

KANGASKORPIMAANNOSTEN HIVENAINELAJAKAUTUMISTA JA -MÄÄRISTÄ

H. VASANDER, A. MÄKINEN ja P. PAKARINEN

SUMMARY:

TRACE ELEMENTS IN SOIL PROFILES OF PALUDIFIED SPRUCE FORESTS

Saapunut toimitukselle 1978-12-20

Eteläsuomalaisten kangaskorpien maannosprofiileista on tutkittu viiden metallin syvyysjakautumat karikekerroksesta kivennäismaahan. Lyijyn, sinkin ja mangaanin korkeimmat pitoisuudet (mg/kg kuivap.) olivat kaikissa viidessä tutkimuskohteessa pintaturpeessa, sen sijaan kuparin vertikaalijakautuma oli vaihteleva. Raudan rikastumiskerros todettiin kivennäismaan A- tai B-horisonteissa vesitaloudesta riippuen. Kirjoituksessa on myös arvioitu metallien kokonaismäärät pintamaassa (g/m^2) ja tarkasteltu tuloksia puuston vuotuisen hivenainetarpeen kannalta.

1. JOHDANTO

Ravinteiden kierrossa maaperällä on keskeinen merkitys kivennäisaineiden varastoinnissa ja niiden mobilisoinnissa kasvien käyttöön. Kivennäismaan kemiallisessa rapautumisessa metalleja vapautuu liukoiseen tai vaihtuvaan muotoon, jolloin ne ovat kasvillisuuden ja mikrobien käytössä tai voivat osaksi huuhtoutua syvemmälle maakerrokseen tai pohjaveteen. Toisaalta ilman kautta tapahtuva kaukokuljetus aiheuttaa paikoin merkittävän raskasmetallilisyksen (ks. TYLER 1972), minkä seurauksena maan pintakerrokseen voi varastoitua huomattavia määriä näitä joko eliöille toksisia (esim. Pb, Cd) tai hivenaineina tarpeellisia (esim. Fe, Mn, Zn, Cu) metalleja. Hivenravinteiden lisäykset voivat olla hyödyllisiä esim. turvemaiden puuston kasvun kannalta (vrt. HUIKARI 1977), mutta suurina pitoi-

suuksina monet hivenravinteina tarpeelliset raskasmetallit vaikuttavat haitallisesti kasvien aineenvaihduntaan sekä orgaanisen aineen hajotukseen ja nitrifikaatioon maaperässä (EBREGT ym. 1977).

Hivenaineiden, erityisesti raskasmetallien määrästä ja jakautumista suomalaisissa metsämaissa on julkaistu verrattain vähän tutkimuksia. Peltö- ja puutarhamaiden hivenainepitoisuuksista on tehty sen sijaan enemmän selvityksiä mm. maaperäkartoitusten yhteydessä (VUORINEN 1958, ERVIÖ ja VIRRI 1965, SILLANPÄÄ ja LAKANEN 1966, KURKI 1972). Turpeiden hivenainepitoisuuksia ovat Suomessa tutkineet mm. SALMI 1967, PAARLAHTI ym. 1971, TANSKANEN 1972, SILLANPÄÄ 1972. Tanskassa, Ruotsissa ja Norjassa on tehty muutamia selvityksiä raskasmetallien vertikaalijakau-

tumista maannosprofiileissa (HANSEN 1969, ANDERSSON 1977, JAUHAINEN 1977). Havu- metsävyöhykkeen luonnontilaisten metsä- maannosten hivenaineiden tai raskasmetal- lien syvyysjakautumista on jonkin verran tuloksia mm. USA:sta, Kanadasta ja Neu- vostoliitosta (esim. WRIGHT ym. 1955, PRESANT ja TUPPER 1965, REINERS ym. 1975, AUBERT ja PINTA 1977 ja siinä mai- nitut kirjallisuusviitteet).

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää viiden eri raskasmetallin (Pb, Zn, Cu, Mn, Fe) määriä ja syvyysjakautumia eteläsuomalaisen kangaskorpien maannos-

horisonteissa. Näin pyritään arvioimaan hivenmetallien pidentymistä eri horisonttei- hin ja maaperän osuutta aineiden kierrossa. Puuston hivenainemäärien ja vuotuisen hivenainekulutuksen arviot voidaan suh- teuttaa pintamaan sisältämiin ravinnevaras- toihin (ARMSON 1977, VAN HOOK ym. 1977) ja toisaalta ilmakehän ainelaskeumaan (TYLER 1972). Ilman kautta kulkeutuvat raskasmetallit aiheuttavat kohonneita met- allipitoisuuksia maaperässä ja puustossa ja vaikuttavat mm. männyn ja kuusen ver- soissa tavattaviin metallimääriin (MÄKI- NEN 1978).

