna 1992. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 510. 68 s.
- Laine, E., Jokinen, J. & Meinander, O. 1993. Ilman epäpuhtauksien ilmeneminen Kaakkois-Suomen metsissä. Ilmatieteen laitos. Ilmansuojelun julkaisuja 16. 71 s.
- Leinonen, L. & Juntto, S. 1993. Ilmanlaatumittauksia 1992. Ilmatieteen laitos. 248 s.
- Lumme, I. & Arkhipov, V. 1993. Ilman epäpuhtauksien kuormitus Kaakkois-Suomessa ja Karjalan kannaksella. Ilmansuojelu-uutiset 4:34-38.
- Mälkönen, E. 1991. Neulas- ja maa-analyysien käyttökelpoisuus metsänhoitotoimenpiteiden suunnittelussa. Julkaisussa: Mäkkeli, P. & Hotanen, J. (toim.). Metsänkasvatuksen perusteet turve- ja kivennäismailla. Metsäntutkimuskaitoksen tiedonantoja 383:52-61.
- Plancenter Ltd., 1991. Environmental priority action programme for Leningrad, Leningrad region, Karelia and Estonia. Synthesis Report, Ministry of Environment of Finland. 193 s.

# ILMAN EPÄPUHTAUKSIEN LASKEUMA JA NEULASTEN RAVINNETILA KOSTAMUKSEN JA KAINUUN MÄNNIKÖISSÄ

Jarmo Poikolainen<sup>1</sup>, Harri Lippo<sup>1</sup> ja Natalia Fedorets<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusasema, Kirkkosaarentie 7, 91500 Muhos

<sup>2</sup>Venäjän tiedeakatemia, Karjalan tiedekeskus, Metsäinstituutti, 185610 Petroskoi, Venäjä

## TIIVISTELMÄ

*Ensimmäisen tutkimusvuoden laskeumamittaukset osoittivat, että Kostamuksen kaivoskombinaatin päästöjen vaikutus ulottuu selvästi havaittavana alle 30 km:n etäisyydelle kombinaatista. Kostamuksesta leviää Kainuuseen pääasiassa rikkiä, mutta senkin määrä jäi vähäiseksi suhteessa päästöihin. Rikki- ja typpilaskeuma oli Kainuussa noin puolet Etelä-Suomen laskeumasta. Kostamuksesta tulevan rikin määrä vaihteli kuitenkin kuukausittain. Itätuulten vallitessa Kostamuksesta kulkeutui rikkiä länteenpäin suhteellisen korkeina pitoisuuksina lyhyiden ajanjaksojen kuluessa. Kombinaatin suuret kalsiumpäästöt neutraloivat rikin happamoittavaa vaikutusta kombinaatin ympäristössä. Neulasten ravinnepitoisuudet Kostamus - Kainuu linjalla eivät poikenneet olennaisesti kuivissa kangasmetsissä yleisesti todetuista pitoisuuksista. Koealojen väliset erot ravinnepitoisuuksissa johtuvat pääasiassa muista tekijöistä kuin Kostamuksen päästöistä.*

## JOHDANTO

Kostamuksen kaivoskombinaatti on yksittäinen suuri päästölähde laajojen metsäalueiden keskellä. Lähimmät suuret päästölähteet sijaitsevat noin 100 km:n päässä Kostamuksesta. Kaivoskombinaatti on ollut toiminnassa runsaat 10 vuotta. Kostamuksen rikkidioksidipäästöt ovat noin 65 000 t ja pölypäästöt noin 5 000 t vuodessa. Rikkiä pääsee ilmaan lähinnä rautapitoisen malmin jatkojalostuksessa. Näin suuren päästölähteen sijainti aivan Suomen itärajan tuntumassa on aiheuttanut huolta kombinaatin päästöjen mahdollisista vaikutuksista ympäristön tilaan Kainuussa. Viitteitä epäpuhtauksien kulkeutumisesta Suomen alueelle on saatu erilaisissa ympäristön tilan kartoituksissa (Manninen et al. 1989, Kubin 1990). Toistaiseksi tiedot laskeumamääristä ovat kuitenkin olleet hajanaisia. Tutkimus Kostamuksen kaivoskombinaatin päästöjen vaikutuksista Karjalan ja Kainuun metsiin aloitettiin syyskuussa 1992. Tässä raportissa esitetään tuloksia ensimmäiseltä tutkimusvuodelta.

## MENETELMÄT

Tutkimusta varten perustettiin vuonna 1992 kahdeksan koealaa Kostamuksen kaivoskombinaatista länteen (kuva 1, s. 6). Sadevesi- ja maavesinäytteet kerättiin kuukausittain laskeumatutkimusta varten. Laskeumaa mitattiin sekä vapaasta että metsikkösadannasta. Talvikauden laskeuma tutkittiin luminäytteistä (kuva 2, s. 7 sekä menetelmät s. 10.) Laskeumanäytteistä mitattiin pH ja määritettiin seuraavien aineiden pitoisuudet: kokonais- ja sulfaattirikki, ammonium- ja nitraattityppi, kalsium, kalium, magnesium, natrium, kloridi ja raskasmetallit (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, V ja Zn). Neulasnäytteet kerättiin tammikuussa 1993 kaikilta koealoilta 10 männystä. Viimeisimmäistä neulasvuosikerrasta eli vuoden 1992 neulasista määritettiin seuraavien ravinteiden pitoisuudet: typpi, rikki, fosfori, kalium, kalsium, magnesium, rauta, mangaani, sinkki ja kupari.

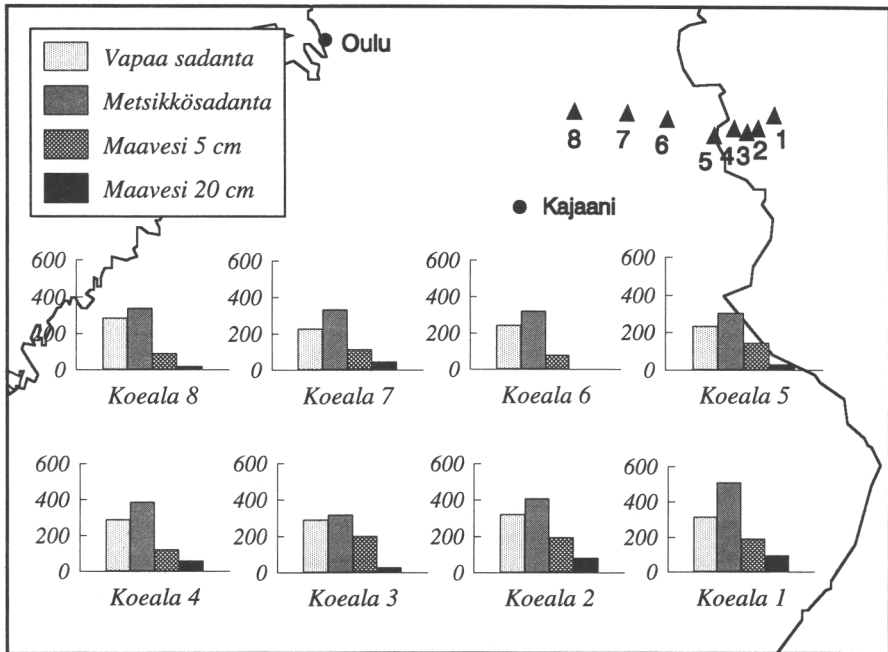
## TULOKSET

### Rikkilaskeuma

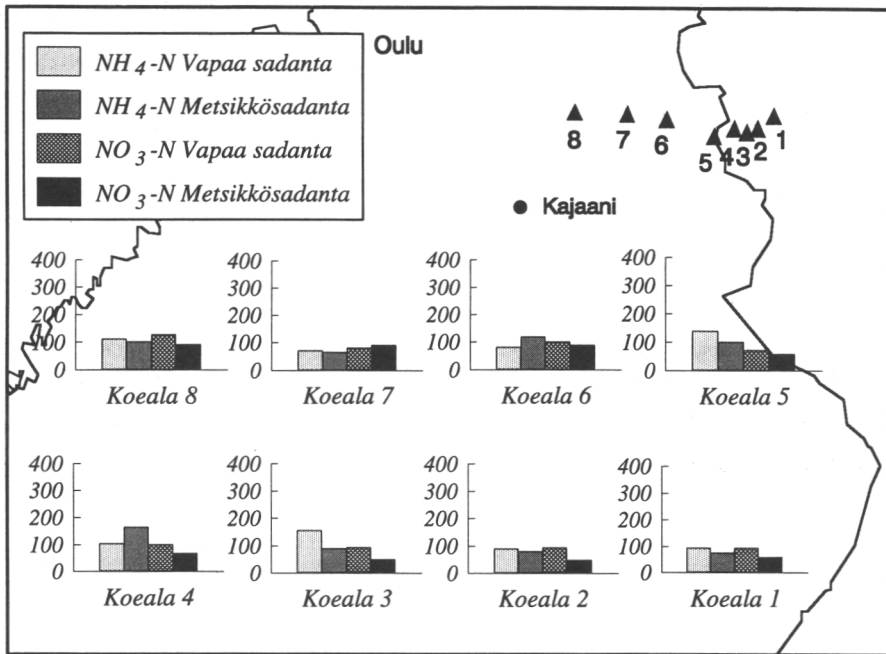
Vuotuinen rikkilaskeuma oli suurin lähellä Kostamuksen kaivoskombinaattia, vapaassa sadannassa noin  $300 \text{ mg/m}^2$  ja metsikkösadannassa noin  $500 \text{ mg/m}^2$  (kuva 1). Rikkilaskeuma väheni kohti länttä ollen Kainuussa vapaassa sadannassa noin  $200 \text{ mg/m}^2$  ja metsikkösadannassa noin  $300 \text{ mg/m}^2$ . Rikkilaskeuman määrässä ei Kainuun puolella ollut enää suuria eroja. Pääosa kokonaisrikistä oli kaikilla koealoilla sulfaattirikkiä. Rikkilaskeumassa oli kuukausi- en välillä suuria eroja. Suurimmat laskeuma-arvot mitattiin kesäkuukausina, jolloin vielä Kainuun puolellakin rikkilaskeuma väheni itä-länsisuunnassa. Talvella rikkilaskeumassa ei sen sijaan ollut koealojen välillä suuria eroja.

### Typpilaskeuma

Kaivoskombinaatin typpipäästöt ovat vähäisiä. Malmin rikastuksesta ja liikenteestä pääsee ilmaan jonkin verran typpiyhdisteitä. Märkälasseumassa typpi oli lähinnä nitraatti- ja ammoniumtyyppinä. Molempien laskeumat jäivät tutkimusalueella suhteellisen pieniksi eikä laskeumissa todettu selvää itä-länsisuuntaista gradienttia suhteessa päästölähteeseen (kuva 2). Nitraattityypin vuosilaskeuma oli vapaassa sadannassa noin  $95 \text{ mg/m}^2$  ja metsikkösadannassa noin  $70 \text{ mg/m}^2$ . Ammoniumtyypin vuosilaskeuma oli sekä vapaassa sadannassa että metsikkösadannassa noin  $100 \text{ mg/m}^2$ . Nitraatin laskeuma oli suurinta talvella, ammoniumin laskeuma puolestaan kesällä.



Kuva 1. Kokonaisrikin vuosilaskeuma ( $\text{mg/m}^2$ ) vapaassa ja metsikkösadannassa sekä kokonaisrikin määrä maavedessä 5 ja 20 cm:n syvyydessä (syyskuu 1992- elokuu 1993).



