

Vol. 27

1976, N:o 4—5

31.12.1976

S U O

Julkaisija — Publisher:
SUOSEURA — FINNISH PEATLAND SOCIETY
Toimituskunta — Editorial board:
Juhani Päivänen (puh.joht. — chairman), Erkki Ahti,
Hannu Mannerkoski, Esko Lehtimäki,
Jukka Laine (päätoimittaja — editor)

Toimitus — Office:
Unionink. 40 B
00170 Helsinki
Finland

Tilaushinta 24 mk
Subscription price
24 Finnish marks

Kirjoituksia lainattaessa pyydetään mainitsemaan lehden nimi

Pekka Pakarinen & Ahti Mäkinen

Suo 27, 1976 (4—5): 77—83

SUOSAMMALET, -JÄKÄLÄT JA MÄNNYN NEULASET RASKASMETALLIEN KERÄÄJINÄ

COMPARISON OF Pb, Zn AND Mn CONTENTS OF MOSSES, LICHENS
AND PINE NEEDLES IN RAISED BOGS

JOHDANTO

Paksaturpeisten koho- eli keidassoiden pintakasvillisuus on viime kädessä ilma-kehän ravinnelisäysten varassa. Koska samalten ja jäkälien ravinteidenkuljetusmekanismit ovat paljon heikommin kehittyneitä kuin korkeammilla kasveilla, on odotettava, että sateen ja pölylaskeuman mukana tulleet ainelisäykset näkyvät herkästi alempien kasvien kemiallisessa koostumuksessa. Äskettäin onkin havaittu, että rahkamättäillä yleisenä kasvavan ruskean rahkasammalen (*Sphagnum fuscum*) metallipitoisuudet kuvastavat mm. lyijyn ja sinkin alueellista laskeumaa ilmakehästä (Pakarinen & Tolonen 1976). Huomattakoon, että ns. raskasmetalleista eräät (esim. sinkki ja kupari) ovat samalla kasvien hivenravinteita, kun taas toiset kuten lyijy ja kadmium ovat aineenvaihdunnan kannalta tarpeettomia tai myrkyllisiä. Myös suurilla hivenainemäärillä voi olla myrkyvaikutus.

Toistaiseksi ei ole saatavissa paljonkaan tietoa eri suokasvilajien kyvystä rikastaa hivenaineita tai raskasmetalleja. Kaupunki- ja teollisuusalueilla on havaittu, että neulas-analyysi on käyttökelpoinen menetelmä ri-

kin levinneisyyden kartoittamiseksi (Laamanen & Lahdes 1969, Laaksovirta & Silvola 1975). Myös jäkälien rikki- ja raskasmetallipitoisuuksia on viime vuosina tutkittu nimenaan paikallisten saastelähteiden ympäristöissä (Tuominen & Jaakkola 1974). Avoin kysymys on vielä, kuinka sammalet, jäkälät ja männyn neulaset poikkeavat toisistaan raskasmetallien kerääjinä ja missä määrin pitoisuudet ovat suhteessa kasvunopeuteen (kuiva-ainetuotantoon) tai fyysikaalisiin ympäristötekijöihin. Tämän työn tarkoituksena on selvittää ongelmaa muutamalla eteläsuomalaisella kohosuolla kolmen aineen — lyijyn, sinkin ja mangaanin — osalta.

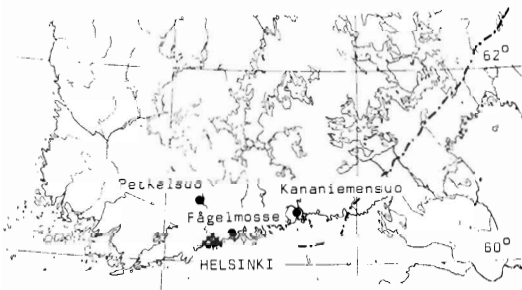
MENETELMÄT

Aineisto kerättiin lokakuussa 1976 kolmelta ojittamattomalta kohosuolta: Hyvinkään Petkelsuolta, Porvoon mlk:n Fågel-mosselta (lähellä Pekeman tehtaita) sekä Pyhtään Kananiemensuolta (Kuva 1). Kas-

