

RAHKASAMMAL- JA TURVEPALLOT ILMANSAASTEMITTAREINA

MOSS- AND PEAT-BAGS IN AIR POLLUTION MONITORING

JOHDANTO

Ajatus sammalten ja turpeen käyttämisestä ilman saasteiden keräämiseen perustuu niiden solurakenteeseen ja fysiologiaan. Ns. ektohydriset sammalet ottavat pääosan kosteudesta ja kohosoilla myös ravinteita suoraan pintasolukon läpi sadevedestä ja ilman kosteudesta (Buch 1947, Hebant 1977). Useilla rahkasammalilla samoin kuin turpeella on suuri ioninvaihtokapasiteetti (Puustjärvi 1956, Clymo 1963) ja ne kiinnittävät vaihtopaikoille myös raskasmetalleja. Monissa viimeaikaisissa tutkimuksissa luonnossa kasvavia sammalia onkin käytetty sekä suuralueellisten raskasmetallisaastelaskeumien indikaattoreina että paikallistutkimuksissa erilaisten saastelähteiden ympäristössä (*Hylocomium splendens*: Rühling & Tyler 1973; *Sphagnum fuscum*: Pakarinen & Tolonen 1976; *Pleurozium schreberi*: Rühling & Tyler 1968).

Valitettavasti elävät sammalet puuttuvat pahimmin saastuneilta alueilta niinkuin jäkälätkin. Silloin on turvauduttava ns. transplantaatiomenetelmään, toisin sanoen kasveja siirretään saastelähteen läheisyyteen ja tarkkaillaan niiden elinvoimaisuutta uudella kasvupaikalla (jäkälät: esim. Kauppi 1976). Myös voidaan verrata muulla

tavoin saatuja laskeuma-arvoja ja eri kasvilajien metallipitoisuuksia (sammalet: Goodman & Roberts 1971).

MENETELMÄN KEHITTELY

Elävän sammalen rinnalla on viime aikoina etenkin Englannissa alettu käyttää ns. sammalpalloja — nylonverkkoon ripustettuja kuivattuja sammalia (*Hypnum cupressiforme*: Goodman & Roberts 1971; *Sphagnum sp.*: Goodman et al. 1974, Bull et al. 1977, Little & Martin 1974). Tätä menetelmää on edelleen kehitetty Suomessa Nesslingin Säätiön apurahan turvin. Tällöin on kokeisiin otettu mukaan myös rahkaturve, turveruukut ja -kennot sekä puuvillavanu ja erilaista sammalmateriaalia (Taulukko 1). Menetelmän kehittäminen osana laajempaan tutkimusprojektiin («Kasvianalyttisten menetelmien kehittäminen raskasmetalli- ja rikkilasteiden seurantaan»/dos. K. Tolonen, FL A. Mäkinen, FL P. Pakarinen).

Turvemateriaalina on käytetty Etelä- ja Keski-Suomen hyvin tutkittujen kohosoiden heikosti maatumutta rahkaturvetta (maatumisaste 1—3), mm. Nurmijärven Isosuon turvetta (ks. Tolonen 1971). Mahdolliset raskasmetallien rikastumiskerrokset (Pakarinen & Tolonen 1977) on ennakkotutkimuksilla pyritty eliminoimaan. Pyydysmateriaaliksi on kelvannut vain homogeeninen ja mahdollisimman puhdas turve, jossa tut-



Kuva 1. Maastokokeissa sammalpallo ripustettiin nylonlangalla havupuiden uloimpiin oksiin n. 2 metrin korkeudelle varoen oksavaluntaa ja latvuston suojavaikutusta. Taustamittausasemat ovat korkeilla kallioilla, missä puusto on harva ja ilmanvaihto parempi kuin ympäröivässä metsässä.

Fig. 1. Moss- and peat-bags suspended on the twigs of coniferous trees (spruces or pines) outside the city area. The effect of drip-rain and tree cover was minimised.

kittavan alkuaineen konsentraatio on riittävän alhainen, jotta pienetkin pitoisuuden muutokset voidaan havaita. Tämän vuoksi Etelä-Suomen turvemateriaali onkin otettu 80—100 cm:n syvyydestä. Tuoretta turvetta on punnittu n. 50 g nylonverkkoihin ja reiällisiin muovirasioihin. Turpeen ohella on kokeiltu myös erilaisia turveruukkuja ja -kennoja sekä tyhjinä että turpeella täytettyinä. Samoin koesarjassa on kaiken aikaa ollut mukana kemiallisesti puhdistettua puuvillaa.

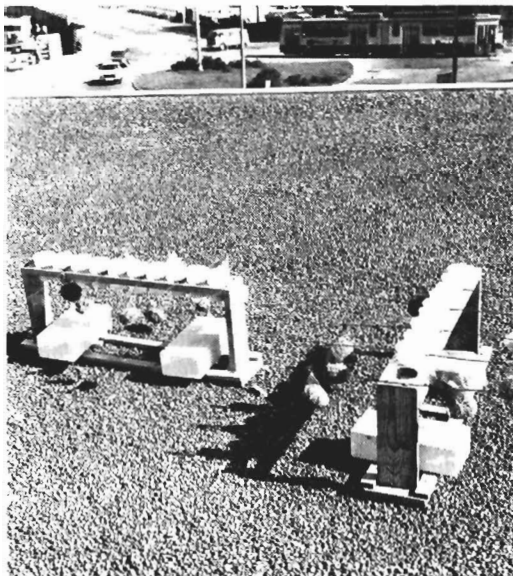
Suurin osa kokeista on kuitenkin tehty käyttäen pyydysmateriaalina rahkasammalia. Tähän mennessä suoritettujen tutkimusten perusteella ovat käyttökelpoisiksi osoittautuneet ruskea rahkasammal (*Sphagnum fuscum*) ja korven rahkasammal (*S. girgensohnii*). Edellinen on peräisin Pohjois-Lapin ombrotrofisilta soilta, missä taustaarvot ovat verraten pieniä (vrt. Pakarinen & Tolonen 1976), jälkimmäinen Pälkäneeltä mustikkakorvesta. Molemmista on käytetty vain pintaosaa, *Sphagnum fuscumista* 5—10 cm:n, *S. girgensohnista* 20 cm:n pituudelta. Sammalet on puhdistettu varvuista ja karikkeesta, muotoiltu 7—8 cm:n suuruisiksi ja 25—30 g:n painoisiksi palloiksi nylonverkkoihin tai verkkomaisen putken ympärille ja ripustettu koepaikalle nylonlangan varaan riippumaan. Koepaikaksi va-

litettiin Helsingin kaupungin virastotalon kattotasanne Kalliossa, koska aivan lähellä oli kaupungin terveydenhoitoviraston automaattinen ilman laadun tarkkailuasema, jonka avulla voimme myöhemmin kalibroida oman menetelmämme. Paikalle rakennettiin kaksi telinettä koetta varten (Kuva 2).