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1. Tutkimuskohteet ja näytteenotto

Näytteet on kerätty syys-lokakuussa 1977 viidestä eteläsuomalaisesta kohteesta (kuva 1). Tutkimuskohteet olivat ohutturpeisia kangaskorpiä; valtapuulajina oli kuusi (*Picea abies*); harvakseltaan esiintyi myös hieskoivua (*Betula pubescens*). Pensasker- roksen pääosan muodostivat em. puiden taimet; muita lajeja olivat mm. *Alnus glutinosa*, *Sorbus aucuparia*, *Salix* spp. ja *Rubus idaeus*. Kenttäkerrosta luonnehtivat varvut (*Vaccinium vitis-idaea* ja *V. myrtillus* sekä *Equisetum sylvaticum* ja *Carex globu- laris*. KgK-metsiköiden sammalkerroksen

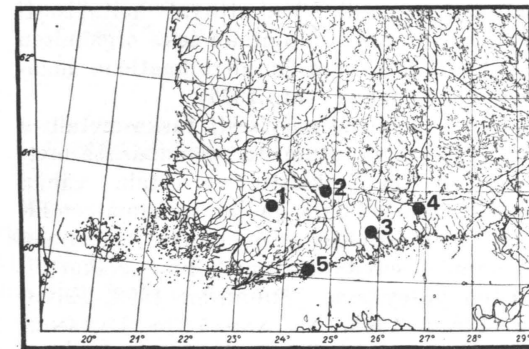
muodostivat pääasiassa *Polytrichum com- mune*, *Sphagnum girgensohnii*, *Dicranum majus*, *D. polysetum*, *Hylocomium splendens* ja *Pleurozium schreberi*.

Näytteenotto tapahtui kaivamalla n. 40 cm:n syvyinen kuoppa. Näytekuopan tasa- tusta seinämästä tunnistettiin horisontit ja mitattiin niiden paksuudet. Pintahorisont- teista (L, F, H, A) otettiin tilavuusnäytteet 20 x 20 cm:n alalta ja syvemältä (B, C) painon mukaan arvioiden riittävä määrä materiaalia. Näytteenottopaikat valittiin siten, että ne olivat kasvillisuudeltaan ho- mogeenisia ja maannokseltaan (mm. turpeen paksuus) edustavia. Kolmessa koh- teessa (Torransuo, Stormosse, Pälböle) näy- tekuopan pintasammalikon muodosti *Dic- ranum majus*, jonka seassa kasvoi jonkin verran seinäsammalta (*Pleurozium schreberi*). Kahdessa muussa paikassa (Suurisuo, Hauk- kasuo) näytealoilla oli vallitsevana korven karhunsammal (*Polytrichum commune*).

2.2. Maannosprofiilien kuvaus

Tutkitut kangaskorpien profiilit edustavat pohjavesi- eli gley-maannosta, jonka pin- nassa oli 9–23 cm:n paksuinen turve- kerros (humus). Kuvissa 2–6 esitetyt maannosprofiilit on kuvattu käyttäen kana- dalaisen luokittelun mukaisia symboleja eri horisontteille (The System of Soil Classi- fication for Canada 1974, PAKARINEN 1978).

Välittömästi elävän sammalkerroksen alla



Kuva 1. Tutkimuskohteet.

Fig. 1. Study sites (1 = Tammela, Torransuo, 2 = Janakkala, Suurisuo, 3 = Pernä, Pälböle, 4 = Kouvola, Haukkasuo, 5 = Kirkkonummi, Pork- kala, Stormosse).