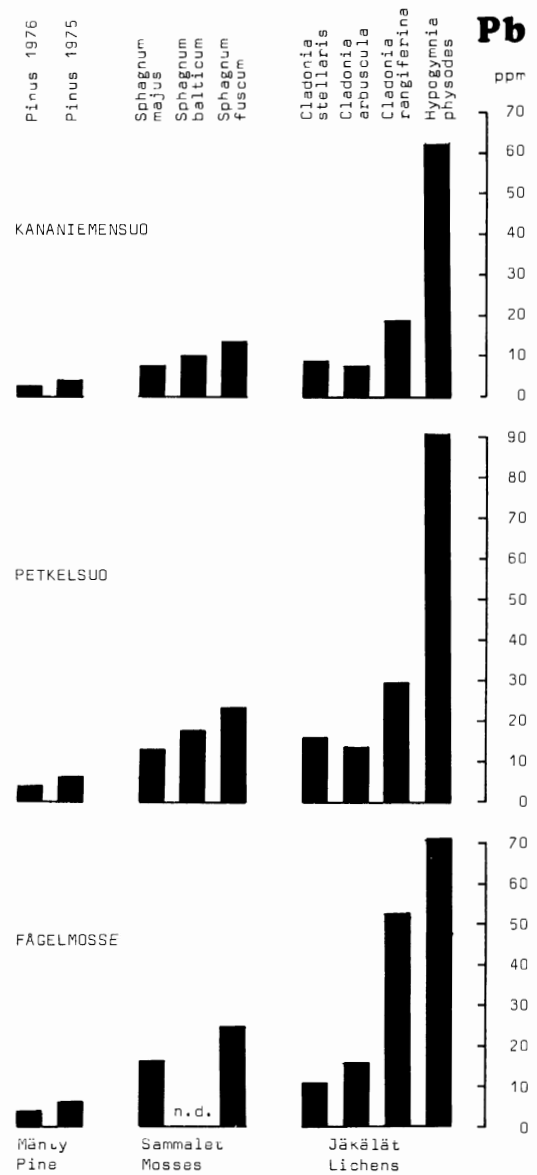
Kirjoittajien osoite — *Authors' address*: Helsingin Yliopiston Kasvitieteen laitos, Ekologian laboratorio, Töölönk. 12 A 22, 00100 Helsinki.

vukausi oli tällöin jo päättynyt ja suot pinnalta jäässä. Näiltä paikoilta otettiin näytteet seuraavista lajeista: *Sphagnum balticum* (silmäkkeen rahkasammal), *S. majus* (vajorahkasammal), *S. fuscum* (ruskea rahkasammal), *Cladonia stellaris* eli *C. alpestris* (pallero-poronjäkälä), *C. rangiferina* (harmaa poronj.), *C. arbuscula* eli *C. sylvatica* (vaalea poronj.), *Hypogymnia* (= *Parmelia*) *physodes* (yleinen paisukarve, epifyyttijäkälä) sekä *Pinus silvestris* (mänty), josta koottiin neulasnäytteet kuluvan ja edellisen vuoden kasvaimista. Soilla kasvaa myös kalpea poronjäkälä (*Cladonia mitis*), jota ei tässä yhteydessä erikseen tutkittu (ks. Ahti 1962). Sammalet kerättiin pinta-alanäytteinä 125 cm²:n sylinterillä 5–10 toistona, laboratorioissa leikattiin jatkotutkimuksiin vain elävä (yleensä vihreä) kerros (kuljuissa 3–6 cm, mättäillä n. 2 cm). Jäkälet kerättiin ilman sylinteriä muutaman aarin alueelta (elävä osa 4–5 cm), näytteet puhdistettiin myöhemmin karikkeesta, mutta mahdollista pintapölyä ei huuhdeltu vedellä (kuten ei myöskään sammalista tai neulasista).