Koeajan — yleensä kalenterikuukauden — jälkeen sammalpallo ja muu pyydysmateriaali tuotiin kasvikologian laboratorioon ja kuivattiin +50°C:ssa. Punnituksen jälkeen näytteet kuivapolletettiin hitaasti +450°C:ssa, tuhka uutettiin väkevään suolahappoon ja laimennettu liuos analysoitiin atomiabsorptiolaitteella (ks. Pakarinen & Mäkinen 1976).

Kokeen tähänastiset tulokset on esitetty kuvissa 3 ja 4. Murtoviivat kuvaavat erilaisiin keräimiin pidättyneiden raskasmetallien keskimääräistä kuukausivaihtelua Helsingin kaupungin virastotalon katolla n. 9 metrin korkeudella katutasosta. Kuvassa 3 on myös eräitä säätekijöitä, jotka vaikuttavat tuloksiin. Tuloksista on vähennetty materiaalien alkuperäiset metallipitoisuudet.

Yleinen johtopäätös, mikä vähäisen aineiston perusteella voidaan tehdä, on kuvaajien kaksihuippuisuus. Tutkituilla ras-



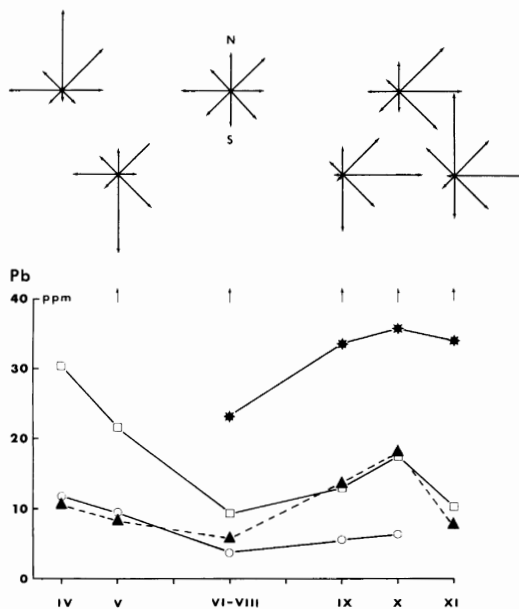
Kuva 2. Koeasema Helsingin virastotalon kattotasanteella n. 9 m katutasan yläpuolella.

Fig. 2. The moss- and peat material was tested on a flat roof about 9 metres above the street in the city of Helsinki.

kasmetalleilla näyttää olevan selvä minimi kesäkuukausina ja korkeammat pitoisuudet tutkimusjakson alussa ja lopussa, siis keväällä ja syksyllä. Samantapaista vuosirytmikkäa on todettu kemiallisillakin keruumenetelmillä (lyijy: Nordman 1975, Laamanen 1969 a). Erityisesti rikkimaksimi näyttää keskittyvän talvikuukausiin, jolloin polttoaineiden kulutus on suurimmillaan (Ympäristötilasto 1974). Kevät- ja syysmaksimiin vaikuttanee myös ilman suhteellinen kosteus. Sammalet ja turve ovat hygroskooppisia ja keräävät todennäköisesti paremmin märkläskeman saasteita kuin kuivaa pölyä. Kesäkauden koe oli käynnissä yhtäjaksoisesti 3 kuukautta, joten lomakuukausien väliset erot eivät näy esim. lyijyläskemassa, joka ilmeisesti on pääosiltaan liikenneperäistä. Tuuliruusuun mukaan ainakaan Tikkurilan lyijysulattamon kaukovaikutusta ei pitäisi olla havaittavissa. Toisaalta tuulen suunta ei näytä vaikuttavan muutenkaan merkittävästi kuvaajien muotoon. Saastelähteitä on ilmeisesti joka puolella. Rikin osalta tilanne saattaa olla toinen, kunhan analyysitulokset valmistuvat. Hanasaaren lämpövoimala sijaitsee nimittäin vain kilometrin itään mittausasemalta.

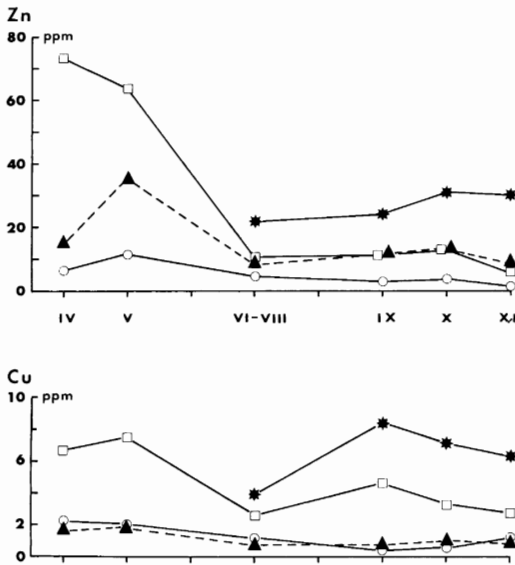
Toinen merkittävä tulos tähänastisista kokeista on pyydysmateriaalien erilaisuus