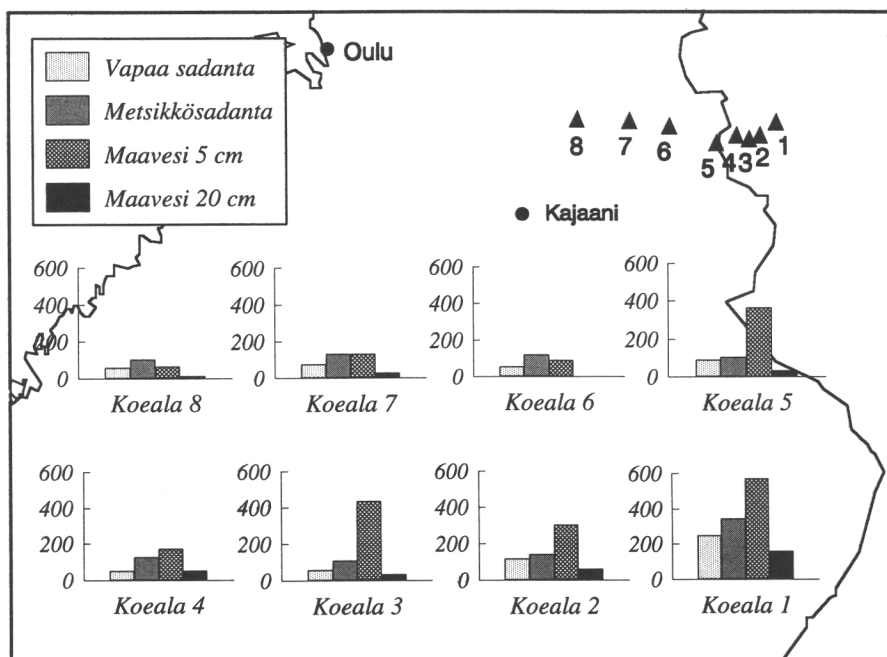
Kuva 2. Ammonium- ja nitraattitypen vuosilaskeuma ( $\text{mg}/\text{m}^2$ ) vapaassa ja metsikkösadannassa (syyskuu 1992 - elokuu 1993).

### Vetyionilaskeuma

Sadeveden pH-arvoista laskettu vetyionilaskeuma kertoo metsäekosysteemiin kohdistuvasta happamoittavasta kuormituksesta. Vapaan sadannan vetyionimäärä ilmaisee sadeveden happamoittavan kuormituksen ja metsikkösadannan vetyionimäärä latvuston läpi tulleen veden happamoittavan kuormituksen. Vuotuinen vetyionilaskeuma oli tutkimusalueella keskimäärin noin  $12,6 \text{ mmol}/\text{m}^2$  sekä vapaassa sadannassa että metsikkösadannassa. Vetyionilaskeumassa ei Venäjän ja Suomen puoleisten koealojen välillä ollut merkittävää eroa.

### Kalsiumin, kaliumin, magnesiumin, natriumin ja kloridin laskeumat

Kostamuksen kaivoskombinaatin päästöt sisältävät runsaasti kalsiumia. Kalsiumlaskeuma olikin lähellä kaivosta vapaassa sadannassa noin  $250 \text{ mg}/\text{m}^2$  ja metsikkösadannassa  $350 \text{ mg}/\text{m}^2$  (kuva 3). Kalsiumin määrä väheni jyrkästi jo alle 10 km:n etäisyydellä kombinaatista. Kainuussa kalsiumlaskeuma jäi vähäiseksi eikä koealojen välillä enää todettu suuria eroja. Lähellä valtakunnan rajaa Vartiuksessa maaveden kalsiumpitoisuus 5 cm:n syvyydessä oli kuitenkin suhteellisen korkea. Magnesiumin, kaliumin, natriumin ja kloridin vuosilaskeumissa ei todettu suuria eroja koealojen välillä. Kaikkien näiden alkuaineiden laskeumat vapaassa sadannassa olivat Kostamuksen puolella hieman korkeammat kuin Kainuussa. Metsikkösadannassa puolestaan natriumin ja kloridin määrät olivat Kainuussa selvästi suuremmat kuin Venäjän Karjalassa. Kaikki edellä esitetyt laskeumatulokset olivat vapaan sadannan osalta samansuuntaiset muissa tutkimuksissa Kainuusta saatujen laskeumatulosten kanssa (Järvinen ja Vänni 1994, Leinonen ja Juntto 1993).



Kuva 3. Kalsiumin vuosilaskeuma ( $\text{mg}/\text{m}^2$ ) vapaassa ja metsikkösadannassa sekä maaveden kalsiumin määrä 5 ja 20 cm:n syvyydessä (syyskuu 1992 - elokuu 1993).

### Neulasten ravinnepitoisuus

Neulasten alkuainepitoisuus heijastaa sekä maaperän ja puuston ravinnetilan muutoksia että ilman epäpuhtauksien suoria vaikutuksia puihin. Erot neulasten ravinnepitoisuuksissa eri koealojen välillä eivät olleet kovin suuria (taulukko 1). Merkillepantavaa oli kuitenkin neulasten keskimääräistä korkeammat typpi- ja fosforipitoisuudet läntisimmällä koealalla (8) ja toisaalta neulasten alhainen kalsiumin pitoisuus koealoilla 7 ja 8. Kaivoskombinaatin läheisyydessä (koeala 1) neulasten rautapitoisuus oli tilastollisesti merkitsevästi ( $p < 0.05$ ) muita koealoja korkeampi, mutta toisaalta mangaanin pitoisuus oli lähellä kombinaattia (koeala 1) merkitsevästi alhaisempi ( $p < 0.05$ ) kuin läntisimmällä koealalla (8) (vrt. Metsänterveysopas 1988, Raitio 1992).

Taulukko 1. Männyn neulasten (viimeisin vuosikerta) alkuainepitoisuuksia koealoilla 1 - 8.

Koeala	S mg/g	N mg/g	P mg/g	K mg/g	Ca mg/g	Mg mg/g	Fe $\mu\text{g}/\text{g}$	Mn $\mu\text{g}/\text{g}$	Zn $\mu\text{g}/\text{g}$	Cu $\mu\text{g}/\text{g}$
1	0,79	9,6	1,26	4,50	2,12	1,00	<b>56</b>	<b>437</b>	34	2,2
2	0,79	9,6	1,24	4,47	2,25	1,07	36	588	36	2,1
3	0,79	9,8	1,23	4,01	2,18	<b>0,84</b>	30	552	35	2,2
4	0,85	10,2	1,26	4,17	<b>1,71</b>	0,95	37	499	41	2,8
5	0,79	9,5	1,24	4,40	2,14	1,01	33	533	32	2,7
6	0,81	10,7	1,38	<b>3,72</b>	2,00	0,99	36	462	40	2,7
7	0,80	<b>8,9</b>	<b>1,17</b>	4,12	<b>1,62</b>	0,97	30	484	32	2,3
8	<b>0,94</b>	<b>12,1</b>	<b>1,46</b>	4,05	<b>1,45</b>	0,94	38	623	36	3,0

**KIRJALLISUUS**

- Metsänterveysopas 1988. Metsätuhot ja niiden torjunta. Samerka Oy. Helsinki. 168 s.
- Järvinen, O. & Vänni, T. 1994. Sadeveden pitoisuus- ja laskeuma-arvot Suomessa vuonna 1992. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 510. 68 s.
- Kubin, E. 1990. A survey of element concentrations in the epiphytic lichen *Hypogymnia physodes* in Finland in 1985-86. Julkaisussa: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (toim.). Acidification in Finland. Springer-Verlag, Berlin 1990. p. 421-446.
- Leinonen, L. & Juntto, S. (toim.). 1993. Ilmanlaatumittauksia - Air quality measurements 1992. Ilmatieteen laitos. 248 s.
- Manninen, S., Huttunen, S. & Torvela, H. 1989. Suomussalmen kunnan ilmansuojelun perusselvitys bioindikaattorien avulla. Moniste. Oulun yliopisto, Kasvitieteen laitos. 27 s.
- Raitio, H. 1992. Männyn neulasten kemiallinen koostumus Montshegorskin teollisuusalueella. Julkaisussa: Kauhanen, H. & Varmola, M. (toim.). Itä-Lapin metsävaurioprojektin väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 413:142-149.

# RASKASMETALLI- JA RIKKILASKEUMA KARJALAN MÄNNIKÖISSÄ

Eero Kubin, Jarmo Poikolainen ja Harri Lippo

Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusasema, Kirkkosaarentie 7, 91500 Muhos

## TIIVISTELMÄ

*Raskasmetallilaskeumaa Karjalan alueella tutkittiin sammalten ja männyn kaarnan avulla. Molemmat bioindikaattorit indikoivat laskeumaeroja samansuuntaisesti, mutta sammaliin keityi raskasmetalleja massayksikköä kohti enemmän kuin männyn kaarnaan. Karjalan kannaksella ja Kaakkois-Suomen eteläosissa sammalten ja kaarnan raskasmetallipitoisuudet olivat kohtalaisen korkeita. Useimpien tutkittujen raskasmetallien pitoisuudet kasvoivat vähitellen Pietaria kohti. Kaakkois-Suomen eteläosissa pitoisuudet olivat yleisesti ottaen lähes samaa luokkaa kuin Karjalan kannaksella ja nousivat keskimäärin selvästi korkeammiksi kuin Kaakkois-Suomen pohjoisosissa. Kostamuksen kaivoskombinaatista on levinnyt raskasmetalleja, erityisesti rautaa, nikkeliä, titaania ja vanadiinia, kohtalaisen runsaasti kombinaatin lähiympäristöön. Sammalten ja kaarnan raskasmetallipitoisuudet laskivat jyrkästi jo alle 16 km:n etäisyydellä kaivosalueesta. Kombinaatin päästöjen vaikutus ulottui heikkona aina Kainuun itäosiin saakka. Bioindikaattorien raskasmetallipitoisuudet olivat kuitenkin Kainuussa suhteellisen alhaisia.*

## JOHDANTO

Venäjän luoteisosien ja Viron teollisuus- ja asutuskeskuksista pääsee rikki- ja typpiyhdisteiden lisäksi ilmaan runsaasti erilaisia raskasmetalleja. Myös Kaakkois-Suomessa on jonkin verran raskasmetalleja ympäristöön päästävää teollisuutta. Karjalan tasavallan pohjoisosissa Kostamuksen kaivoskombinaatti on sen sijaan yksittäinen päästölähde, josta leviää ympäristöön lähinnä raudanjalostukseen liittyviä raskasmetalleja. Karjalan männiköissä tehdyn kartoituksen tavoitteena oli saada tietoa toisaalta Karjalan kannaksen - Kaakkois-Suomen alueelle tulevasta raskasmetallilaskeumasta ja toisaalta Kostamuksen kaivoskombinaatin aiheuttamasta laskeumasta Kostamuksen - Kainuun alueella. Bioindikaattoreiden käyttö raskasmetallilaskeuman kartoituksissa perustuu niiden kykyyn kerätä tehokkaasti ilman epäpuhtauksia. Metsäntutkimuslaitoksen Muhoksen tutkimusasemalla on selvitetty bioindikaattorien avulla raskasmetallilaskeumaa koko Suomen alueelta jo 1980-luvun puolivälistä lähtien (Kubin 1990, Rühling et al. 1992). Bioindikaattoreina näissä tutkimuksissa on käytetty sammalia, jäkäliä ja männyn kaarnaa, joista jokainen kerää hieman eri tavalla raskasmetalleja.

## AINEISTO JA MENETELMÄT

Bioindikaattorinäytteet kerättiin viitenä toistona kymmeneltä Karjalan kannaksen - Kaakkois-Suomen koealalta (koealat 1-5 ja 6-10, kuva 1 s. 11) ja kaikilta kahdeksalta Kostamuksen - Kainuun koealalta elokuussa 1992. Bioindikaattoreina käytettiin sammalia ja männyn kaarnaa. Sammalista kerättiin ensi sijassa kerrossammalta (*Hylocomium splendens*) tai vaihtoehtoisesti seinäsammalta (*Pleurozium schreberi*). Näytteiden keruussa noudatettiin VMI 8:n pysyville koealoille laadittuja biologisten näytteiden keruuhjeita (Reinikainen ja Nousiainen 1985).

Analyyseja varten kumpaakin bioindikaattorinäytettä erotettiin 2 grammaa näytettä kohti. Sammalista analyyseihin otettiin 3 keruuvuotta edeltänyttä vuosikasvua ja kaarnasta 3 mm:n paksuinen pintakerros. Esikäsittelyn jälkeen näytteet jauhettiin ja märkäpoltettiin typpihappo-perkloorihappoliuoksessa. Näytteistä määritettiin atomiemissiospektrofotometrillä (ICP/AES) seuraavat raskasmetallit: kadmium (Cd), kromi (Cr), kupari (Cu), rauta (Fe), mangaani (Mn), nikkeli (Ni), lyijy (Pb), titaani (Ti), vanadiini (V) ja sinkki (Zn). Raskasmetallien lisäksi näytteistä määritettiin myös yleisimpien ravinteiden pitoisuudet, joista tässä raportissa on esitetty rikkitulokset.

## TULOKSET

Karjalan kannaksella ja Kaakkois-Suomen eteläosissa sammalten ja kaarnan raskasmetallipitoisuudet nousivat kohtalaisen korkealle tasolle. Useimpien tutkittujen raskasmetallien pitoisuudet nousivat vähitellen Kaakkois-Suomesta Pietaria kohti. Taulukossa 1 on esitetty tärkeimpien raskasmetallien pitoisuudet koelaittain Karjalan kannaksen ja Kaakkois-Suomen alueella. Taulukossa on lisäksi t-testin tulos sammalten ja kaarnan välisistä eroista kunkin raskasmetallin osalta.