Kasvimateriaali kuivattiin lämpökaapissa (+ 70°C), homogenisoitiin vasaramyllyllä, ja poltettiin punnituksen jälkeen tuhkaksi (+ 500°C), mikä edelleen liuotettiin väkevään suolahappoon. Laimennuksen jälkeen analysoitiin Pb, Zn ja Mn atomiabsorptio-menetelmällä (Varian Techtron AA-1200) Helsingin Yliopiston Kasviekologian laboratorioissa. Kontrollina suoritettiin myös kaikista näytteistä märkäpoltto (typpihappo + suolahappo), josta saadut arvot vahvistivat päämenetelmän tuloksia lajien keskinäisestä järjestyksestä. Kuvissa 2–4 on esitetty kuivapoltettujen näytteiden analyysitulokset miljoonasosina (= ppm) kuiva-aineesta (ei siis tuhkasta).



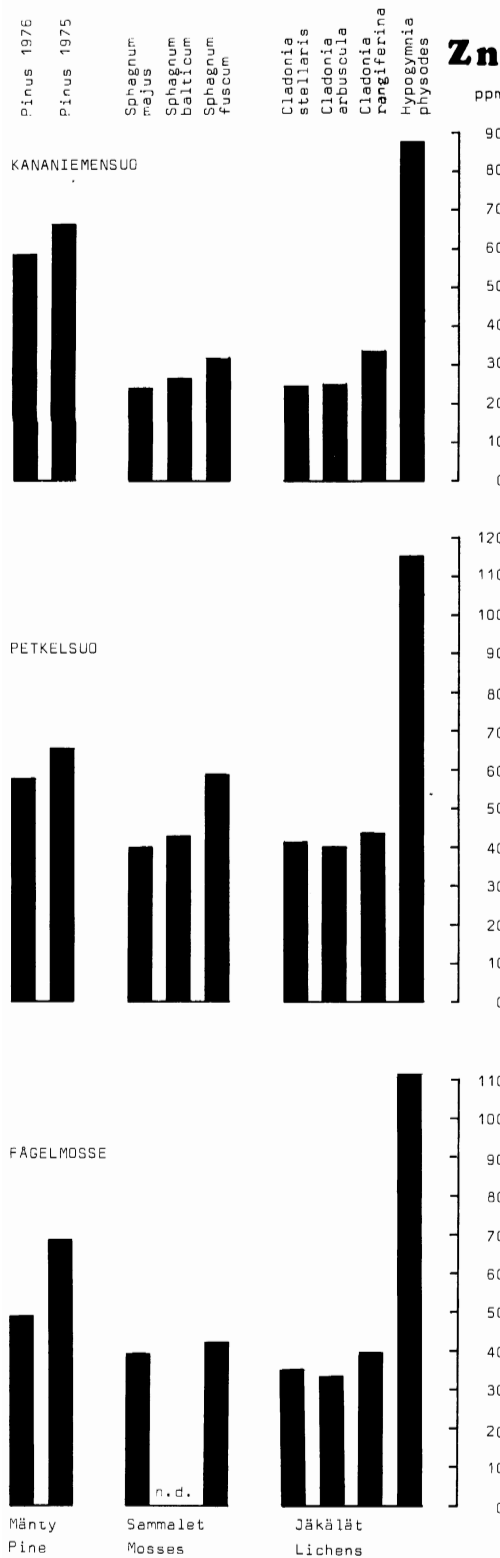
Kuva 1. Tutkimuskohteiden sijainti.
Fig. 1. Locations of study sites.