(Taulukko 1, Kuvat 3 ja 4). Rahkasammal-pallot näyttävät olevan selvästi muita tehokkaampia laskeuman kerääjiä. Elävä, löyhä rahkasammal säilyttää tukisolukkonansa ansiosta parhaiten muotonsa ja sammal-pallon tuuletusominaisuudet pysyvät vakioina pitkänkin koejakson ajan. Eri lajien välillä on todettu eroja (Pakarinen & Tolonen 1976, Pakarinen & Mäkinen 1976), jotka on syytä ottaa huomioon pyydysmateriaalin valinnassa. Tuuletusominaisuuksien ohella rahkasammalten tehokkuus perustunee suureen ioninvaihtokapasiteettiin ja absorptio-ominaisuuksiin. Sammalen on todettu sitovan yli 20× painonsa vettä, joka helposti siirtää metalli-ioneja myös rahkasolujen sisään sopiville vaihtopaikoille. Toisaalta rahkasammal kuivuu helpom-



Kuva 3. Lyijyn pidättyminen erilaisiin pyydysmateriaaleihin Helsingin virastotalon katolla 1. 4.—30. 11. 1977. Kuukausikeskiarvot kuivapainoon verrattuna (ppm = mg/kg) ja niiden yläpuolella vastaavat käänteiset tuuliruusuut. Merkkien selitys: Tähti = *Sphagnum girgensohnii* nylonverkossa, neliö = rahkaturve nylonverkossa, ympyrä = rahkaturve muovirasiasassa, kolmio = puuvilla nylonverkossa.

Fig. 3. Seasonal variation in lead concentrations (mg/kg/month) in Helsinki using different materials. Material has been changed every month and the increase in concentrations measured per unit dry weight. Symbols: Star = *Sphagnum girgensohnii* in nylon netbag, square = bog peat in nylon netbag, open circle = bog peat in plastic cup, triangle = cotton wool in nylon netbag. Wind direction above.



Kuva 4. Ilmassa leijuvan sinkki- ja kuparipölyn pidentyminen erilaisiin pyydysmateriaaleihin Helsingin virastotalon katolla 1. 4.—30. 11. 1977. Kuukausikeskiarvot mg/kg. Merkkien selitys kuvassa 3.

Fig. 4. Seasonal variation in zinc (upper) and copper (lower graph) levels in Helsinki using different materials. Symbols same as in Fig. 3.

min kuin heikosti maatunut turve (Päivänen 1973). Tämän perusteella ilman kosteus vaikuttaa pyydysten tehokkuuteen.

Turve ei ioninvaihto-ominaisuksiltaan paljoa poikkea elävästä sammalesta (Puustjärvi 1956). Kysymys on pikemminkin huokoisuudesta ja sen myötä haihtumistehosta. Vähänkin maatunut turve menettää helposti kimmoisuutensa ja aggregoituu mittausaikana tiiviimmäksi palloksi (Kuva 5). Tällöin sadeveden haihtuminen vaikeutuu ja ilman kanssa kosketuksessa oleva ioninvaihtopinta pienenee. Tämä näkyy selvästi tuloksissa.

Muut tähän mennessä tutkitut materiaalit näyttävät jäävän edellä mainittuja heikommiksi ioninvaihto-ominaisuksiltaan (Taulukko 1). Tästä syystä niiden koesarjoja ei ole jatkettu kuluvana syksynä. Turve ruukut olisivat muuten sopivia, mutta niiden alkuperäisissä metallipitoisuuksissa todettiin liian suurta vaihtelua. Kemiallisesti puhdistettu puuvilla sen sijaan osoittautui todella puhtaaksi, mutta ei absorboinut ilman saasteita läheskään yhtä tehokkaasti kuin rahkasammalet.

Taulukko 1. Pyydysmateriaalien keskinäinen tehokkuusvertailu niiden keräämien raskasmetallimäärien perusteella. Muita materiaaleja on verrattu *Sphagnum girgensohnii*-pallojen keräämiin metallimääriin.

Table 1. The efficiency of different materials used to collect heavy metals. The values are relative and have been scaled according to those for *Sphagnum girgensohnii*. The results are seasonal averages from the study site in Helsinki (cf. Figs 2, 3, 4).

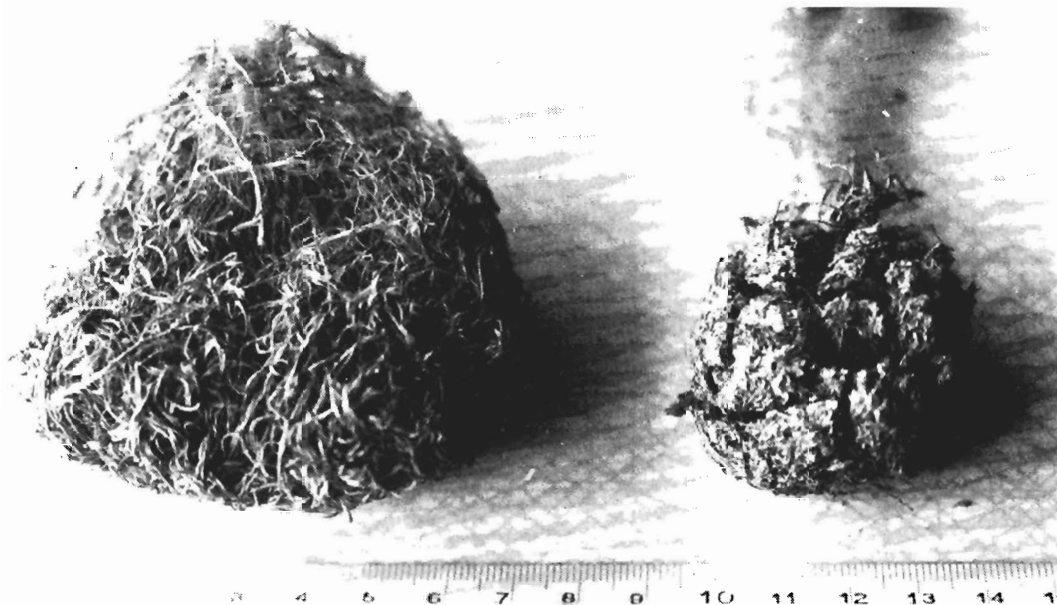
1. <i>Sphagnum girgensohnii</i> nylonverkkossa — in nylon net bag	100	100	100
2. <i>S. fuscum</i> nylonverkkossa — in nylon net bag	89	103	69
3. Turve nylonverkkossa — Bog peat in nylon net bag	39	37	52
4. Vanu nylonverkkossa. — Cottonwool in nylon net bag	36	38	13
5. <i>Sphagnum girgensohnii</i> muovirasiassa — in plastic cup	35	—	—
6. Turve muovirasiassa. Bog peat in plastic cup	16	11	14
7. Turve turvekenossa. — Bog peat in peat-pot	15	—	—
8. Tyhjä turvekenno. — Empty peat-pot	10	—	—
9. Vanu muovirasiassa. — Cottonwool in plastic cup	5	—	—

ALUEELLISET TAUSTAMITTAUKSET SAMMALPALLOJEN AVULLA

Useissa viimeaikaisissa tutkimuksissa on todettu merkittävää ilman saasteiden kaukokulkeutumista Suomeen lähinnä Keski-Euroopan teollisuusalueilta (ks. esim. Ottar 1976). Myös oman maamme teollisuuslaitokset ja lämpövoimalat aiheuttavat lisäkuormitusta kaukana taajamien ulkopuolella.