Taulukko 1. Raskasmetallien pitoisuudet sammalissa ja männyn kaarnassa ( $\mu\text{g/g}$ ) Karjalan kannaksen - Kaakkois-Suomen alueella sekä t-testillä todetut erot sammalten ja kaarnan välillä (\*=  $p<0,05$ , \*\*=  $p<0,01$ , \*\*\*=  $p<0,001$ ).

		Koelat									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nikkeli	Sammalet	2,90	2,35	2,08	2,27	2,18	1,58	1,57	1,76	1,82	2,09
	Kaarna	1,47	1,05	0,86	1,00	1,04	1,07	1,00	0,77	0,95	1,01
	t-testi	***	***	**	***	***	**	***	***	***	***
Kupari	Sammalet	4,97	4,10	3,32	3,71	3,60	3,17	3,40	2,88	3,38	3,30
	Kaarna	4,04	3,63	3,06	3,11	3,19	3,21	2,82	2,10	2,62	1,95
	t-testi	*		*	**	*			**	*	**
Rauta	Sammalet	754,5	493,1	470	655,8	521,8	488,2	514,1	339,4	400,1	318,4
	Kaarna	318,1	206,7	174,6	148,3	167,6	248,7	174,9	71,7	165,1	58,7
	t-testi	***	***	**	***	***	***	***	***	***	*
Lyijy	Sammalet	17,1	12,3	10,4	15,1	11,3	11,4	13,7	10,9	12,3	8,05
	Kaarna	8,68	7,82	5,33	6,29	6,04	8,87	6,76	3,22	8,63	2,44
	t-testi	***	**	**	***	**		***	***		***
Kadmium	Sammalet	0,65	0,55	0,51	0,51	0,47	0,44	0,49	0,40	0,40	0,36
	Kaarna	0,36	0,34	0,32	0,34	0,32	0,38	0,54	0,28	0,31	0,33
	t-testi	***	***	*	**	***			***	**	
Kromi	Sammalet	3,13	2,25	1,98	2,47	2,10	2,08	1,68	1,90	1,85	1,32
	Kaarna	1,37	1,01	0,81	0,79	0,83	1,22	0,85	0,55	0,91	0,75
	t-testi	***	***	***	***	***	***	**	***	***	***

Korkeimmat pitoisuudet todettiin lähes poikkeuksetta lähellä Pietaria olevalla koelalla 1. Sammalissa selvimmin nousivat Pietaria kohti kadmiumin, kuparin, kromin, nikkelin, sinkin, titaanin ja vanadiinin pitoisuudet, männyn kaarnassa puolestaan kuparin, raudan, vanadiinin, titaanin, kromin ja nikkelin pitoisuudet. Muutokset sammalten ja kaarnan pitoisuuksissa olivat samansuuntaiset muiden tutkittujen raskasmetallien paitsi raudan ja kadmiumin osalta. Rauta-



pitoisuus nousi kaarnassa selvemmin Pietaria kohti kuin sammalissa. Kadmiumpitoisuus oli puolestaan kaarnassa korkein Kaakkois-Suomessa, sammalissa lähellä Pietaria. Kaakkois-Suomen eteläisimmässä osassa (koealat 6 ja 7) sammalten ja kaarnan raskasmetallipitoisuudet olivat lähes samaa luokkaa kuin Karjalan kannaksella. Sen sijaan tutkimusalueen pohjoisosissa (koealat 8, 9 ja 10) raskasmetallipitoisuudet jäivät keskimäärin alemmalle tasolle kuin Karjalan kannaksella.

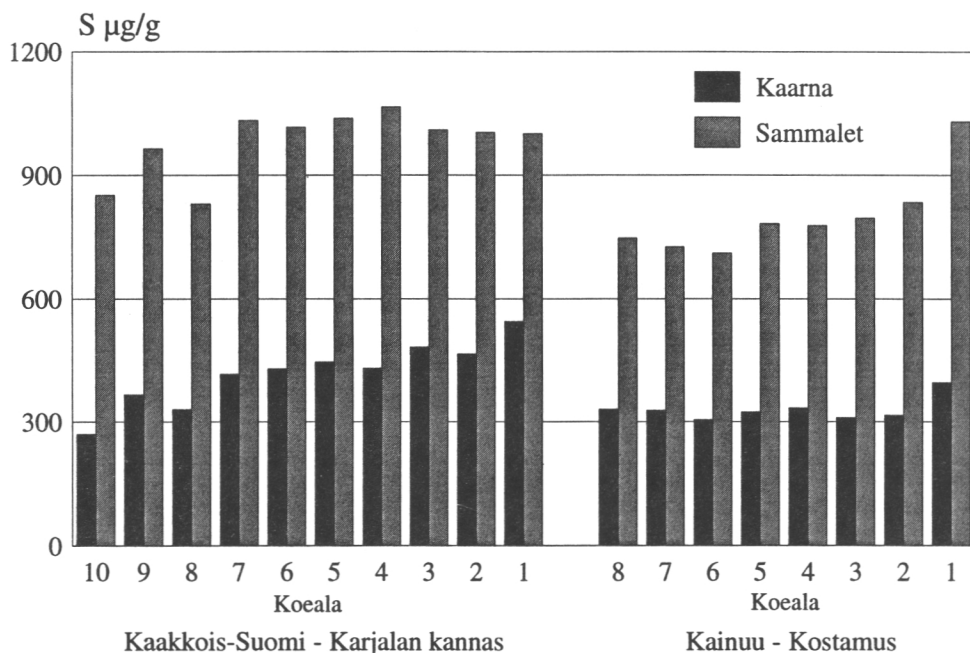
Kostamuksen kaivoskombinaatin lähiympäristössä sammalten ja kaarnan rautapitoisuudet nousivat korkeiksi (taulukko 2). Myös nikkeli-, vanadiini- ja titaanipitoisuudet olivat lähellä kaivosta kohtalaisen korkeita. Pitoisuudet laskivat kuitenkin jyrkästi jo alle 16 km:n etäisyydellä kombinaatista. Kainuun itäosissa sammalten ja kaarnan rautapitoisuus nousi vielä jonkin verran korkeammaksi kuin Kainuun länsiosissa. Kadmium-, sinkki- ja lyijypitoisuudet olivat hieman korkeampia Kainuun puolella kuin Venäjän puolella. Kaiken kaikkiaan raskasmetallipitoisuudet Kainuussa jäivät kuitenkin alhaisiksi eikä pitoisuuksissa koealojen välillä ollut suuria eroja.

Taulukko 2. Raskasmetallien pitoisuudet ( $\mu\text{g/g}$ ) sammalissa ja männyn kaarnassa Kostamuksen - Kainuun alueella sekä t-testillä todetut erot sammalten ja kaarnan välillä (\*=  $p < 0,05$ , \*\*=  $p < 0,01$ , \*\*\*=  $p < 0,001$ ).

		Koealat							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Nikkeli	Sammalet	4,73	2,25	1,99	1,96	1,44	1,57	1,50	1,65
	Kaarna	1,04	0,59	0,54	0,48	1,04	0,72	0,59	0,81
	t-testi	***	***	***	***	***	***	*	***
Kupari	Sammalet	3,99	3,90	4,07	3,90	2,89	3,66	3,22	3,36
	Kaarna	2,45	2,11	2,04	2,35	3,19	1,94	1,82	2,24
	t-testi	*		***	***	**	***	**	***
Rauta	Sammalet	5761,3	1048,3	596,3	385,8	373,6	259,4	218,9	274,3
	Kaarna	289,9	113,3	60,2	76,6	167,6	50,3	49,5	62,3
	t-testi	***	**	***	**	***	*	**	***
Lyijy	Sammalet	6,27	6,00	6,58	6,40	7,78	8,16	6,59	9,70
	Kaarna	2,74	2,55	1,92	2,64	6,04	2,75	2,48	2,99
	t-testi	**	***	***	***	***	**	***	***
Kadmium	Sammalet	0,26	0,37	0,31	0,31	0,32	0,33	0,34	0,37
	Kaarna	0,14	0,17	0,20	0,21	0,32	0,30	0,27	0,40
	t-testi	**	*	*	**	***			
Kromi	Sammalet	3,36	1,36	1,22	1,24	1,46	1,35	1,24	1,33
	Kaarna	0,27	0,08	0,05	0,06	0,83	0,33	0,32	0,23
	t-testi	***	**	***	***	***	***	**	***

Raskasmetallilaskeuman kartoitus Karjalassa antoi sekä sammalilla että männyn kaarnalla lähes samanlaisen tuloksen. Sammaliin kertyi kuitenkin raskasmetalleja kuivamassayksikköä kohti enemmän kuin kaarnaan. Sammalten raskasmetallipitoisuus oli raskasmetallista ja paikasta riippuen 1 - 20-kertainen männyn kaarnaan verrattuna (ks. taulukot 1 ja 2). Raskasmetallipitoisuuksien kasvaessa suhteellinen pitoisuusero sammalten ja kaarnan välillä näytti kasvavan.

Koealojen väliset erot bioindikaattorien rikkipitoisuudessa olivat samankaltaiset kuin useimmissa raskasmetalleilla. Sammalten rikkipitoisuus oli Karjalan kannaksella ja Kaakkois-Suomen eteläosissa noin 1 000 µg/g, mutta jäi Kaakkois-Suomen pohjoisosissa keskimäärin noin 880 µg:aan grammassa (kuva 1). Kaarnan rikkipitoisuus jäi keskimäärin alle puoleen sammalten rikkipitoisuudesta. Kaarnassa rikkipitoisuus nousi selvemmin Pietaria kohti kuin sammalissa. Kostamuksen lähellä sekä sammalten että kaarnan rikkipitoisuus oli suurin piirtein samalla tasolla kuin Karjalan kannaksella, mutta kaikilla muilla koealoilla rikin pitoisuus lasi samalle tasolle kuin Kaakkois-Suomen pohjoisimmilla koealoilla. Rikkipitoisuuden muutos kaivoskombinaatista länteen oli sammalilla ja kaarnalla samansuuntainen.



Kuva 1. Sammalten ja männyn kaarnan rikkipitoisuus (µg/g) Karjalan kannaksella - Kaakkois-Suomessa ja Kostamuksen - Kainuun alueella.

## KIRJALLISUUS

- Kubin, E. 1990. A survey of element concentrations in the epiphytic lichen *Hypogymnia physodes* in Finland in 1985-86. Julkaisussa: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (toim.). Acidification in Finland. Springer-Verlag, Berlin 1990. p. 421-446.
- Reinikainen, A. & Nousiainen, H. 1985. Biologien työohjeet VMI 8:n pysyviä koealoja varten. Metsäntutkimuslaitos. Moniste. 42 s. + liitteet.
- Rühling, Å., Brumelis, G., Goltsova, N., Kvietkus, K., Kubin, E., Liiv, S., Magnusson, S., Mäkinen, A., Pilegaard, K., Rasmussen, L., Sander, E. & Steinness, E. 1992. Atmospheric heavy metal deposition in Northern Europe 1990. Nord 1992:12. 41 s.