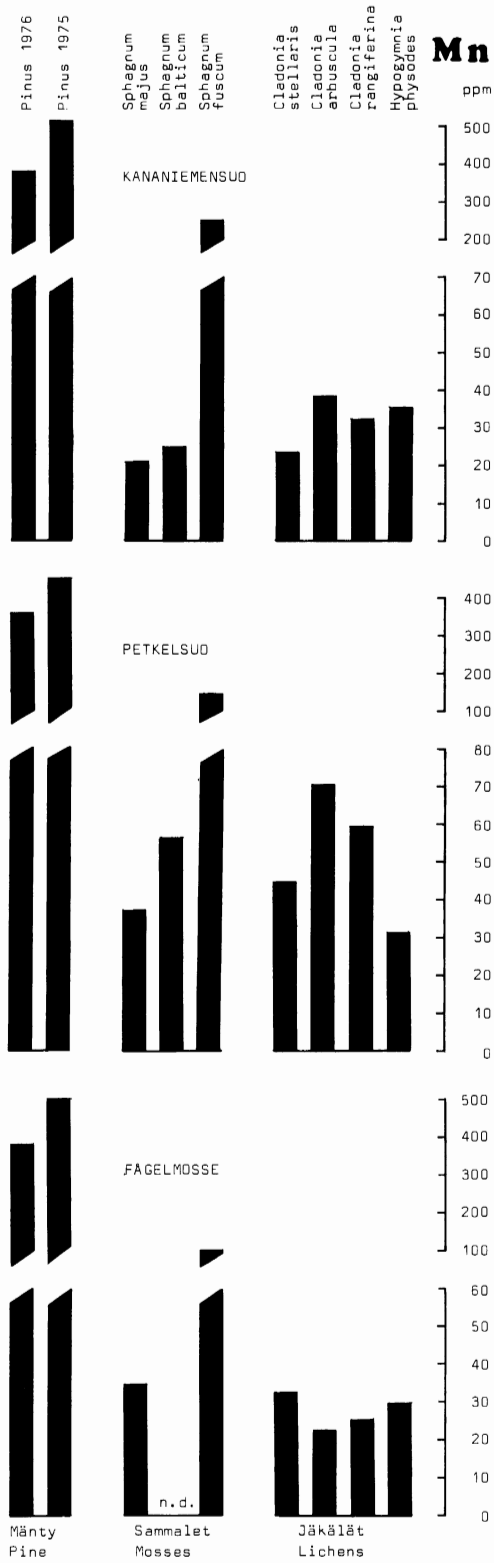
Kuva 2. Suokasvien lyijypitoisuudet.
Fig. 2. Lead concentrations in bog plants.

MÄTÄS- JA KULJUSAMMALET

Kaikkien tutkittujen aineiden (Pb, Zn, Mn) pitoisuudet ovat säännöllisesti suuremmat *Sphagnum fuscum*issa kuin kuljusammalissa (Kuvat 2–4). Viimemainituista puolestaan märimmän pinnan laji *S. majus* on pitoisuuksiltaan alhaisin. Useat tekijät



Kuva 3. Suokasvien sinkkipitoisuudet.
Fig. 3. Zinc concentrations in bog plants.



Kuva 4. Suokasvien mangaanipitoisuudet.
Fig. 4. Manganese concentrations in bog plants.

voivat vaikuttaa havaittujen erojen syntyyn. Mättäät ovat pitemmän aikaa vuodesta lumesta paljaina; sammalpeite on tiiviimpi ja yleensä myös hidaskasvuisempi mättäillä kuin kuljuissa. Myös mätässammalten kationinvaihtokapasiteetti on suurempi (Puustjärvi 1955).

Sammalten pitoisuuksia tutkittiin myös muilla soilla (Vantaan Mättmosse, Nurmijärven Klaukkalan Pehkutehtaansuo, Lammin Kaurastensuo). Sen ohella, että pitoisuudet olivat kuljusammalissa alhaisemmat, havaittiin niissä myös epäsäännöllisempää alueellista vaihtelua kuin *Sphagnum fuscum*-issa, jonka lyijy- ja sinkkipitoisuudet erittäin hyvin vastasivat aikaisemmin julkaistuja arvoja Etelä-Suomesta (Pakarinen & Tolonen 1976).