Koska luonnonvaraisista sammalista on atomiabsorptiomenetelmällä voitu määrittää edellä mainitun kaukokulkeutumisen aiheuttamia konsentraation muutoksia (Rühling & Tyler 1973, Pakarinen & Tolonen 1976, Pakarinen & Mäkinen 1976, Mäkinen & Pakarinen 1977) on ilmeistä, että myös kasvupaikaltaan irroitettujen sammalien ja miksei turvekin pystyvät absorboimaan kaukokulkeutuneita ilman epäpuhtauksia. On jopa mahdollista, että sammalien keräisivät inaktiivisia aineita kuten lyijyä tehokkaammin ilmassa kuin alkuperäisillä kasvupaikoillaan, missä ilman vaihtuminen on hitaampaa. Sammalen aktiivisesti ottamien ionien kohdalla tilanne on tietenkin päinvastainen.

Sammalpalojen käyttömahdollisuuksien tutkimiseksi taustalaskemien keräjinä



Kuva 5. Elävä rahkasammal säilyttää muotonsa nylonverkossa paremmin kuin turve ja ilmanvaihto säilyy tehokkaana useita kuukausia. Molemmat pallot ovat kokeen alkaessa olleet yhtä suuret, n. 7 cm läpimitaltaan.

Fig. 5. Many Sphagnum mosses (Sphagnum girgensohnii in picture) retain their shape better in nylon net bags than peat. In the beginning both bags were of similar size, about 7 cm, but after the period of exposure the peat bag (on the right) had contracted significantly.

olen yhdessä tutkimusryhmän muiden jäsenten kanssa perustanut 9 havaintoasemaa. Kaksi muuta kuvaan 8 merkittyä mittauspistettä aloittaa toimintansa lähiaikoina. Mittausasemista kaksi — Jokioisten ja Sodankylän — sijaitsee Ilmatieteen laitoksen tausta-asemien välittömässä läheisyydessä tulosten vertailumahdollisuuksien vuoksi. Kaikilla asemilla on käytetty samaa Pohjois-Suomesta kerättyä rahkasammalta, jonka alkuperäiset metallipitoisuudet ovat hyvin pienet. Tästä huolimatta mittaus vaatii erittäin suurta huolellisuutta ja tarkkuutta.

MENETELMÄN KÄYTTÖ TEOLLISUUS-ALUEIDEN ILMAN TARKKAILUUN

Ilman saastumisen tutkiminen aloitettiin tarkkailemalla jäkäläautioiden laajenemista asutuskeskuksissa. Teollistumisen myötä näkyviä saastevaurioita alkoi ilmaantua taajamien ulkopuolellekin tiettyjen teollisuuslaitosten ympäristöön. Useissa tapauksissa tällainen emissiolähde on pistemäinen ja sen vaikutukset ympäröivään luontoon vähenevät logaritmisesti myöätuulietäisyyden kasvaessa saastelähteestä. Tutkimuksen kohteena ovat olleet erityisesti paperi- ja kemianteollisuuden päästöt (Havas 1971, Huttunen

1975, Laaksovirta & Olkkonen 1977), mutta myös raskasmetallien kulkeutumista luontoon on tutkittu sulattamoiden ympäristöissä mm. Englannissa (Goodman & Roberts 1971).

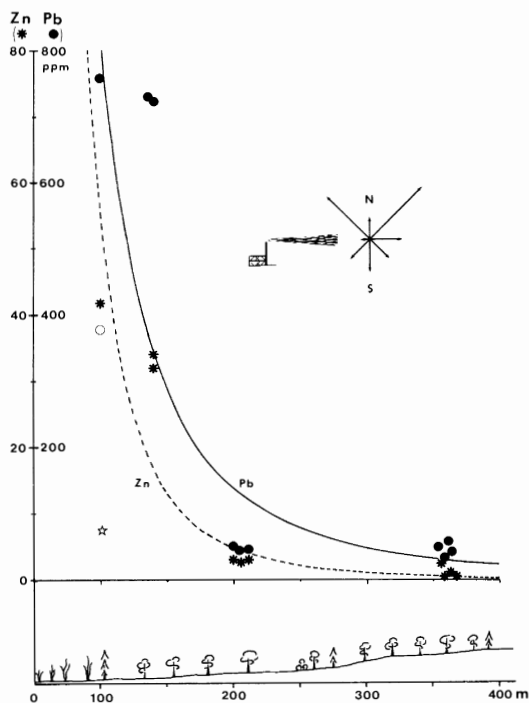
Nyt tehdyn tutkimuksen yhtenä osatavoitteena oli selvittää sammalpallojen käytömahdollisuuksia pistemäisen saastelähteen, teollisuuslaitoksen ympäristössä. Tutkimusalueeksi valittiin Grönberg Oy:n lyijysulattamo Tikkurilassa, joka on sikäli mielenkiintoinen kohde, että se sijaitsee asutuksen keskellä, mutta riittävän etäällä vilkkaan autoliikenteen aiheuttamista lyijypäästöistä. Lisäksi alueen viljakasveista, maaperästä ja väestöstä on aikaisemmin tehty useita tutkimuksia (Lakanen & Erviö 1971, Laamanen & Ryhänen 1971, Erviö & Lakanen 1973, Nordman 1975, Erviö 1977).