## MÄNNIKÖIDEN TERVEYDENTILA KARJALAN ALUEELLA

Seppo Nevalainen<sup>1</sup>, Pekka Niemelä<sup>2</sup>, Vladimir Arkhipov<sup>3</sup> ja Natalia Fedorets<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimusasema, Yliopistokatu 7, PL 68, 80101 Joensuu

<sup>2</sup>Metsäntutkimuslaitos, Metsäekologian tutkimusosasto, PL 18, 01301 Vantaa

<sup>3</sup>Lesprojekt, Koli Tomchaka 16, 196084 Pietari, Venäjä

<sup>4</sup>Venäjä tiedeakatemia, Karjalan tiedekeskus, Metsäinstituutti, 185610 Petroskoi, Venäjä

### TIIVISTELMÄ

*Männyt olivat keskimäärin vähemmän harsuuntuneita Suomen (14 koealaa) kuin Venäjän puoleisilla koealoilla (9 koealaa). Yksittäisillä koealoilla harsuuntumisessa tai neulaskertojen määrässä ei ollut eroja Kaakkois-Suomen tai Karjalan kannaksen välillä. Harsuuntuminen oli suurinta Kostamuksen kombinaatin lähellä. Versosurma oli yleisin tuhonaiheuttaja. Neulasten syönnösaste sekä ytimennävertäjätuhot olivat yleisimpiä Venäjän puoleisilla koealoilla. Kirvojen määrä oksanäytteissä oli korkea lähellä Kostamuksen kombinaattia.*

### JOHDANTO

Metsien yleistä terveydentilaa seurataan Euroopassa pääasiassa suhteellisen neulas- tai lehtikadon, ns. harsuuntumisen, sekä lehtien väriavien avulla. Käytettävistä menetelmistä on sovitettu kansainvälisessä yhteistyöohjelmassa (ICP 1988). Suomessakin on metsien terveydentilaa seurattu tällä tavoin vuodesta 1985 lähtien (Jukola-Sulonen et al. 1990). Näillä menetelmillä saadut tulokset eivät kuitenkaan kerro suoraan ilman epäpuhtauksien vaikutuksista, vaan harsuuntumiseen vaikuttavat suuresti esimerkiksi puun ikä, perinnölliset tekijät, puiden kasvuympäristö ja monet abiottiset ja bioottiset tuhot. Tuholaiset voivat aiheuttaa puihin oireita, jotka virheellisesti yhdistetään ilman epäpuhtauksien aiheuttamiin oireisiin. Toisaalta epäpuhtaudet vaikuttavat myös esimerkiksi sieni- ja hyönteistuhoihin joko suoraan, tai yleisemmin epäsuorasti puiden heikentymisen välityksellä. Tuholaiden lisääntymistä jonkun stressitekijän vaikutuksesta ei voida pitää yleisenä sääntönä, vaan ilmiöllä voi olla hyvin monimutkaisia vuorovaikutussuhteita. Metsien yleinen hygienian heikentyminen voi suoraan lisätä mm. joidenkin hyönteislajien populaation kasvua ilman minkään muun ulkoisen stressitekijän vaikutusta. Tästä syystä eri tekijöiden vaikutusta on huolellisesti analysoitu, jotta puiden kunnan vaihtelusta voidaan saada luotettava kuva (Juutinen 1967, Ayres 1984, Houston 1987, Loehle 1988, Larsson 1989).

### MENETELMÄT

Metsien terveydentilaa kuvaavat tunnuksot arvioitiin syys-lokakuussa 1992 ja elokuussa 1993 kaikilla 23 mäntykoealalla (kuva 1, s. 6) tehdyillä maastokäynneillä yhteensä 747 puusta. Aineisto ei ole kuitenkaan vertailukelpoista näiden kahden vuoden välillä kaikilla koealoilla. Kaikista koealan pää- ja lisävaltauista arvioitiin harsuuntuminen 10 %- luokissa, neulasvuosikerrat, yleisin väriavika sekä väriavikojen runsaus ns. vuotuisen elinvoimakartoituksen ohjeiden mukaisesti (ICP 1988). Jokaisesta puusta havainnoitiin korkeintaan kaksi puiden elinvoimaan eniten vaikuttanutta tuhoa. Näistä todettiin ilmiäsu, aste ja aiheuttaja. Ilmiäsun ja asteiden koodauksessa käytettiin samoja tunnuksia kuin valtakunnan metsien 8. inventoinnissa. Neulastuhoista ja väriavioista huomioitiin lisäksi se neulaskerta, jossa tuhoa esiintyi. Aiheuttajista koodattiin 19 yleisintä abiottista tai bioottista syytä. Lisäksi männyistä laskettiin ytimennävertäjien vioittamien versojen määrä latvuksen ylimmässä kolmanneksessa.

Koepuista arvioitiin vielä yleiskunto viisiportaisella luokituksella:

1. Terve: ei runko- tai latvusvioituksia, kuolleita oksia vain latvuksen alaosissa, normaalit neulaset, normaali määrä neulasvuosikertoja, vain vähäisiä neulastuhoja
2. Heikentynyt: joko harsuuntuminen yli 20 %, kuolleita oksia yli 30 % ylälatvuksessa tai neulastuhoa vähintään 30 %:ssa neulasalasta tai puun elinvoimaa heikentävä runkovioitus
3. Vakavasti vaurioitunut: edellisten kohtien vaikutus yli 60 % puun elinvoimaan
4. Kuoleva
5. Kuollut

Koealan ulkopuolisista puista etsittiin lisäksi merkkejä tutkimusmetsikköön mahdollisesti kohdistuneista tuhoista samantapaisella luokituksella. Aiemmin tehtyjen puustomittausten perusteella elinvoimatulokset muutettiin osuiksi koealan runkoluvusta, pohjapinta-alasta ja kuutiomäärästä Metsäntutkimuslaitoksessa kehitetyn KPL (koealojen peruslaskenta)-ohjelmiston avulla.

Hyönteisten aiheuttamia tuhoja tutkittiin joulukuussa 1992 - tammikuussa 1993 keräytyistä männyn oksanäytteistä. Koepuita oli 10 kpl/koeala. Jokaisesta koepuusta analysoitiin kaksi oksaa. Tulokset on laskettu puukohtaisina keskiarvoina. Näyteoksista laskettiin:

1. Syötyjen neulasten lukumäärä, jolla mitattiin mäntypistiäisten, perhostoukkien ja kovakuoriaisten aikaansaamaa tuhoastetta
2. Tärkeimmän mäntypistiäislajin, ruskomäntypistiäisen, munaryhmien lukumäärä
3. Kirvanmunien lukumäärä (lähinnä *Schizolachnus*-lajit)
4. Ytimennävertäjien (*Tomicus*-lajit) katkomat oksat
5. Pihkakääriäisten (*Evetria resinella*) pihkaäkämien lukumäärä

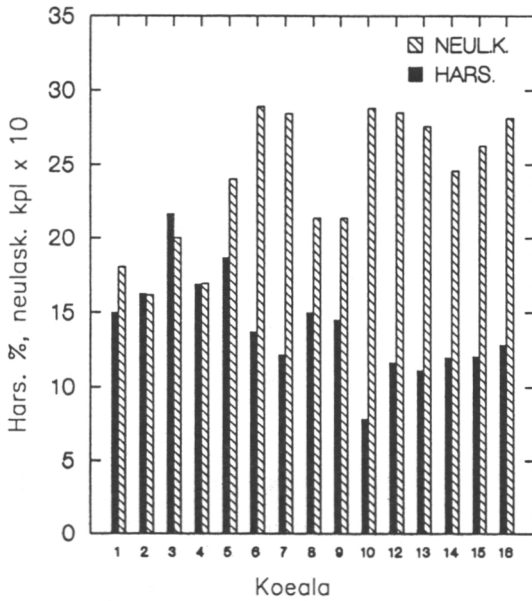
## TULOKSET

### Harsuuntuminen ja neulaskerrat

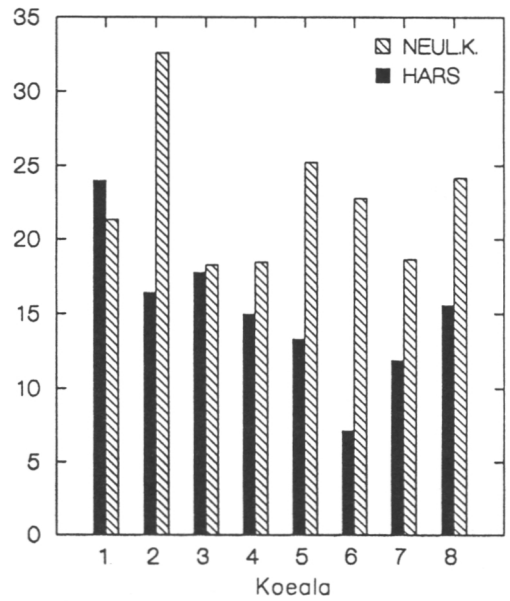
Yli 20 % harsuuntuneita mäntyjä oli 21 % runkoluvusta. Puiden harsuuntumisaste oli Suomen puoleisilla koealoilla pienempi kuin Venäjän puoleisilla koealoilla (keskiarvot 12 ja 18 %, kuva 1). Kaakkois-Suomen ja Karjalan kannaksen yksittäiset koealat eivät poikenneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi, vaikka yhtenä ryhmänä käsiteltynä Kaakkois-Suomen koealoilla olikin merkitsevästi ( $p < 0.05$ ) pienempi harsuuntuminen kuin Karjalan kannaksella. Myös Kainuun koalaryhmässä harsuuntuminen oli suurempaa kuin Kaakkois-Suomessa. Kostamuksen läheisyydessä (koealat 1 ja 3, vrt. kuva 1 s. 17) harsuuntuminen oli merkitsevästi korkeampi kuin Kainuun koalalla 6 (kuva 1). Neulasvuosikertoja oli Kaakkois-Suomen koalaryhmässä merkitsevästi enemmän kuin Karjalan kannaksella, Kainuussa tai Kostamuksessa. Karjalan kannaksen ja Kaakkois-Suomen yksittäisillä koealoilla neulaskertojen määrä ei poikennut toisistaan, sen sijaan Kostamuksen koalalla 2 niitä oli tilastollisesti merkitsevästi enemmän ( $p < 0.05$ ) kuin koealoilla 3, 4 ja 7 (kuva 1).

### Metsien rakenne ja tuhot

Metsien rakenne oli Suomen koealoilla selvästi erilainen kuin Venäjän puolella, jossa koealoilla oli runsaasti kuolleita ja kuolevia aluspuita. Poikkeuksen muodostivat vain Kaakkois-Suomen koeala 9 sekä Kainuun koeala 7, joissa oli myös runsaasti huonokuntoisia puita (kuva 2). Puiden keskinäinen kilpailu oli yleisin kuolinsyy (45 % tapauksista). Jos kilpailu jätetään huomiotta, niin 210 puussa (28,2 %) esiintyi muiden tekijöiden aiheuttama, puiden kasvuun tai elinvoimaan haitallisesti vaikuttava tuho. Näistä syistä männynversosurma oli yleisin (11,2 %). Muita yleisiä syitä olivat ytimennävertäjät (5,2 %), tunnistamattomat tekijät (4,4 %), lumi (2,7 %), korjuuvauriot (1,5 %) sekä mäntypistiäiset (1,1 %).

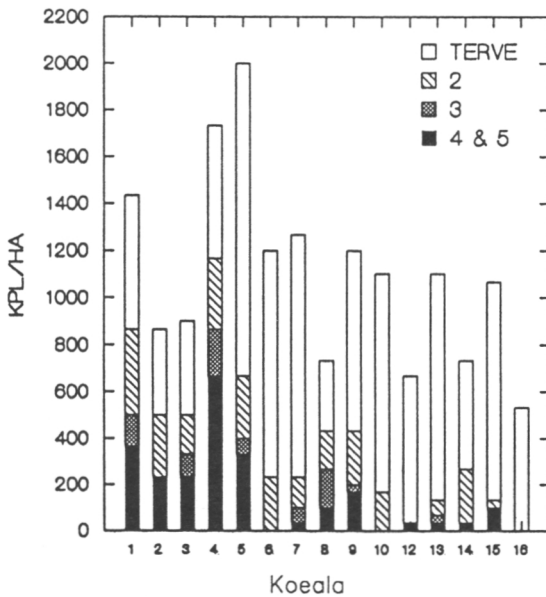


Karjalan kannas ja Kaakkois-Suomi

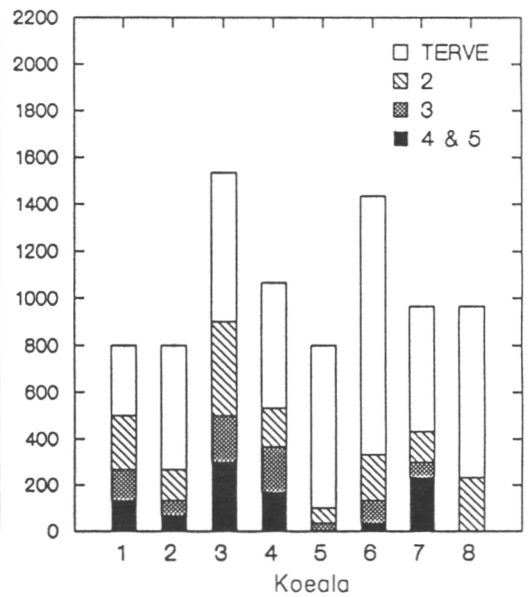


Kostamus ja Kainuu

Kuva 1. Mäntyjen harsuuntuminen (%) ja neulaskertojen määrä (10 x) Karjalan kannaksella ja Kaakkois-Suomessa sekä Kostamuksen-Kainuun linjalla.