Jo 1950-luvulla sekä jälleen viime vuosina on Suomessa tutkittu syvempien turvekerrosten hivenainepitoisuuksia (Salmi 1956, Tanskanen 1972, Yliruokanen 1976). Eräiden raskasmetallien poikkeavan korkeat pitoisuudet (anomaliat) ovat antaneet aiheen suosittaa turvenalytiikkaa geokemialliseen malminetsintään. Tällöin tulevat yleensä kysymyksen minerotrofiset turvekerrostumat, jotka ovat olleet pohjavesien ja ympäristön tulvavesien vaikutuspiirissä. Vertailtaessa pitoisuuksia on otettava huomioon, että viime aikoihin asti on turvetutkimuksissa käytetty spektrografista menetelmää, jonka tulokset ilmoitetaan prosentteina tuhasta (ei kuiva-ainesta).

JÄKÄLÄT

Huomiotaherättävin piirre koko aineistossa on männyllä epifyyttinä kasvavan *Hypogymnia* korkea lyijy- ja sinkkipitoisuus. Tämä jäkälälaji (Kuva 5) on hyvin hidaskasvuinen ja siksi kerää monien vuosien ainelaskeumat sekovarteensa. Tuomisen (1967) mukaan epifyyttisten jäkälien kationinvaihtokapasiteetti on selvästi suurempi kuin maajäkälien, mikä seikka myötävaikuttaa *Hypogymnian* kykyyn absorboida ilman saasteita.

Maassa (suomättäillä) kasvavista jäkälästä *Cladonia rangiferinassa* on enemmän lyijyä kuin muissa lajeissa sammalet mukaan lukien; myös lajin sinkkipitoisuudet ovat suuremmat kuin kahdella muulla poronjäkälällä. On jonkin verran yllättävää, että *Cladonia stellaris* ja *C. arbuscula* si-



Kuva 5. Männyllä epifyyttinä kasvavaan *Hypogymnia*-jäkälään pidättyy runsaasti raskasmetalleja ilmasta. Neulasissa sitä vastoin pitoisuudet ovat alhaiset lukuunottamatta niitä metalleja, jotka samalla ovat tarpeellisia hivenravinteita.

Fig. 5. The concentrations of heavy metals (e.g. lead) are much higher in the epiphytic lichen *Hypogymnia* than in pine needles, with the exception of essential micronutrients such as manganese.

sältävät keskimäärin vähemmän raskasmetalleja kuin samoilla mättäillä kasvava ruskea rahkasammal, jonka arvioidaan yleensä tuottavan enemmän kuiva-ainetta pinta-alayksikköä kohti. Jäkälien suhteellisen alhainen mangaanipitoisuus sammaliin verrattuna on sen sijaan odotettu (vrt. Lounamaa 1956). Kohosoiden poronjäkälästä (*C. alpestris*, *C. rangiferina*, *C. arbuscula*) on julkaistu muutamia mangaani- ja sinkkimäärityksiä (Lounamaa 1965: Taul. 2), mutta merkittäviä lajienvälisiä eroja ei ilmennyt. Kauranen ja Miettinen (1974) ovat saaneet eteläsuomalaisen pallero-poronjäkälänäytteiden keskimääräiseksi lyijypitoisuudeksi 20 ppm, mikä on samaa suuruusluokkaa kuin nyt esitetyt tulokset. Heidän tutkimuksensa antaa myös viitteitä po-



Kuva 6. Kohosoiden mätäslajeista ruskeaa rahkasamalta ja pallero-poronjäkälää voidaan käyttää raskasmetallien esiintymisen alueelliseen kartoitukseen. Kuljulajit (*Sphagnum balticum*, vas. alh.) ovat tässä suhteessa epävarmempia.