Vaikka sulattamon lyijypäästöt vuoden 1975 alusta ovat pienentyneet lähes yhteen prosenttiin aikaisemmasta (tehtaan ilmoituksen mukaan) ovat lyijypitoisuudet lähialueen kasveissa edelleen verraten korkeita (vrt. Erviö 1977). Sammalpaloilla suoritetut tutkimukset antavat saman suuntaisia tuloksia. Lokakuussa 1977 ripustettiin tehtaan itäpuolelle mäntyihin n. 2 metrin korkeudelle useita rahkasammalpalloja nylon-

verkoissa 130 m, 200 m ja 360 m:n etäisyydelle tehtaan piipusta. Kuukauden kuluttua pallot kuivattiin ja analysoitiin edellä kuvulla menetelmällä. Saatuja lyijypitoisuuden lisäyksiä kuvaa parhaiten käyräviivainen regressioyhtälö (ks. Kuva 6). Tulos on yhdenmukainen mm. aikaisempien lumianalyysitulosten kanssa, ts. pääosa lyijystä laskeutuu 100–200 m:n säteellä tehtaasta (Lakanen & Erviö 1971).

Vaikka aineiston perusteella ei voi tehdä laajempia johtopäätöksiä, selviää kuvaajasta muutamia merkittäviä seikkoja. Ensinnäkin lähekkäisiin puihin ripustettujen sammalpallojen lyijypitoisuuksien vaihtelut ovat hyvin pieniä. Toiseksi sammalpallo pystyvät vallinneissa sääolosuhteissa sitomaan hyvinkin suuria raskasmetallipitoisuuksia, joita syksyn sateet eivät pysty niistä huuhtomaan. Kolmanneksi käytetty menetelmä osoittaa, että tehtaan välittömässä läheisyydessä ilman saastuminen on edelleen hälyyttävän korkea. Kuvaajasta käy ilmi, että vain 4 % tuulista on puhaltanut suoraan tehtaasta suunnasta (lännestä), mutta silti vielä 360 m:n päässä laskeumarvot ovat samaa suuruusluokkaa kuin Helsingin keskustassa. Mainittakoon, että 200–300 m:n etäisyydellä tehtaasta on kaksi koulua ja useita omakotitaloja. Lapset käyttävät tutkittua aluetta vapaa-ajan leikkeihin ja kuntoilijat ulkoiluun. Syksyisin olen nähnyt sienestäjiä ja marjanpöimijöitä aivan sulattamon lähistöllä, missä lyijylaskeumat ovat 20-kertaiset Helsingin keskustaan verrattuna puhumattakaan maaperän sisältämästä lyijystä. Huolimatta alueen korkeista lyijypitoisuuksista muutokset kasvipeitteessä ovat vähäisiä. Useimmat jäkälät ja sammalet tosin ovat väistyneet pahiten saastuneilta alueilta, mutta puiden vuosikasvaimet ovat normaaleja ja neulaset vihreitä. Tämä havainto on yhdenmukainen kirjallisuudessa mainitun lyijyn inaktiivisuuden kanssa. Ns. korkeammat kasvit eivät ota aktiivisesti lyijyä kasvualustastaan ja ilman hiukkasjakoiset saasteet tarttuvat lähinnä solukkojen ulkopinnalle. Rahkasammalissa metalli-ioneja kulkeutuu myöskin rahkasolujen sisään.

Kuvasta 6 ilmenee myös puuston suodattava vaikutus. Kuusen suojaan ripustettu erillinen näyte antoi lähes puolta pienemmän tuloksen kuin läheinen suojaamaton näyte. Samoin pisteestä 200 m näytteet olivat tiheimmän puuston keskellä kuin muissa havaintopisteissä. Todennäköisesti avoimessa maastossa kuvaaja olisi loivem-



Kuva 6. Sammaloipalloihin kertyneen lyijyn ja sinkin määrä mg/kg/kk Tikkurilan akkusulattamon itäpuolella 23. 10.—21. 11. 1977. Tuulen suunta on mitattu Helsinki—Vantaan lentoasemalla marraskuussa 1977. Merkkien selitys: Mustat ympyrät osoittavat palloihin kertyneen lyijyn ja tähdet sinkin määrän. Avoin ympyrä ja tähti = kuusen suojaan ripustetun sammalpalloon lyijy- ja sinkkipitoisuus.

Fig. 6. The increase of lead and zinc contents of moss-bags near a lead smelter after the exposure period from 23 October—21 November 1977. Symbols: circle=lead concentration in mossbags after the exposure period, star=zinc concentration in mossbags after the exposure period, open circle and star=lead and zinc concentration in one mossbag suspended in a spruce thicket, others were suspended on pine twigs. Logarithmic regression equations: $\ln y (Pb) = 18.4 - 2.543 \ln x$, $r (Pb) = 0.868$; $\ln y (Zn) = 20.14 - 3.51 \ln x$, $r (Zn) = 0.965$; x in both equations = distance from the factory in metres.

pi, sillä hiukkasjakoisen lyijyn laskeutumisnopeus on todettu varsin pieneksi lyijyn suuresta ominaispainosta huolimatta (Goodman & Roberts 1971).

SAMMAL- JA TURVEPALLOT LIIKENNESAASTEEN KERÄÄJINÄ

Moottoriliikenne aiheuttaa useita ympäristöhaittoja, joiden mittaamiseen voidaan käyttää sammalpallomenetelmää. Tutkimuksen painopiste on tähän mennessä ollut korkeakoktaanisen polttoaineen palamistuot-

teiden — lähinnä lyijyn — leviämässä ympäristöön (Laamanen 1969 a, Salmi 1969, Rajama 1973, Tyler 1974, Laaksovirta et al. 1976), mutta myös muihin liikenneperäisiin saasteisiin on alettu kiinnittää huomiota (vrt. esim. Tolonen 1974).