on kuolleiden kasvien muodostama kari- kekerros (L), joka vaihtuu heikommin (F) tai voimakkaammin (H) maatuneeksi kangashumukseksi tai turpeeksi. Kahdessa profiilissa (kuvat 2–3) on havaittavissa podsoloitumista: vaalea huuhtoutumiskerros (Ae tai Ahe) ja tumman- tai ruosteenruskea rikastumiskerros (Bhg, Bg tai Bfg). Nämä edustavat maannostyyppiä Fera Gleysol (The System of Soil Classification for Canada 1970). Muissa maannoksissa (kuvat 4–6) orgaaninen kerros vaihtuu ohuen tummanruskean A-horisontin (Ahg) väli- tyksellä harmaaksi, täysin pelkistyneeksi C-horisontiksi (Cg). Tämä vastaa kanada- laisen luokituksen mukaan maannostyyppiä Rego Gleysol. Maannostyyppien ja hori- sonttien värin suhdetta rautapitoisuuksiin käsitellään alkuainekohtaisen tarkastelun yh- teydessä.

Kaikissa kohteissa pohjamaa oli moreenia. Keskimääräinen raesuuruus oli korkein Haukkasuolla (HHk). Porkkalan Stormos- sella pohjamaa oli karkeata hietaa (KHt) ja kolmessa muussa kohteessa hienoa hietaa (Hht). Kallioperältään kohteet sijaitsevat graniitti- tai rapakivialueilla eikä niiden

läheisyydessä ole tiedossa raskasmetalli- rikastumia (MIKKOLA ja NIINI 1966).

2.3. Näytteiden käsittely

Näytteet säilytettiin +4° C:ssa ennen esi- käsittelyä. Esikäsittelyssä näytteet seulo- tiin ja kuivattiin +60° C:ssa. Pohjamaan keskimääräinen raesuuruus määritettiin seu- lasarjalla. Yli 4 mm:n läpimittainen lajite, joka koostui juurista ja kivistä, on jätetty käsittelemättä. Alle 4 mm:n fraktiosta punnittiin kahtena toistona 2 g maata, joka poltettiin 450° C:ssa. Hehkutusjäännös (tuh- ka) punnittiin, uutettiin lämpölevyllä 10 ml:aan väkevää suolahappoa (HCl); muo- dostunut liuos haihdutettiin n. puoleen tilavuuteen ja suodatettiin 50 ml:n mitta- pulloon huuhtoen deionisoidulla vedellä. Näytteet analysoitiin Helsingin yliopiston kasvitieteen laitoksella Varian Techtron AA-1200 -atomiabsorptiolaitteella. Kuvissa 2–6 esitetyt tulokset ovat kahden rinnak- kaisnäytteen keskiarvoja ja edustavat em. kuivapolttomenetelmällä saatuja totaali- pitoisuuksia (ppm eli mg/kg kuivaa maata).

3. TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

3.1. Metallipitoisuudet eri horisonteissa

LYIJY (Pb)

Lyijyn maksimipitoisuudet ovat pinnan orgaanisissa kerroksissa. Pälbölen profii- lissa tavattiin maksimi L-horisontissa; Suuri- suon, Stormossen ja Torransuon tapauksissa F-horisontissa ja Haukkasuolla H-horison- tissa (kuvat 2–6). Arvot laskevat pohja- maata kohti, jossa minimi yleensä sijait- sevat. Suurisuo profiilissa minimiarvo oli kuitenkin Ae-horisontissa. Lyijyn pitoi- suudet orgaanisissa pintakerroksissa vai- helivat 25.5–59.1 ppm ja kivennäismaa- kerroksissa (A, B, C) 10.5–39.2 ppm.

Tutkitun aineiston korkein arvo 59 ppm tavattiin Porkkalan Stormossen pintatur- peesta (vrt. lyijyn alueellisuus Suomessa: SOVERI 1977). Haukkasuon lyijypitoisuus- maksimin sijainti syvemällä H-horison- tissa voitaneen selittää turpeen laadulla: *Polytrichum commune*-kasvusto maatuhi-

taasti ja toisaalta karhunsammalen kapeista vahapintaisista lehdistä huuhtoutuvat ai- neet helposti alaspäin. PAKARINEN ja TO- LONEN (1977) ovat todenneet lyijyn usein rikastuvan kohosoiden turveprofiileissa 20– 30 cm:n syvyydellä. Myös ohutturpeisissa kangaskorvissa tapahtunee huuhtoutumista alaspäin, mutta maatuneempi turve pidättää metallit pintakerrokseen, eikä ki- vennäismaan B-horisonttiin tai anaerobisen kerroksen yläosaan synny havaittavaa lyijy- rikastumaa.