Fig. 6. The hummock-level lichens and mosses can be used for regional surveys of heavy metal fallout, while the hollow species are not recommended. The zonation from hollow (left) to hummock: *Sphagnum balticum* — *S. fuscum* — *Cladonia stellaris*.

ronjäkälän Pb-pitoisuuksien alueellisuudesta samaan tapaan kuin on myöhemmin todettu *Sphagnumilla* (Pakarinen & Tolonen 1976).

NEULASANALYYSI

Männyn neulasten metallipitoisuudet verrattuina alempiin kasveihin näyttävät riippuvan siitä, kuinka tarpeellinen ko. aine on lajin aineenvaihdunnassa. Lyijyä (Kuva 2) on neulasissa vähemmän kuin sammalissa tai jäkälissä, mutta mangaania (Kuva 4) puolestaan kaikkein eniten. Myös sinkkipitoisuudet (Kuva 3) ovat korkeammat kuin maassa kasvavilla lajeilla. Vaikka lyijy ja sinkki ovat yleensä positiivisessa korrelaatiossa keskenään sammalissa ja jäkälissä,

näin ei ole asianlaita männynllä. Lyijy biologisesti tarpeettomana aineena ei ilmeisesti liiku männynssä juuristosta yhteyttäviin osiin, kun sitä vastoin sinkin ja mangaanin otto on aktiivista. Näiden hivenravinteiden translokaatio ei kuitenkaan ole kovin nopeaa, sillä nyt tutkitussa aineistossa säännön mukaan uusien neulasten Zn- ja Mn-pitoisuudet ovat alhaisempia kuin vanhojen.

Neulasanalyyysiä on meillä käytetty lanonitustarpeen määrittämiseksi. Ojitettujen soiden männynissä neulasten mangaanipitoisuudet ovat julkaistun aineiston mukaan (Paarlahti et al. 1971) samaa suuruusluokkaa, mutta sinkkipitoisuudet korkeampia kuin tutkimillamme karuilla luonnontilaisilla soilla (RR, RN). Edellä todettu alhainen lyijypitoisuus viittaa siihen, että neulas eivät kovin herkästi absorboi ilmasta raskasmetalleja. Kuitenkin sadeveden ja pölylaskeuman mukana tulevilla hivenaineliäyksillä voi turpeen välityksellä olla positiivista merkitystä puiden kasvuille (vrt. Huikari 1974). Rahkasammalanalyysin mukaan useiden hivenaineiden laskeumat ovat Etelä-Suomessa suuremmat kuin Pohjois-Suomessa (Pakarinen & Tolonen 1976), tosin vastaavasti hivenravinteiden tarvekin lienee männynllä pohjoisessa vähäisempi.

JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Eri suokasvir ryhmien raskasmetalli (hivenaine-)pitoisuuksissa on huomattavia eroja, joita voidaan selittää toisaalta kasvunopeuden ja iän vaihteluilla, toisaalta erilaisen ravinnetalouden perusteella. Kohosoiden (ombrotrofisten) sammalten ja jäkälien ravinteidenotossa sadeveden ja pölyn välityksellä tulevilla aineilla on keskeinen merkitys, ja tästä johtuen monien metallien (esim. sinkin ja lyijyn) pitoisuudet ovat korrelaatiossa ainelaskeumiin ilmakehästä. Mangaanipitoisuuksien erot viittaavat siihen, että mangaani on sammalten aktiivisesti ottama aine, mutta jäkälillä suhteellisesti merkitykseltömämpi. Männynllä aktiivinen ravinteidenotto vaikuttaa ratkaisevasti mangaani- ja sinkkipitoisuuksiin. Sinkin (ja muidenkin raskasmetalli-hivenravinteiden) translokaatio ja lyijyn heikko pidättyminen neulasiin merkitsevät neulasanalyyysin soveltumattomuutta raskasmetallien alueelliseen kartoitukseen. Sitä vastoin rahkasam-