Sammal- ja turvepallomenetelmää ryhdyttiin kokeilemaan viime kesänä Helsingin seudun valtateiden varsilla (Nurmi 1977). Pallomateriaalina on käytetty joko elävää rahkasammalta (*Sphagnum fuscumia* Sodankylästä) tai heikosti maatonutua syvältä otettua rahkaturvetta (Nurmijärveltä). Molemmat materiaalit soveltuvat tähän tarkoitukseen, jos ne ovat homogeenisia ja niiden alkuperäiset pitoisuudet tunnetaan. Pallojen koko tulee vakioida. Tässä kokeessa ne olivat läpimitaltaan 7—8 cm ja painoivat keskimäärin 20 g. Pallot ripustettiin 1,5—2 m:n korkealle puiden oksiin kohtisuorille linjoille tien molemmin puolin 10—200 metrin etäisyydelle tiestä. Linjojen valinnassa ja pallojen ripustuksessa pyrittiin huomioimaan saasteiden leviämisuunta sekä sadantaan, oksavaluntaan ja turbulenssiin vaikuttavat tekijät, jotta tulokset eri pisteissä olisivat vertailukelpoisia. Meneillään olevassa jatkotutkimuksessa huomioidaan myös liikennetiheys, säätekijät, kasvillisuus ja topografia saasteiden levintään vaikuttavina tekijöinä.

Ensimmäisessä kokeessa turvepallot pidettiin maastossa kesäkuusta elokuun loppuun, jonka jälkeen ne analysoitiin edellä selostetulla kuivapoltto-atomiabsorptiomenetelmällä. Kaikista kuvan 7 mittauspisteistä on analysoitu 3—4 palloa. Myöhemmin samoilla paikoilla on suoritettu lyijylaskeumamittauksia sammalpallojen avulla.

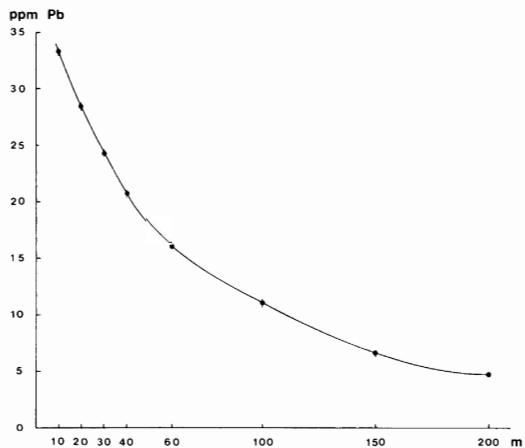
Saatujen tulosten perusteella sekä turveettä sammalpallo soveltuvat hyvin moottoriliikenteen aiheuttaman lyijysaasteen seurantaan. Kuvasta 7 ilmenee kaksi merkittävää seikkaa. Ensinnäkin analyysitulosten hajonta samoissa mittauspisteissä on varsin pieni. Toiseksi lyijy-yhdisteet leviävät myönteäuleen oletettua kauemmaksi (vrt. esim. Laaksovirta et al. 1976) — mittauslinja sijaitsee keskitiheässä kuusimetsässä vallitsevan tuulen alapuolella. Useinhan vaaravyöhykkeen katsotaan ulottuvan n. 100 m:n etäisyydelle tiestä, mutta Nurmen tekemien tutkimusten mukaan lyijy-yhdisteitä kulkeutuu huomattavasti etäämmälle tiestä, vaikka puusto ilmeisesti rajoittaa liikennesaasteiden leviämistä.

Sammalpallo menetelmällä voidaankin

verrattain taloudellisesti tutkia saasteiden levintää sellaisilla alueilla, missä muiden mittausten menetelmien tai biologisten indikaattorien käyttö on rajoitettua tai vaatisi kalliita keruulaitteita. Esimerkkinä mainittakoon tienvarsien vilja-, vihannes- ja hedelmäviljelykset ja niitä koskevat suunnitelmat (vrt. Hårdh 1977). Samalla menetelmällä voidaan tutkia erilaisten metsiköiden ja muiden suojaistutusten vaikutusta liikenteen emissioiden leviämiseen.

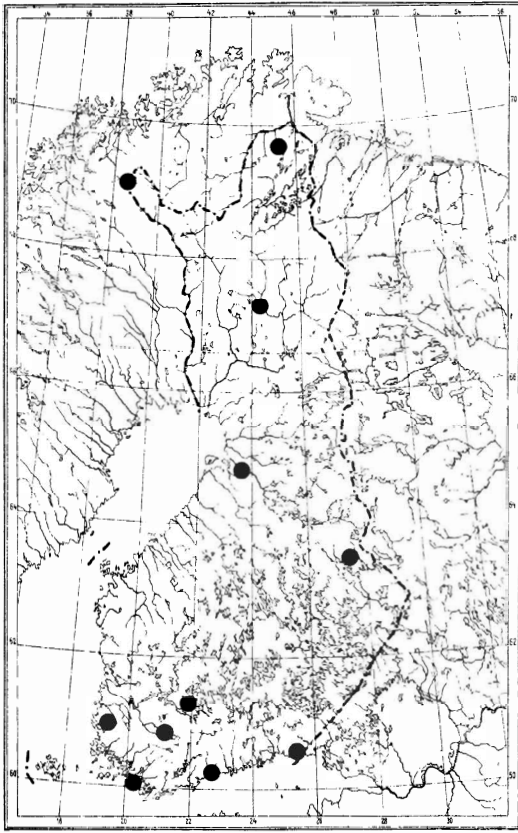
MENETELMÄN KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET

Tehokkuudessaan sammalpallo menetelmä kilpailee nopeiden, mutta kalliiden kemiallisten keruulaitteiden kanssa. Erittäin saastuneilla alueilla, kuten taajamissa, joidenkin teollisuuslaitosten läheisyydessä ja vilkkaasti liikennöityjen teiden varrella voidaan sammalpallo menetelmällä tutkia jopa viikon pituisia periodeja ja saada nopea yleiskuva vaarallisten saasteiden levinnästä. Sammalpallo voidaan sijoittaa mihin tahansa saastelähteen ympäristöön, useita samalle etäisyydelle. Havupuiden oksilla ne ovat huomaamattomia talvellakin, mutta on muistettava tiheän puuston vaikutus laskeumaan.



Kuva 7. Sammal- ja turvepallot soveltuvat hyvin tienvarsien lyijysaasteen tarkkailuun. Niiden avulla voidaan seurata liikenteen haittavaikutuksia myös peltoaukeilla. Kuvassa turvepallot saatuja tuloksia (mg/kg/kk) lyijyn leviämisestä metsään Porvoon moottoritien pohjoispuolella kesäkuukausina 1977 Anne Nurmen tutkimusten mukaan.