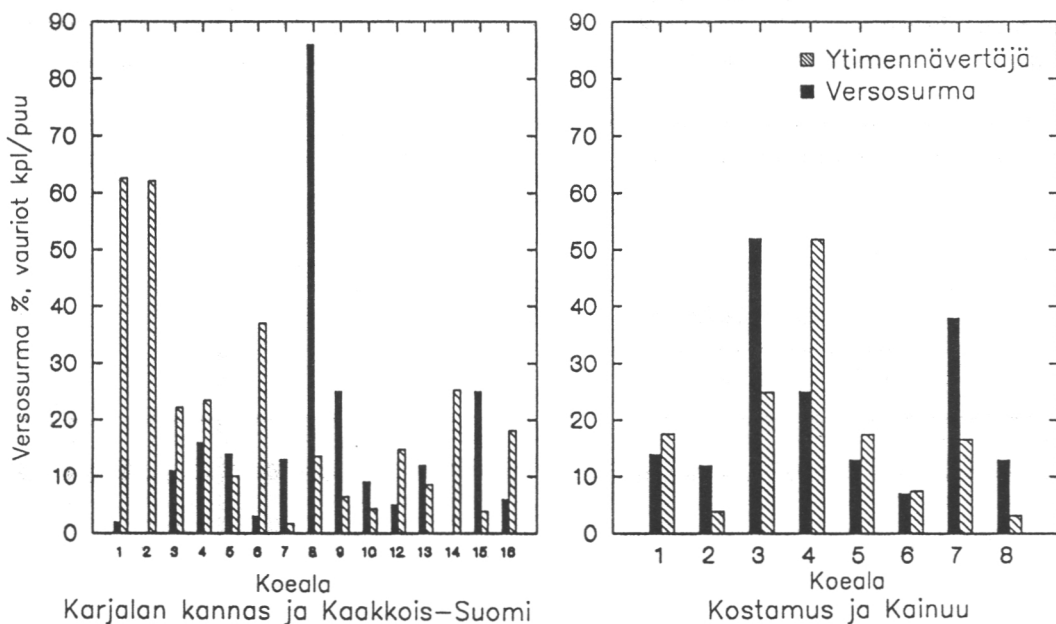
Karjalan kannas ja Kaakkois-Suomi



Kostamus ja Kainuu

Kuva 2. Puiden jakautuminen yleiskuntoluokkiin (vrt. s. 26) Karjalan kannaksella ja Kaakkois-Suomessa sekä Kostamuksen-Kainuun linjalla.

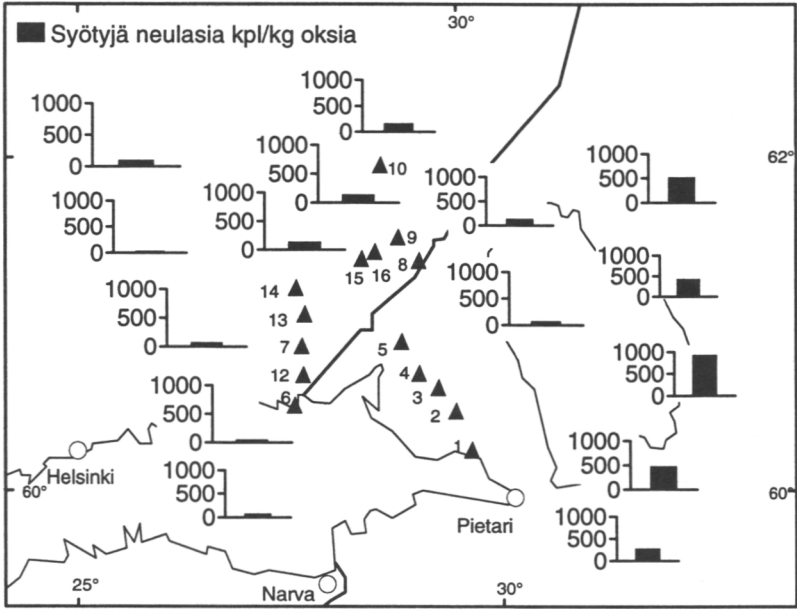
Muiden syiden osuus puiden elinvoimaan vaikuttavista tuhoista jäi alle prosentin. Jos kilpailua ei huomioida, versosurmatuhot olivat yleisimpiä kuolinsyitä. Versosurmaa esiintyi erittäin paljon Kaakkois-Suomen koalalla 8, kun taas ytimennävertäjien vaurioittamia versoja tavattiin runsaimmin Karjalan kannaksen koaloilla 1 ja 2 (kuva 3).



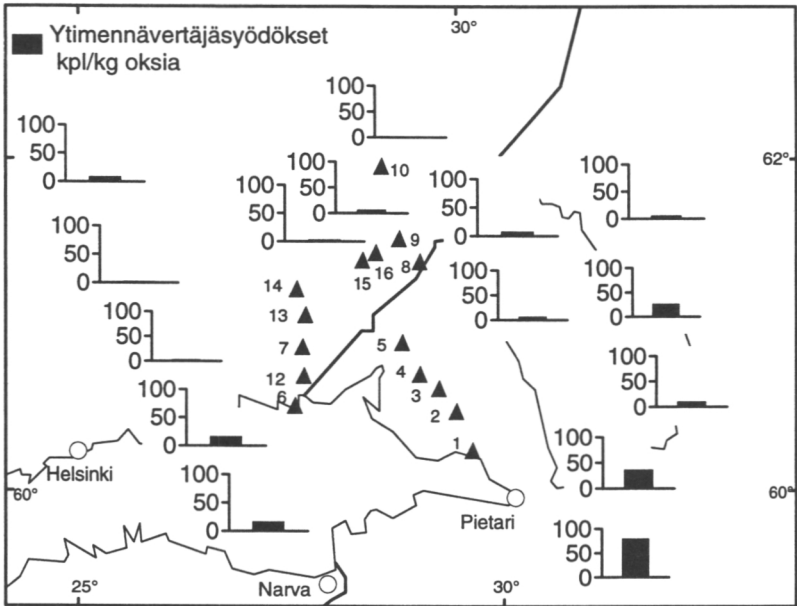
Kuva 3. Versosurman osuus (%) männyn kuntoa heikentävistä tuhoista ja ytimennävertäjien voittamien versojen lukumäärä kpl/puu (10 x) maastoarvioinnissa Karjalan kannaksella ja Kaakkois-Suomessa (vas.) sekä Kostamuksen-Kainuun linjalla (oik.).

### Hyönteistuhot oksanäytteissä

Syötyjen neulasten lukumäärällä mitattu neulastuhoaste Karjalan kannaksella ja Kaakkois-Suomessa kertoi lähinnä mäntypistiäisten (*Diprionidae*) aiheuttamasta neulastuhosta. Perhosten ja kovakuoriaisten aiheuttamat neulastuhot olivat alhaisia. Tulokset osoittivat neulastuhon olevan huomattavasti suuremman ( $p < 0.05$ ) Karjalan kannaksen koealoilla kuin Kaakkois-Suomessa (kuva 4). Erityisesti koealoilla 3 ja 5 syöntisaste oli korkea. Myös ytimennävertäjien katkomien oksien määrässä Karjalan kannaksen koealat (erityisesti 1 ja 2) poikkesivat Kaakkois-Suomen koealoista (kuva 5). Muissa tutkituissa hyönteisryhmissä (kirvat, pihkakääriäinen) ei esiintynyt merkittäviä eroja koealojen välillä. Kostamuksen koealoilla hyönteistuhot olivat samansuuntaiset kuin Karjalan kannaksella. Ytimennävertäjän katkomien oksien määrä oli merkittävästi korkeampi ( $p < 0.05$ ) rajan itäpuolella, erityisesti koealoilla 1 ja 4. Myös kirvojen lukumäärä oli huomattavan korkea Kostamuksen lähellä (koeala 3). Sen sijaan neulastuhon määrässä ei esiintynyt eroja koealojen välillä.



Kuva 4. Neulasten syötiaste oksanäytteissä Kaakkois-Suomessa ja Karjalan kannaksella (kts. pylväden selite s. 11, Kuva 1).



Kuva 5. Ytimennävertäjien vaurioittamat vuosikasvaimet oksanäytteissä Kaakkois-Suomessa ja Karjalan kannaksella.

**KIRJALLISUUS**

- Ayres, P.G. 1984. The interaction between environmental stress injury and biotic disease physiology. *Annual Review of Phytopathology* 22:53-75.
- Houston, D.R. 1987. Forest tree declines of past and present: current understanding. *Canadian Journal of Plant Pathology* 9:349-360.
- Jukola-Sulonen, E-L., Mikkola, K. & Salemaa, M. 1990. Vitality of conifers in Finland, 1986-88. Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (toim.). Acidification in Finland. Springer-Verlag, Berlin. p. 523-560.
- Juutinen, P. 1967. Zur Bionomie und zum Vorkommen der Roten Kieferbuschhornblattwespe (*Neodiprion sertifer* Geoffr.) in Finnland in den Jahren 1959-1965. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 63: 1-129.
- Larsson, S. 1989. Stressful times for the plant stress - insect performance hypothesis. *Oikos* 56:277-283.
- Loehle, G. 1988. Forest decline: endogenous dynamics, tree defenses, and the elimination of spurious correlation. *Vegetatio* 77:65-78.
- Manual on methodologies and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests in the ECE-Region (1988).



# NEULASTEN PINTAVAHOJEN KUNTO KAAKKOIS-SUOMEN JA KARJALAN KANNAKSEN MÄNNIKÖISSÄ

Seppo Nevalainen<sup>1</sup> ja Vladimir Arkhipov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimusasema, PL 68, 80101 Joensuu

<sup>2</sup>Lesprojekt, Koli Tomchaka 16, 196084 Pietari, Venäjä

## TIIVISTELMÄ

*Kiteisen vahan osuus oli männyn neulasissa alhaisin Karjalan kannaksella ja Kaakkois-Suomessa, Virolahden alueella. Suurimmillaan kiteisen vahan osuus oli Kaakkois-Suomen itä- ja pohjoisosissa. Tulokset levymäisen vahan osuudesta ja tukkeutuneiden ilmarakojen määrästä tukivat kiteisestä vahasta saatuja tuloksia, joskin myös Kaakkois-Suomen pohjoisimmalla mäntykoelalla oli vahoissa havaittavissa nopeaa kulumista.*

## JOHDANTO

Havupuiden neulasten pintakerrosta suojaa lähes yhtenäinen vahakerros. Ilmaraon esikammion kohdalla vahakerros muodostaa harsomaisen tulpan. Vahakerroksella on useita tärkeitä tehtäviä: se säätelee haihtumista, kaasujen vaihtoa, ravinteiden ja aineenvaihduntatuotteiden liikkumista sekä rajoittaa ilmansaasteiden, sienten ja hyönteisten pääsyä kasvin sisälle (Riederer 1989). Vahan syntymekanismia ei ole vielä pystytty täydellisesti selvittämään. Vahan kemiallinen rakenne on yhteydessä vahan morfologiaan. *Pinus*- ja *Picea*-sukujen vahakerros koostuu tiheään asettuneista kristallimaisista tuubeista, joiden koko on männyllä 1 x 0,1 µm:n luokkaa. Neulasen ikääntyessä kiteinen vaha muuttuu vähitellen verkkomaiseksi ja edelleen levymäiseksi. Vahan luonnollinen eroosio voi tapahtua hyvinkin hitaasti, vaikka kiteisen vahan osuus pienenee jo ensimmäisenä talvena. Ilman epäpuhtaudet nopeuttavat vahan kulumista tai häiritsevät pintavahan muodostumista epidermissä (Riding ja Percy 1985, Cape 1986, Crossley ja Fowler 1986, Turunen ja Huttunen 1990). Männyn neulasten pintavahan on havaittu rappeutuvan happaman sateen, rikkidioksidin, typen oksidien ja suurten otsonipitoisuuksien vaikutuksesta. Neulasissa tapahtuneita muutoksia on luokiteltu eri tavoin, esim. mittaamalla kiteisen vahan peittävyttä ilmarakourteessa, selvittämällä eri vahatyypin ja eri tavoin epämuodostuneiden ilmarakojen osuuksia.