malet soveltuvat hyvin tähän tarkoitukseen. Eri lajeista *Sphagnum fuscum* on ilmeisesti tehokkaampi raskasmetallien pidättäjä kuin kuljusammalet *S. majus* tai *S. balticum*. Monista sammalkasvustoista pystytään myös määrittämään vuotuinen perustuotanto ja siten arvioimaan raskasmetallilaskema pinta-alayksikköä kohti (Pakarinen & Tolonen 1976). Jäkälien kasvunopeuden ja tuotannon määrittäminen on vaikeampaa, mutta voitaisiin ainakin teoriassa olettaa, että raskasmetallipitoisuuksien (esim. lyijyn) analyysi tietyn alueen puitteissa antaisi toisaalta käsityksen ko. jäkälänäytteen kasvunopeudesta. Eri jäkälälajien mahdollinen soveltuvuus *Sphagnum fuscum*in tavoin alueelliseen kartoitukseen vaatii vielä laajempia Pohjois-Suomeen ulottuvia tutkimuksia.

Alueellisen kartoituksen lisäksi rahkasammalet ja jäkälät soveltuvat raskasmetallien ajallisen (kronologisen) kehityksen seuraamiseen pitempinä, vuosikymmenien ajanjaksoina. Nykyisin kasvimuseoissa ole-

via vanhempia *Sphagnum*-näytteitä ei juuri voida käyttää tähän tarkoitukseen, koska määrät usein ovat riittämättömiä ja kontaminaatio eri aikoina todennäköinen. Riittävien ja asianmukaisesti säilytettyjen rahkasammal- ja poronjäkälänäytteiden kerääminen kasvimuseoihin tarkoin valituilta suoalueilta olisi aiheellista pikaisesti aloittaa myöhempää tarvetta varten. On nimittäin oletettavissa, että raskasmetallien lisäksi alemmat kasvit keräävät tehokkaasti ilmastasta myös joitakin orgaanisia ympäristömyrkyjä, joiden analysointi voi vasta myöhemmin osoittautua tarpeelliseksi. Olennainen edellytys tällaisille tutkimuksille on riittävä tiheän kohosuoverkoston säilyttäminen luonnontilaisena erityisesti Etelä-Suomessa.

Kiitokset. Kirjoituksessa esitetyn aineiston keruuseen ja analysointiin ovat merkittävällä tavalla osallistuneet Kasvitieteen laitoksen raskasmetalliekologian kurssin osanottajat (E. Heikkilä, K. Heikkola, K. Jääskeläinen, T. Kerkelä, A. Leivo, T. Lindholm, A. Nurmi, A. Punkari, U. Utriainen).