Fig. 7. The increase in lead concentrations of peat-bags along a highway transect near Helsinki (Nurmi 1977). The results are monthly values (mg Pb/kg/mo) after three months exposure (June-August). Means and standard errors of three replicates indicated.



Kuva 8. Mittausasemat, joilla ilman saastelaskeumia tutkitaan sammalpallojen avulla. Helsingin seudulla on toiminnassa yhteensä 16 mittausasemaa.

Fig. 8. The regional observation net established with the moss bag method. In the Helsinki neighbourhood there are 16 measurement sites in operation.

Tutkimuksen myöhemmässä vaiheessa saattaa löytyä uusia sammalpalloa-aleja, jotka ovat edellä esitettyjä parempia, mutta nykyisin käytetyistä biologisista ilman saastumisen indikaattoreista sammalet ovat osoittautuneet tehokkaimmiksi. Luonnonvaraiset epifyyttijäkälät tai puun kuorikerrokset soveltuvat kumuloiviksi laskeumaindikaattoreiksi, jos sateen jakauma ja valunta puista tunnetaan, mutta jäkälä tai puita ei kasva kaikkialla.

Edellä kerrottujen koetulosten perusteella näyttää ilmeiseltä, että sammal- ja turvepaloista voidaan kehittää suhteellisen nopea ja ennen kaikkea halpa ilmansaasteittari varsin moneen käyttötarkoitukseen. Tienvarsi- ja teollisuussaasteiden lisäksi menetelmällä voidaan tutkia myös taajamien ilman puhtautta. Tätä koskeva selvitys on parhaillaan käynnissä Helsingin seudulla. Mittausasemia on edellä selostettujen lisäksi 7. Ne sijaitsevat Helsingin, Vantaan ja Espoon ulkoilualueilla, missä liikenteen emissiot eivät häiritse mittauksia. Samoilta alueilta on valmistumassa selvitys eräiden luonnonvaraisten kasvien — mm. seinäsammalten — raskasmetallipitoisuuksista. Nämä tiedot tuovat vertailuaineistoa sammalpallokokeille.

Menetelmän kehittäminen jatkuu Helsingin yliopiston kasvitieteen laitoksella edelleen sekä materiaalien että teknisten ratkaisujen osalta. Lyijyn ja sinkin lisäksi on tarkoitus selvittää muidenkin raskasmetallien sekä rikin kulkeutumista saastelähteestä ympäristöön ja tutkia tähän vaikuttavia ekologisia tekijöitä.

KIRJALLISUUS

- Buch, H. 1947. Über die Wasser- und Mineralstoffversorgung der Moose. II. — Soc. Scient. Fenn. Comm. Biol. IX (20): 1—61.
- Bull, K. R., Roberts, R. D., Inskip, M. J. & Goodman, G. T. 1977. Mercury concentrations in soil, grass, earthworms and small mammals near an industrial emission source. — Environ. Pollut. 12: 135—140.
- Clymo, R. S. 1963. Ion exchange in Sphagnum and its relation to bog ecology. — Ann. Bot., 27: 309—324.
- Erviö, R. 1977. Lead contents of crop plants growing in the vicinity of a lead smeltery. — Ann. Agric. Fenn. 16: 172—176.
- Erviö, R. & Lakanen, E. 1973. Maan lyijyasaastuminen sulattamon ympäristössä Tikkurilassa. (Summary: Lead contamination of soil in the environment of a smeltery in South Finland). — Ann. Agric. Fenn. 12: 200—206.