HANSEN (1969) on tanskalaisissa nummi- maannoksissa todennut erittäin jyrkän gra- dientin: humuskerroksen maksimipitoisuus oli 56 ppm, mutta pohjamaan vain n. 1 ppm. Samoin ANDERSSONIN (1977) tutkimassa ruotsalaisen pyökkimetsikön podsoliprofiili- lissa oli lyijyn sitoutuminen pintaan varsin selvä: lyijypitoisuus maan pinnassa oli n. 100 ppm, josta tapahtui jyrkkä lasku pohjamaan arvoon 5 ppm (vrt. myös

SOVERI 1977). Näissä tapauksissa on tutkittu vain EDTA-liukoinen lyijy, jonka vertikaalinen jakautuma lienee jyrkempi kuin kokonaislyijypitoisuuden. Kanadassa (New Brunswick) normaaleissa podsolimaissa lyijyn on havaittu kertyvän pintahumukseen (L-H-kerros), mutta maaperältään poikkeavissa sulfidimaissa esiintyy erittäin korkeita lyijypitoisuuksia B-horisontissa (PRESENT ja TUPPER 1965).

lyijyn on havaittu kertyvän pintahumukseen (L-H-kerros), mutta maaperältään poikkeavissa sulfidimaissa esiintyy erittäin korkeita lyijypitoisuuksia B-horisontissa (PRESENT ja TUPPER 1965).

SINKKI (Zn)

Sinkki käyttäytyy lyijyn tavoin. Maksimi-arvot sijaitsevat pinnan orgaanisissa kerroksissa, joista pitoisuudet laskevat syvemmälle mentäessä. Minimiarvot tavataan useimmiten pohjamaissa. Suurisuon profiilissa minimipitoisuus oli Ae-horisontissa ja Pälböessä H-horisontissa. Suurisuolla sinkkiä todettiin rikastuneen myös B-horisonttiin. Koko aineistossa pitoisuuksien vaihteluväli oli orgaanisissa kerroksissa 19.7–91.3 ppm ja mineraalimaakerroksissa 3.5–42.3 ppm.

Kanadalaisessa podsoliaineistossa (PRESENT ja TUPPER 1965) karikke- ja humuskerroksen (L-H) ja kivennäismaan (B, C) sinkkipitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa, mutta huuhtoutumiskerroksen (Ae) arvot olivat selvästi alhaisempia. HANSENIN (1969) tulokset Tanskasta osoittavat sinkillä olevan lyijyn tavoin erittäin selvän pintamaksimin: humuskerroksissa olivat pitoisuudet 53–71 ppm ja pohjamaissa 0.1–3 ppm. ANDERSSONIN (1977) tutkimuksessa pintamaan sinkkipitoisuus oli 125 ppm, josta määrät nopeasti laskevat pohjamaiden 10–20 ppm:ään vaihtelun ollessa syvemmällä pientä. REINERS ym. (1975) ovat tutkiessaan pinnan orgaanisia kerroksia todenneet sinkin pitoisuuksien vähenevän selvästi H-horisonttiin tultaessa. Toisaalta WRIGHT ym. (1955) ja KAURANNE (1967) ilmoittavat sinkin rikastuvan myös B-horisonttiin (vrt. myös HINNERI 1974). Todennäköisesti pohjamaan laatu ja raesuuruus aiheuttavat vaihtelua sinkkijakautumiin eri profiileissa (SIPOLA 1974).

KUPARI (Cu)

Kuparin vertikaalijakautumat vaihtelivat jonkin verran eri kohteissa. Maksimipitoisuus oli useimmiten A-horisontissa, erityisen selvä tämä oli Haukkasuon (kuva 5) ja Stormossen (kuva 6) profiileissa. Suurisuolla pitoisuudet kasvoivat tasaisesti pinnasta pohjamaahan. Tutkituissa profiileissa pitoisuudet orgaanisissa kerroksissa vaihtelivat 4.5–14.1 ppm ja mineraalimaakerroksissa 1.5–31.0 ppm.