## MENETELMÄT

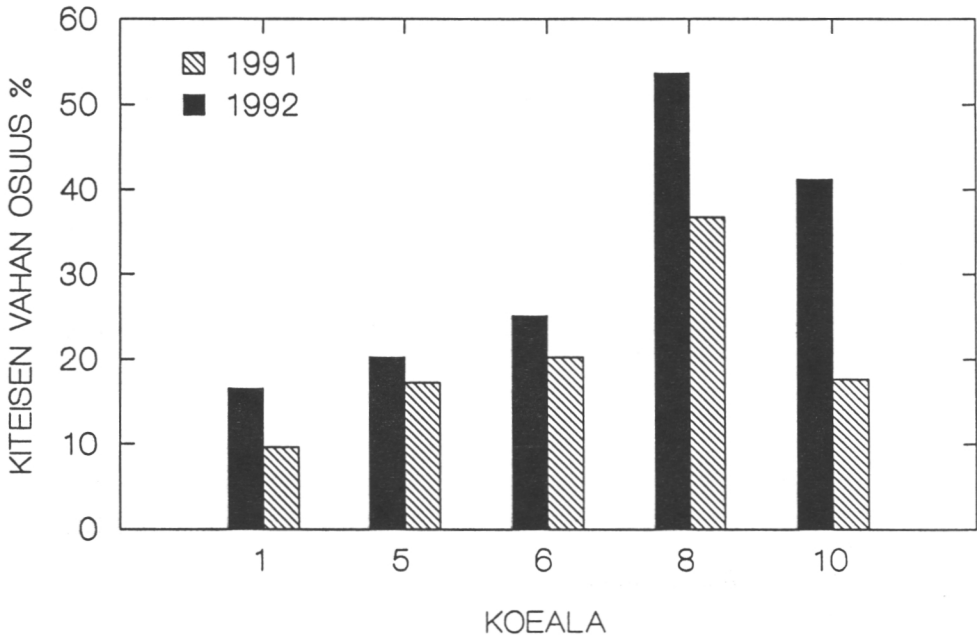
Talven 1992/1993 neulasnäytteiden keruun yhteydessä otettiin yhteensä kolmeltatoista koelalalta Karjalan kannakselta, Kostamuksesta, Kaakkois-Suomesta ja Kainuusta, viidestä puusta/koelala kaksi oksaa latvuksen ylimmästä kolmanneksesta pintavahojen tutkimista varten. Näyteoksia säilytettiin analysointiin saakka pakastimessa. Näytteiden annettiin kuivaa vuorokauden ajan huoneenlämmössä, jonka jälkeen vuosien 1990-1992 neulasista (4 kpl/vuosikerta) leikattiin n. 5 mm pala neulasten keskeltä ja liimattiin hopealiimalla näytenapeille. Liiman kuivuttua näytet sputteroitettiin ohuella kultakerroksella. Näytteet tutkittiin Joensuun Yliopiston JEOL JSM 35 CF-pyyhkäisyelektronimikroskoopilla 100 kV:n kiihdytysjännitteellä. Jokaisesta neulasesta tutkittiin 16 ilmarakoa ja niistä määritettiin kiteisen vahan peittävyys (10 % luokat) ilmarakoalueella 600x -suurennoksella, yleisin vahatyyppi ilmaraon esikammion alueella 3000x -suurennoksella sekä sieni-itiöiden tai rihmaston esiintyminen. Lisäksi laskettiin tukkeutuneiden ja epämuodostuneiden ilmarakojen määrä.

Vahatyypien määrittämisessä käytettiin seuraavaa luokitusta:

1. Tuubimainen vaha
2. Joitakin yhteensulatuneita tuubeja
3. Useimmat tuubit yhteensulautuneita, levymäistä vaha voi esiintyä
4. Pääasiassa levymäistä vaha, yksittäisiä, sulaneita tuubeja voi esiintyä
5. Levymäinen vaha
6. Tukkeutunut ilmarako

## TULOKSET

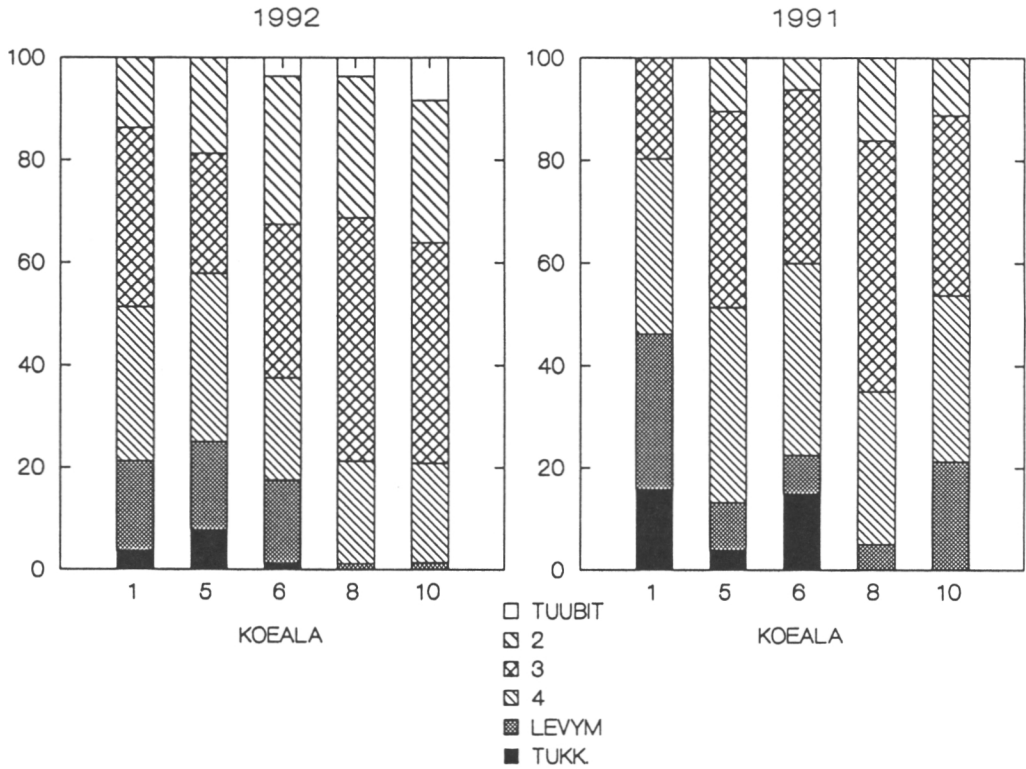
Vertailukelpoisia tuloksia on toistaiseksi käytettävissä kahdesta nuorimmasta neulasvuosikerrasta viideltä koealalta, jotka edustavat sängen hyvin erilaisia ilman epäpuhtauksien laskeumatasoja. Niiden mukaan kiteisen vahan osuus oli alhaisin Karjalan kannaksella (koealat 1 ja 5, kuva 1). Neulaset olivat kuluneet voimakkaasti jo ensimmäisen kasvukauden aikana myös Virolahdella (koeala 6, vrt. kuva 1 s. 11). Kuitenkin Kaakkois-Suomen pohjoisimmalla koealalla (10) neulasvahojen kunto oli heikompi kuin eteläisemmällä koealalla 8. Ensin mainitulla koealalla oli havaittavissa vahan nopeampi kuluminen eli alhainen kiteisen vahan osuus vuoden 1991 neulasissa (kuva 1). Koealalla 8 kiteisen vahan osuus oli tilastollisesti merkitsevästi ( $p < 0.05$ ) suurempi kuin kaikilla muilla koealoilla molemmissa tutkituissa neulasvuosikerroissa. Toisaalta nuorimmassa (vuoden 1992) vuosikerrassa neulasten kiteisten vahojen määrä oli pohjoisimmalla koealalla (10) selvästi suurempi kuin Karjalan kannaksella ja Kaakkois-Suomen eteläosissa (koealat 1, 5 ja 6).



Kuva 1. Kiteisen vahan peittävyys (%) ilmarakourteessa 600x-suurennoksella männyn eri neulasvuosikerroissa.

Eri vahatyypien jakaumat vahvistavat edellä saatua tulosta: levymäiseksi muuttuneen vahan ja tukkeutuneiden ilmarakojen osuus oli suurinta Karjalan kannaksella ja Kaakkois-Suomen eteläosissa, Virolahdella (kuva 2). Karjalan kannaksen koealalla 1 näkyi vahojen voimakas

muuttuminen vuoden 1991 neulasissa, joskin merkillepantavaa on myös Kaakkois-Suomen pohjoisimman koealan (10) levymäisen vahan suuri osuus tässä neulasvuosikerrassa. Virolahdella (koeala 6) neulasten pinnalla havaittiin runsaimmin sienirihmastoja ja sieni-itiöitä, mikä osaltaan saattaa selittää vuoden 1991 neulasvuosikerran tuloksen. Yleensäkin sieniä havaittiin vuoden 1991 neulasissa lähes kaksi kertaa useammin kuin nuorimmassa (vuoden 1992) neulasissa.



Kuva 2. Eri vahatyypin (tuubimainen vaha- levymäinen vaha) sekä tukkeutuneiden ilmarakojen osuus (%) ilmaraon esikammiossa männyn eri neulasvuosikerroissa 3000x -suurennoksella (vrt. luokitus, s. 32).

## KIRJALLISUUS

Cape, J.N. 1986. Effects of air pollution on the chemistry of surface waxes of Scots pine. *Water, Air and Soil Pollution* 31:393-399.

Crossley, A. & Fowler, D. 1986. The weathering of Scots pine epicuticular wax in polluted and clean air. *New Phytologist* 103:207-218.

Riding, R.T. & Percy, K.E. 1985. Effect of SO<sub>2</sub> and other air pollutants on the morphology of epicuticular waxes on needles of *Pinus strobus* and *Pinus banksiana*. *New Phytologist* 99 (4):555-563.

Riederer, M. 1989. The cuticles of conifers: structure, composition and transport properties. Julkaisussa: Schulze, E.-D., Lange, O.L. & Oren, R. (toim.). Forest decline and air pollution. Ecological Studies 77. Springer Verlag, Berlin. p. 157-192.

Turunen, M. & Huttunen, S. 1990. A review of the response of epicuticular wax of conifer needles to air pollution. Journal of Environmental Quality 19: 35-45.

# JÄKÄLÄT ILMAN EPÄPUHTAUKSIEN INDIKAATTOREINA KOSTAMUKSEN MÄNNIKÖISSÄ

Margarita Potasheva<sup>1</sup>, Aleksei Kravtshenko<sup>1</sup> ja Jarmo Poikolainen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Venäjän tiedeakatemia, Karjalan tiedekeskus, Metsäinstituutti, 185610 Petroskoi, Venäjä

<sup>2</sup>Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusasema, Kirkkosaarentie 7, 91500 Muhos

## TIIVISTELMÄ

*Puiden rungoilla kasvavien epifyyttijäkälien lajikoostumuksessa ja peittävydessä Kostamuksen alueella todetut erot johtuvat ensi sijassa ekologisista tekijöistä kuten metsikön iästä, puuston tiheydestä ja kasvupaikan viljavuudesta. Jäkäläpeite oli vähentynyt aivan kombinaatin välittömässä läheisyydessä. Jäkälien fysiologisissa toiminnoissa, kuten solukalvojen läpäisykyvyssä ja hengitysaktiivisuudessa, havaitut muutokset lähellä kombinaattia osoittavat myös, että selvät päästövaikutukset rajoittuvat toistaiseksi kombinaatin lähiympäristöön. Sormipaisukarvejäkälän (*Hypogymnia physodes*) rauta-, rikki- ja tuhkapitoisuudet olivat kombinaatin lähellä moninkertaiset tausta-alueen pitoisuuksiin verrattuna. Tulokset rikki- ja raskasmetallipitoisuuksista vahvistavat aiemmin alueelta saatuja tietoja, että kombinaatin päästöjen vaikutusalue ulottuu 8 - 10 km:n päähän kombinaatista.*

## JOHDANTO

Jäkälää voidaan käyttää monin eri tavoin bioindikaattoritutkimuksissa. Jäkäläpeitekuvauksia on jo vuosikymmenien ajan käytetty päästölähteiden vaikutusalueiden kartoituksissa. Epifyyttijäkälää käytetään yleisesti myös raskasmetallilaskeuman kartoituksiin. Sormipaisukarve (*Hypogymnia physodes*) ilman epäpuhtauksia hyvin kestäväenä lajina soveltuu tähän tarkoitukseen erityisen hyvin. Jäkälien fysiologisissa toiminnoissa tapahtuneet muutokset ja solujen biokemialliset muutokset antavat yksityiskohtaisempaa tietoa mahdollisista ilman epäpuhtauksien vaikutuksista. Bioindikaattoritutkimukset jäkälillä soveltuvat erityisen hyvin Kostamuksen kaivoskombinaatin kaltaisten pistemäisten päästölähteiden vaikutusalueiden tutkimiseen. Tässä työssä on selvitetty epifyyttijäkälien esiintymistä mäntyjen rungoilla, jäkälien fysiologisessa toiminnassa mahdollisesti tapahtuneita muutoksia sekä jäkälien rikki- ja raskasmetallipitoisuuksia eri etäisyyksillä kaivoskombinaatista.