- Goodman, G. T. & Roberts, T. M. 1971. Plants and soils as indicators of metals in the air. — *Nature*, Vol. 231: 4, 287—292.
- Goodman, G. T., Smith, S., Parry, G. D. R. & Inskip, M. J. 1974. The use of moss-bags as deposition gauges for airborne metals. — *Proc. Conf. nat. Soc. clean Air*, 16 pp.
- Havas, P. 1971. Injury to pines in the vicinity of a chemical processing plant in northern Finland. — *Acta Forest. Fenn.* 121: 1—21.
- Hébant, C. 1977. The conducting tissues of bryophytes, 157 pp, 80 plates. Vaduz.
- Highway research record 425. Environmental degradation by de-icing chemicals and effective countermeasures. Highway Research Board 1973.
- Huttunen, S. 1975. The influence of air pollution on the forest vegetation around Oulu. — *Acta Univ. Oul. A* 33, *Biol.* 2: 78 pp.
- Hårdh, J. E. 1977. Raskasmetallit ravintokasveissa ja maassa. (Summary: The heavy metals in alimentary crops and in soils). — *J. Scient. Agric. Soc. Finland* 49: 209—220.
- Kauppi, M. 1976. Fruticose lichen technique for air pollution experiments. — *Flora* 165: 407—414.
- Laaksovirta, K. & Olkkonen, H. 1977. Epiphytic lichen vegetation and element contents of *Hypogymnia physodes* and pine needles examined as indicators of air pollution at Kokkola, W. Finland. — *Ann. Bot. Fenn.* 14: 112—130.
- Laaksovirta, K., Olkkonen, H. & Alakuijala, P. 1976. Observations on the lead content of lichen and bark adjacent to a highway in southern Finland. — *Environ. Pollut.* 11: 247—255.
- Laamanen, A. 1969 a. Trace metal profiles as environmental measures of urban air impurity in Finland. — *Work-Environm.-Health* 6 (1): 31—40.
- Laamanen, A. 1969 b. The use of snow samples in air pollution studies. — *Work-Environm.-Health* 6 (1): 42—50.
- Laamanen, A. & Ryhänen, A. 1971. Areal distribution of dustfall lead in the neighbourhood of some lead emitters. — *Suomen Kemistilehti* 44: 367—371.
- Lakanen, E. & Erviö, R. 1971. Ympäristön lyijy-saastuminen Tikkurilassa. (Summary: Heavy local lead contamination in Southern Finland. Preliminary report.) — *Ann. Agric. Fenn.* 10: 114—118.
- Little, P. & Martin, M. H. 1974. Biological monitoring of heavy metal pollution. — *Environ. Pollut.*, 6: 1—19.
- Mäkinen, A. & Pakarinen, P. 1977. Raskasmetallilaskeumien seuranta sammalten ja jäkälien avulla. (Summary: Comparison of some forest and bog plants in heavy metal surveys). — *Ympäristö ja Terveys* 8 (2): 170—180.
- Nordman, C. H. 1975. Environmental lead exposure in Finland. A study on selected population groups. 118 pp. Helsinki.
- Nurmi, A. 1977. Turvepallojen käyttö liikenneperäisen lyijyn kerääjänä teiden varsilla. — (Käsikirjoitus. Manuscript).
- Ottar, B. 1976. Monitoring long-range transport of air pollutants: the OECD study. — *Ambio* 5: 203—206.
- Pakarinen, P. & Mäkinen, A. 1976. Suosammalet, -jäkälät ja männyn neulasat raskasmetallien kerääjinä. (Summary: Comparison of Pb, Zn and Mn contents of mosses, lichens and pine needles in raised bogs). *Suo* 27 (4—5): 77—83.
- Pakarinen, P. & Tolonen, K. 1976. Regional survey of heavy metals in peat mosses (*Sphagnum*). — *Ambio* 5: 38—40.
- Pakarinen, P. & Tolonen, K. 1977. Distribution of lead in *Sphagnum fuscum* profiles in Finland. — *Oikos* 28: 69—73.
- Puustjärvi, V. 1956. On the cation exchange capacity of peats and on the factors of influence upon its formation. — *Acta Agric. Scandinavica* 6 (4): 410—449.
- Päivänen, J. 1973. Hydraulic conductivity and water retention in peat soils. (Seloste: Turpeen vedenläpäisevyys ja vedenpidätyskyky). — *Acta Forest. Fenn.* 129: 1—70.
- Rajama, J. 1973. Tutkimus autoliikenteen vaikutuksesta kasvimateriaalin raskasmetallipitoisuuteen valtateiden varsilla. — *Ympäristö ja Terveys* 9—10: 841—846.
- Rühling, Å. & Tyler, G. 1968. An ecological approach to the lead problem. — *Bot. Notiser* 121: 321—342.
- Rühling, Å. & Tyler, G. 1973. Heavy metal deposition in Scandinavia. — *Water, Air and Soil Pollution* 2: 445—455.
- Salmi, M. 1969. Tienvarsiensaastuminen Suomessa. (Summary: Contamination of roadsides in Finland). — *Terra* 81 (3): 229—233.
- Tolonen, K. 1971. On the regeneration of North-European bogs. I. Klaukkalan Isosuo in S. Finland. — *Acta Agr. Fenn.* 123: 143—166.
- Tolonen, K. 1974. Raskasmetallianalyyskejä kahdelta tienvarsiensuolta. (Summary: Analyses of heavy metals on two roadside bogs in Finland). *Suo* 25 (5): 77—84.
- Tyler, G. 1974. Upplagring och fördelning av tunga metaller, särskilt bly, i mark och vegetation längs vägar. Vägars inverkan på omgivande natur — *Literaturoversikt*: 17—40.
- Ympäristötilasto 1974. Tilastotietoja ympäristön tilasta Suomessa 1964—1974. Tilastokeskuksen tiedonantoja n:o 56.

SUMMARY:

MOSS- AND PEAT-BAGS IN AIR POLLUTION MONITORING

Moss-bags have been used earlier for absorbing atmospheric metal pollutants in England around local emission sources (Goodman & Roberts 1971, Goodman et al. 1974, Little & Martin 1974). This paper describes the first results on the use of this method in Finland. In addition to *Sphagnum* mosses, experiments have also been made with other materials, including weakly decomposed *Sphagnum* peat.

The moss-bags were roughly spherical balls of ca. 7 cm diameter containing on average 3 g (dry weight) of *Sphagnum* moss (Fig. 1). The dimensions of the peat-bags were smaller (Fig. 5), but the weight was approximately the same. After the period of exposure (1 to 3 months according to metal load), the material was oven-dried (at +50°C), dry-ashed at +450°C and finally the ash was dissolved in concentrated HCl on a hot plate. The metals were determined by atomic absorption spectrometry at the Botany Dept., University of Helsinki.

Sphagnum girgensohnii was collected from southern Finland and *S. fuscum* from northern Finland where the background metal contents are low (cf. Pakarinen & Tolonen 1976). Peat was collected from a depth of 60–100 cm, i.e. below the higher concentrations in the surface layers (cf. Pakarinen & Tolonen 1977).

Preliminary results concerning the use of different materials in the Helsinki city area are presented in Table 1 (for study site, see Fig. 2). It appears that *Sphagnum* species of the Acutifolia group (*S. fuscum* and *S. girgensohnii*), as well as weakly decomposed *Sphagnum* peat, are more efficient collectors of airborne heavy metals than other materials used in the experiment (such as peat pots or cotton-wool).

The seasonal variability in the metal content of different materials in the urban study site in Helsinki can be seen in Figs. 3 and 4. In particular the values for lead, but also to some extent for copper and zinc, are smaller during summer months. A similar seasonality in Helsinki has been earlier found for lead, e.g., with chemical monitoring (Nordman 1975).

Outside the city area moss- and peat-bags have been used to study local effects of factories and highways. During a month's period in the autumn, the moss-bags collected high quantities of Pb and Zn near a lead smelter in Tikkurila (Fig. 6). Similarly, along a highway transect the total absorption of lead by peat-bags decreased steeply with distance (Fig. 7). The remarkable feature in both cases was a very small variability in the replicate samples at each distance from the local source.

Using *Sphagnum* material from northern Finland, an extensive net of moss-bag stations has been established across Finland to study the applicability of this method for large-scale regional mapping of the fall-out of different heavy metals. (Fig. 8). The technical development of the moss-bag method will continue in 1978, but already the results obtained so far do suggest that moss- and peat-bags can be recommended as an economic and efficient monitoring method, particularly where the living plants (lichens or mosses, e.g.) are absent or rare.

For the laboratory analyses I am grateful to Mrs. Sirkka Heikkinen.

This study has been supported by a grant from the Maj and Tor Nessling's Foundation to the research group Tolonen — Mäkinen — Pakarinen.