KIRJALLISUUS

- Ahti, T. 1962. Poronjäkälän taksonomiasta. Luonnon Tutkija 66(2):33—40.
- Huikari, O. 1974. Hivenravinteet ja puiden kasvu. Metsä ja Puu 11.
- Kauranen, P. & Miettinen, J. K. 1974. Specific activity of ^{210}Pb in the environment. Environ. Anal. Chem. 3:307—316.
- Laaksovirta, K. & Silvola, J. 1975. Effect of air pollution by copper, sulphuric acid and fertilizer factories on plants at Harjavalta, W. Finland. Ann. Bot. Fenn. 12:81—88.
- Laamanen, A. & Lahdes, R. 1969. Observations on the sulphur content of pine needles from the environment of point and area sources. Work, Environment, Health 6:41—43.
- Lounamaa, K. J. 1956. Trace elements in plants growing wild on different rocks in Finland. A semi-quantitative spectrographic survey. Ann. Bot. Soc. Vanamo 29(4):1—196.
- Lounamaa, K. J. 1965. Studies on the content of iron, manganese and zinc in macrolichens. Ann. Bot. Fenn. 2:127—137.
- Paarlahti, K., Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine stands by needle and peat analysis. Comm. Inst. Forest. Fenn. 74(5):1—58.
- Pakarinen, P. & Tolonen, K. 1976. Studies on the heavy metal content of ombrotrophic *Sphagnum* species. Proc. 5th Int. Peat Congress (Poznan, Poland) Vol. 2:264—275.
- Puustjärvi, V. 1955. On the colloidal nature of peat-forming mosses. Arch. Soc. Vanamo 9 suppl.:257—272.
- Salmi, M. 1956. Peat and bog plants as indicators of ore minerals in western Finland. Bull. Comm. Geol. de Finlande 175.
- Tanskanen, H. 1972. Hivenalkuaineiden vertikaalisesta esiintymisestä turvekerrostumassa (Summary: On the vertical distribution of microelements in peat soils). Suo 23:63—69.
- Tuominen, Y. 1967. Studies on the strontium uptake of the *Cladonia alpestris* thallus. Ann. Bot. Fenn. 4:1—28.
- Tuominen, Y. & Jaakkola, T. 1974. Absorption and accumulation of mineral elements and radioactive nuclides. In: V. Ahmadjian & M. E. Hale (eds.) Lichens, 185—223. Acad. Press, New York and London.
- Yliruokanen, I. 1976. Heavy metal distribution and their significance in Finnish peat bogs. Proc. 5th Int. Peat Congress (Poznan, Poland) Vol. 2:276—283.

SUMMARY:

COMPARISON OF Pb, Zn AND Mn CONTENTS OF MOSSES, LICHENS AND PINE NEEDLES IN RAISED BOGS

This paper presents the results of heavy metal (trace element) analyses of plant samples collected from three undrained ombrotrophic bogs in southern Finland (60–61°N, Fig. 1). The species studied included three mosses — *Sphagnum fuscum*, *S. balticum*, *S. majus* — and four lichens — *Cladonia stellaris* (= *C. alpestris*), *C. arbuscula*, *C. rangiferina*, *Hypogymnia* (= *Parmelia*) *physodes*. Also the needles of stunted bog pines *Pinus silvestris* were collected and separated according to age (current vs. 1–2-year-old needles). Collective samples (5–10 replicates) consisting only of the living top part were taken (lichens 4–5 cm, hollow mosses 3–6 cm, hummock mosses 2 cm).

The samples were dry-ashed at + 500° C, then dissolved with conc. hydrochloric acid, diluted with distilled water and analysed for metals with Varian Techtron AA-1200 atomic absorption spectrophotometer at Botany Dept., University of Helsinki. Duplicate samples were also digested directly with HNO₃ and HCl for control. The results of the former method are presented in Figs. 2–4 on oven-dry (+ 70°C) weight basis.

Among bryophytes, the contents of Pb, Zn and Mn were in all cases highest in hummock species *Sphagnum fuscum* and lowest in the wet-hollow species *S. majus*.

Among lichen species, the concentrations of lead and zinc decrease in the order: *Hypogymnia physodes* (epiphyte) > *Cladonia rangiferina* > *C. stellaris*, *C. arbuscula*. In *Pinus* the needles from the current year contain less metals than the needles from previous years.

A comparison of different plant groups depends upon the element analysed (see Figs. 2–4). Mn content is highest in pine needles followed by *Sphagnum fuscum* and lowest in lichens and hollow mosses. Zn content is greatest in the epiphytic lichen *Hypogymnia* followed by pine needles, then by bog mosses and reindeer lichens. As opposed to zinc, the content of lead is lowest in pine needles which fact suggests a low absorption capacity of atmospheric heavy metals by pine needles. On the other hand, zinc and manganese seem to be actively translocated by pine. Consequently, needle analysis does not appear to be an appropriate method for monitoring the deposition of heavy metals. Both lichens and mosses (with the exception of hollow species), however, seem to be efficient accumulators of zinc and lead at least. If the annual primary production of mosses can be determined, it becomes possible also to estimate the deposition rate per surface area of some heavy metals.