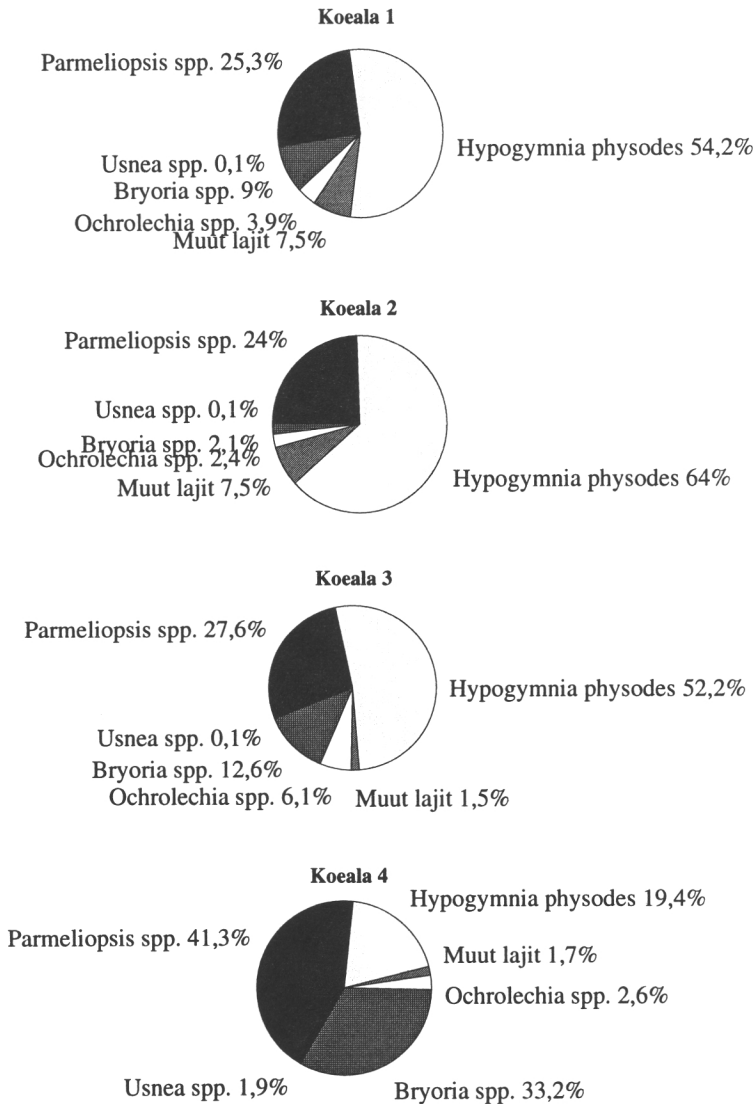
## AINEISTO JA MENETELMÄT

Jäkälää tutkittiin neljällä mäntykoealalla, jotka sijaitsevat Venäjän alueella Kostamuksen länsipuolella (kuva 1, s. 6 ja kuva 1 s. 17). Koealat on perustettu kuivan tai kuivahkon kankaan männiköihin. Puuston keski-ikä vaihtelee näillä koealoilla 80 vuodesta 120 vuoteen. Jäkäläpeitekuvaus tehtiin heinä-elokuun vaihteessa 1993. Tutkimukseen valittiin jokaiselta koealalta 10 rosokaarnaista valtapuuston mäntyä. Jäkälien peittävyys puiden rungoilla arvioitiin rinnankorkeudelta neljästä pääilmansuunnasta kehikon avulla (10 x 30 cm). Tässä raportissa on esitetty vertailuna tuloksia jäkäläpeitteestä Metsäinstituutin koealoilta, jotka on perustettu 1980-luvun lopulla samalle alueelle mustikkatyyppin mäntymetsiin. Solukalvojen läpäisevyys määritettiin neljältä eri jäkälälajilta (*Hypogymnia physodes* ja kolme *Cladina*-suvun lajia) mittaamalla jäkälien elektrolyyttipitoisuus tislatussa vedessä. Mittaukset tehtiin Pietarin yliopiston kasvitieteen laitoksella A.P. Rovinskajan toimesta. Samalla laitoksella (I.A. Shapiro) määritettiin myös *Peltigera aphthosa*-maajakälälajien hengitysaktiivisuus manometrisesti Warburgin laitteella. Jäkälien kemiallista määrittystä varten näytteet kerättiin

koaloilta viitenä toistona elokuussa 1992. Näytelajina käytettiin sormipaisukarvejäkälää (*Hypogymnia physodes*). Näytteiden keruussa noudatettiin Suomen VMI 8:n pysyville koaloille laadittuja biologisten näytteiden keruuhjeita (Reinikainen ja Nousiainen 1985). Näytteistä analysoitiin atomiabsorptiospektrofotometrillä rikkipitoisuus sekä eräiden raskasmetallien pitoisuudet (Cd, Cu, Fe, Mn, Pb).

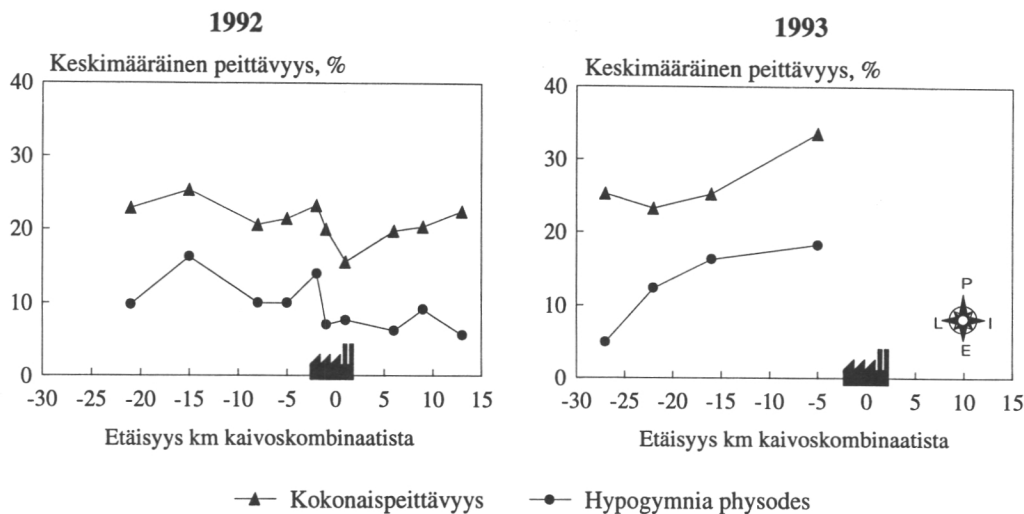
## TULOKSET

Puiden rungoilla kasvoi runsaimmin sormipaisukarvetta (*Hypogymnia physodes*), seuraavaksi eniten *Parmeliopsis*- ja *Bryoria*-sukuihin kuuluvia epifyyttijäkälälajeja ja jonkin verran myös *Usnea*- ja *Ochrolechia*-sukujen lajeja. Muiden jäkälien osuus jäi varsinkin koaloilla 3 ja 4 vähäiseksi. *Hypogymnian* peittävyys oli vallitseva (yli 50%) koaloilla 1 - 3 (kuva 1). Sen sijaan koalalla 4 olivat vallitsevia sukuihin *Parmeliopsis* spp. ja *Bryoria* spp. kuuluvat lajit. Koaloilla 1 ja 2 lajimäärä oli hieman suurempi kuin koaloilla 3 ja 4.



Kuva 1. Epifyyttijäkälien peittävyys (%) koaloilla 1 - 4.

Peittävyysarvot olivat suurin piirtein samaa luokkaa kuin Metsäinstituutin koaloilla mustik-katyypin metsissä vuonna 1992 mitatut kokonaispeittävydet (kuva 2).



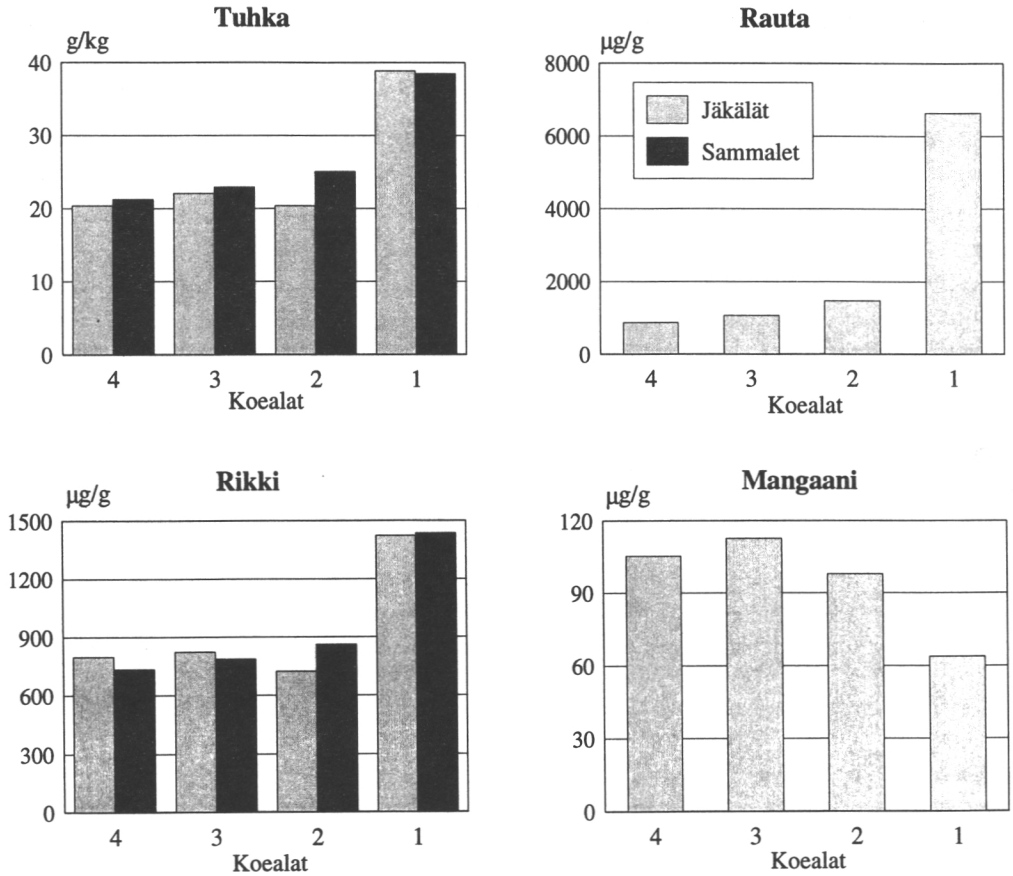
Kuva 2. Kaikkien jäkälien ja sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) keskimääräinen peittävyys kaivoskombinaatin ympäristössä vuosina 1992 (Metsäinstituutin koalat) ja 1993 (tämän tutkimuksen koalat 1 - 4).

Solukalvojen läpäisykykyä osoittava elektrolyyttimenetys vaihteli sormipaisukarpeella (*Hypogymnia physodes*) välillä 12-24 % ja kolmella *Cladina*-sukuun kuuluvalla maajäkälällä välillä 37-50 %. Kainuu-Kostamus linjan koalojen välillä ei ollut solukalvojen läpäisykyvyssä suuria eroja. Sen sijaan Metsäinstituutin koaloilla selvästi korkein elektrolyyttimenetys sormipaisukarpeella on todettu koalalla, joka sijaitsee 1 km kombinaatista koilliseen. Hengitysaktiivisuuden mittaukset yhteistutkimuksen koaloilla 1-3 osoittivat puolestaan, että jäkälän (*Peltigera aphthosa*) hengitysaktiivisuus oli vähäisintä lähimpänä tehdasta olevalla koalalla (taulukko 1).

Taulukko 1. *Peltigera aphthosa*-jäkälän hengitysaktiivisuus (mcl O<sub>2</sub> /g/tunti).

Koala	Hengitysaktiivisuus	Suhteelliset arvot, %
1	289	100
2	491	170
3	785	272

Jäkälän (*Hypogymnia physodes*) tuhka-, rauta- ja rikki-pitoisuudet olivat kombinaatin lähellä (koala 1) huomattavasti korkeammat kuin koaloilla 2 - 4 (kuva 3). Mangaani- ja lyijypitoisuudet olivat kombinaatin vieressä keskimääräistä alempia. Kuparin ja kadmiumin pitoisuuksissa ei ollut koalojen välillä selviä eroja. Kuvassa 3 on vertailun vuoksi esitetty samoilta koaloilta kerättyjen kerrossamalten (*Hylocomium splendens*) tuhka- ja rikki-pitoisuudet. Ne eivät poikenneet vastaavista jäkälän pitoisuuksista.



Kuva 3. Sormipaisukarpeen (*Hypogymnia physodes*) tuhka-, rikki-, rauta- ja mangaanipitoisuus sekä kerrossammalen (*Hylocomium splendens*) tuhka- ja rikkipitoisuus koealoilla 1 - 4.

### KIRJALLISUUS

Lazareva, I., Kutshko, A., Kravtshenko, A., Gabukova, V., Litinsky, P., Potasheva, M. & Kalinina, N. 1992. Impact of airtechnogenic pollution on state of pine forests in Northern Karelia. Reprint of Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk. 51 s.

Recommendations. SIS. Soil and biological objects of analysis. MI-2221-92, M. 1992. 14 p.

Reinikainen, A. & Nousiainen, H. 1985. Biologien työohjeet VMI 8:n pysyviä koealoja varten. Metsäntutkimuslaitos. Moniste. 42 s. + liitteet.



## YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Ilari Lumme ja Eino Mälkönen

Metsäntutkimuslaitos, Metsäekologian tutkimusosasto, PL 18, 01301 Vantaa

### **Kaakkois-Suomi ja Karjalan kannas**

Tähän mennessä saatujen laskeumatulosten mukaan lähinnä Pietarin kaupungin, Leningradin alueen ja Viron suuret päästölähteet aiheuttavat Karjalan kannaksen mäntymetsiin suhteellisen korkean rikki- ja typpikuormituksen. Pietarin suunnasta ja Virosta ulottuu kuormitusgradientti Kaakkois-Suomeen, jonka eteläosissa rikki- ja typpilaskeuma on 2-3-kertainen sisämaan tausta-arvoihin verrattuna. Laskeuman poikkeuksellisen korkea kalsium- ja magnesiumpitoisuus alentaa kuitenkin rikin ja typen aiheuttamaa happamoittavaa kuormitusta. Pääosa suuresta emäskationilaskeumasta lienee peräisin Virosta palavan kiven poltosta. Muissa tutkimuksissa on tosin havaittu, että emäksisten aineiden päästöt ja laskeuma ovat yleistä tasoa korkeammat koko Baltian alueella (Ryaboshapko ja Saar 1988). Myös Leningradin alueella ja Pietarissa saattaa olla merkittäviä emäskationien päästölähteitä.

Maaveden rikki-, ammoniumtyppi- ja kalsiumpitoisuudet korreloivat positiivisesti märkälassekeuman kanssa. Emäskationilaskeuma vähensi maaperään tulevaa hapanta laskeumaa. Lisäksi metsämaan luontaiset puskurimekanismit neutraloivat suuren osan happamasta laskeumasta välittömästi maan pintakerroksen alapuolella. Tässä vaiheessa tutkimusta ei kuitenkaan tiedetä paljonko koalojen välisestä maaveden laadun vaihtelusta selittyy maaperän ominaisuuksien luontaisilla eroilla.

Bioidikaattoritutkimuksen tulokset tukivat osaltaan märkälassekeumatuloksia. Lisäksi ne osoittivat, että Karjalan kannaksella ja Kaakkois-Suomen eteläosissa raskasmetallipitoisuudet olivat raudan, kuparin kadmiumin, kromin, sinkin, nikkelin, titaanin ja vanadiinin osalta kohonneita. Kaakkoa kohti lievästi nousevat pitoisuudet viittaavat Pietarin ja Leningradin alueen merkitykseen myös raskasmetallipäästöjen lähteenä. Kaakkois-Suomen eteläosissa todennäköisesti myös Virosta tuleva raskasmetallilaskeuma nostaa pitoisuuksia. Kaakkois-Suomen pohjoisosissa Venäjältä ja Virosta tulevien laskeumien merkitys vähenee. Verrattaessa saatuja tuloksia vuonna 1990 tehtyyn yhteispohjoismaiseen raskasmetallikartoitukseen minkään tutkitun raskasmetallin pitoisuus Kaakkois-Suomessa tai Karjalan kannaksella ei noussut poikkeuksellisen korkeaksi (Rühling et al. 1988).

Männiköiden terveydentila oli Karjalan kannaksella yleisesti ottaen heikompi kuin Kaakkois-Suomessa. Tulokset selittyivät usean eri tekijän yhteisvaikutuksista. Venäjän puolella männiköt ovat eri-ikäisrakenteisia, tiheitä, harventamattomia ja ne sisältävät runsaasti kuolevaa tai lahoavaa puuainesta. Kuolevat puut luovat erittäin hyvät edellytykset muun muassa erilaisten haitallisten tuhohyönteisten ja sienitautien lisääntymiselle. Toisaalta suhteellisen korkean rikki-, typpi- ja emäskationilaskeuman sekä myös raskasmetallilaskeuman aiheuttama ympäristöstressi on saattanut alentaa puiden vastustuskykyä. Männyn neulasten alkuainepitoisuudet heijastivat tutkimusalueelle tulevaa märkälassekeumaa. Neulasten ravinnepitoisuudet viittaavat lisäksi siihen, että puuston magnesiumin otto on häiriytynyt Karjalan kannaksen eteläosissa. Neulasten pintavahojen kunnosta saadut tulokset olivat pääosin samansuuntaiset laskeumatulosten kanssa. Puuston rakenteessa ilmenevien erojen vaikutus latvuksen yläosan neulasten pintavahojen kuntoon on vähäisempi kuin muihin edellä mainittuihin puuston terveydentilan

indikaattoreihin. Ilman epäpuhtauksien lisäksi pintavahojen rakenteeseen vaikuttavat kuitenkin muut ympäristötekijät kuten sääolot ja sienitaudit.

Eräissä tapauksissa typpi- ja emäskationilaskeumalla voi olla myös puiden kuntoa edistävä vaikutus ja toisaalta suhteellisen korkeasta laskeumasta huolimatta puuston yleiskunto ei poikennut merkittävästi Kaakkois-Suomen eteläosassa muusta Kaakkois-Suomen alueesta. Puuston terveydentilassa havaittu ero Kaakkois-Suomen ja Karjalan kannaksen välillä selittyy pääosin metsien erilaisella rakenteella. Nämä kaksi tekijää, metsien erilainen rakenne ja ilman epäpuhtaudet eivät kuitenkaan ole toisiaan poissulkevia, vaan saattavat vaikuttaa yhdessä samaan suuntaan. Tutkimushankkeessa vielä kesken olevat osatutkimukset pyrkivät selvittämään erilaisten indikaattoreiden avulla eri ympäristötekijöiden osuutta metsien terveydentilassa.

### **Kostamuksen ja Kainuun alue**

Alustavien tulosten mukaan Kostamuksen kaivoskombinaatin aiheuttama kuormitus Kainuun metsissä on melko pieni. Sekä suomalaiset että venäläiset mittaukset tukevat johtopäätöstä, jonka mukaan kaivoskombinaatin päästöjen selvä vaikutusalue ulottuisi noin 10-30 km:n päähän kombinaatista. Alueella vallitsevien lännen ja lounaan puoleisten tuulien vuoksi pääosa kombinaatin päästöistä kulkeutuu sen itäpuolelle. Tämän tutkimusjakson aikana kaivoskombinaatista tuli Kainuuseen lähinnä rikkiä, mutta rikkilaskeuma jäi Kainuussa suhteellisen alhaiseksi kaivoskombinaatin rikkipäästöihin verrattuna. Kainuusta mitattu rikkilaskeuma vastasi suurin piirtein Ilmatieteen laitoksen sekä Vesi- ja ympäristöhallituksen Kainuusta mittamia laskeuma-arvoja (Leinonen ja Junto 1993, Järvinen ja Vänni 1994). Rikkilaskeuma jäi Kainuussa noin puoleen Etelä-Suomen tasosta.

Suuret kuukausittaiset vaihtelut sadeveden rikkipitoisuudessa osoittavat kuitenkin, että ajoittain itätuulten vallitessa Kostamuksesta kulkeutuu rikkiä länteenpäin suhteellisen runsaasti. Kesäaikana rikkidioksidi hapettuu sulfaattirikiksi ja tulee sateiden mukana pääasiassa lähelle kaivoskombinaattia. Talvella rikkidioksidin muuttuminen sulfaattirikiksi on hidasta eikä se sitoudu kovin tehokkaasti satavaan lumeen, joten rikkidioksidia saattaa kulkeutua etäälle kombinaatista.

Nitraatti- ja ammoniumtyypen laskeumat Kainuussa jäivät noin puoleen Etelä-Suomen laskeuma-arvoista. Nitraatin laskeuma oli niin vähäinen, että se sitoutunee pääosin puustoon ja aluskasvillisuuteen. Koska suurin osa nitraatista tulee talvella, se saattaa yhdessä lumeen kertyvän sulfaattirikin kanssa lisätä keväällä sulamisvesien happamuutta. Kostamuksen kaivoskombinaatista tuleva suhteellisen korkea kalsiumlaskeuma neutraloi kuitenkin tätä happamoitettavaa vaikutusta.

Bioindikaattoritutkimuksen mukaan raskasmetalleja on levinnyt merkittävämmiin vain kaivoskombinaatin välittömään läheisyyteen, selvimmin kohonneina pitoisuuksina rautaa ja pienemmässä määrin myös nikkeliä, titaania ja vanadiinia. Kainuuseen saakka raskasmetalleja tuli kuitenkin vähän. Ainoastaan raudan pitoisuus oli sekä sammalissa että kaarnassa jonkin verran korkeampi aivan Kainuun itäisimmissä osissa kuin muualla maakunnassa. Yleisesti ottaen raskasmetallipitoisuudet olivat Kainuussa alhaisia ja vastaavat lähinnä tausta-alueen tasoa.

Neulasten ravinnepitoisuuksissa ei havaittu olennaisia poikkeamia kuivien kankaiden männyille suositelluista ohjearvoista (Metsänterveysopas 1988). Puuston terveydentilaselvityksessä saatiin samansuuntaiset tulokset kuin Kaakkois-Suomesta ja Karjalan kannakselta; männiköiden harsuuntuminen lisääntyi ja yleiskunto heikkeni länsi-itäsuunnassa. Kostamuksen-

Kainuun alueellakin tuloksiin vaikuttaa metsien erilainen rakenne valtakunnan rajan eri puolilla. Kaivoskombinaatin välittömässä läheisyydessä ilman epäpuhtauksien osuus puustovaurioissa saattaa olla merkittävä, mutta niiden vaikutus ei kuitenkaan ulottune kovin etäälle kombinaatista.

### **KIRJALLISUUS**

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

Leinonen, L. & Juntto, S. (toim.) 1993. Ilmanlaatumittauksia - Air quality measurements 1992. Ilmatieteen laitos. 248 s.

Metsänterveysopas 1988. Metsätuhot ja niiden torjunta. Samerka Oy. Helsinki. 168 s.

Rühling, Å., Brumelis, G., Goltsova, N., Kvietus, K., Kubin, E., Liiv, S., Magnusson, S., Mäkinen, A., Pilegaard, K., Rasmussen, L., Sander, E. & Steinness, E. 1992. Atmospheric heavy metal deposition in Northern Europe 1990. Nord 1992:12. 41 s.

Ryaboshapko, A. & Saar, J. 1988. Calcium deposition from the atmosphere on the territory of Estonia. Julkaisussa: Ryaboshapko, A. (toim.). Proceedings of the USSR/SF symposium on air pollution and its effects on vegetation. Ilmatieteen laitos. Ilmanlaadun raportteja. s.12-16.

## **Kiitokset**

Tämän tutkimushankkeen kenttä- ja laboratoriotöihin sekä muihin tutkimukseen liittyviin tehtäviin on osallistunut henkilökuntaa Metsäntutkimuslaitoksen Vantaan tutkimusyksiköstä, Ruotsinkylän kenttäasemalta, Muhoksen, Joensuun, Rovaniemen ja Parkanon tutkimusasemilta sekä Kymen vesi- ja ympäristöpiiristä, Kouvolasta. Kaikille tutkimustöihin osallistuneille esitämme lämpimät kiitokset.







PAINATUSKESKUS OY  
PIKAPAINO  
Opastinsilta 12 A  
HELSINKI, 1994