Kuparipitoisuuksien on todettu yleensä jonkin verran kasvavan syvemmälle mentäessä (WRIGHT ym. 1955, PRESENT ja TUPPER 1965, KAURANNE 1967). HANSEN

(1969) puolestaan toteaa kupari- ja humuspitoisuuksien välillä olevan vahvan korrelaation: tanskalaisten nummien humushorisonteista pitoisuudet laskevat jyrkästi kivennäismaakerroksiin. Pohjoisimmassa Suomessa (Kevolla) sitä vastoin pintahumuksen (A₀) pitoisuuksien ei ole todettu poikkeavan merkittävästi syvempien kerrosten (B, C) arvoista (HINNERI 1974). Onkin todennäköistä, että maaperän laadun ohella erityisesti ilman metallisaasteiden alueellisuus vaikuttaa kuparin syvyysjakaumiin.

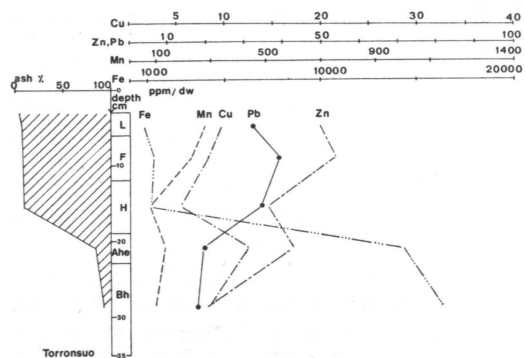
MANGAANI (Mn)

Mangaanipitoisuuksien pintamaksimi on selvä kaikissa profiileissa. Pitoisuudet laskevat karikkekerroksesta alaspäin aluksi yleensä jyrkästi vaihtelun syvemmällä ollessa melko pientä. Pälböen ja Torronsuon profiileissa mangaani rikastui pienessä määrin myös Ah-horisonttiin. Pitoisuuksien vaihteluväli oli karikkekerroksessa (L) 273–1157 ppm ja F-H-kerroksissa 22–382 ppm sekä mineraalimaissa 27–128 ppm.

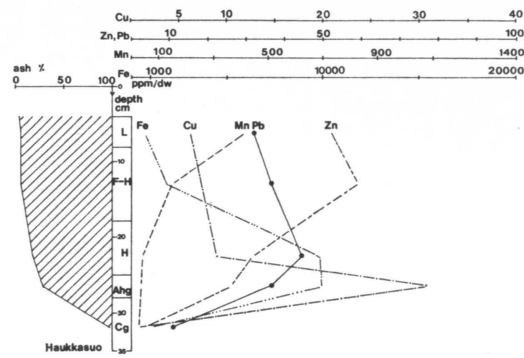
Mangaani on hivenaine, jonka esiintymiseen viljelymailla on erityisesti kiinnitetty huomiota (KURKI 1972). Uudenmaan peltomaitten mangaanipitoisuudet vaihtelevat maalajista riippuen 100–1400 ppm:ään (ERVIO ja VIRRI 1965), mikä vastaa suuruudeltaan nyt saatuja määriä, mutta mangaanipitoisuuden säännönmukaista muutosta vertikaalisuunnassa ei peltomaissa ole todettu. Tanskalaisissa podsoliannaoksissa mangaanipitoisuuden maksimi oli kuitenkin selvästi pinnassa (HANSEN 1969, JAUHIAINEN 1977), kun taas JAUHIAISEN (1977) tutkimassa norjalaisessa profiilissa mangaanipitoisuus oli syvemmällä suurempi. Samoin WRIGHTIN ym. (1955) aineistossa Mn-pitoisuus kasvoi syvemmälle. Todettuihin eroihin vaikuttavat ilmeisesti toisaalta maan vesitalous (hapetus-pelkistystilanne) ja toisaalta kasvikaarikkeen laatu; mm. kuusen neulasten ja sammalkerroksen Mn-pitoisuudet ovat huomattavan korkeita.

RAUTA (Fe)

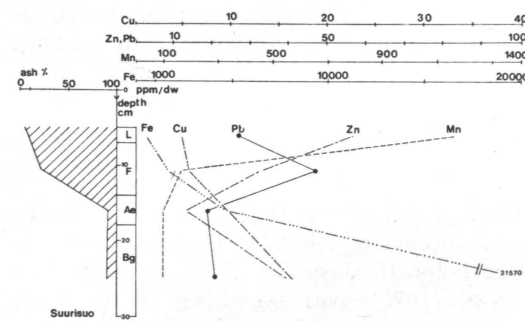
Raudan vertikaalijakauma poikkeaa erittäin selvästi mangaanin ja muiden edellä esitettyjen metallien syvyysprofiileista. Minimipitoisuudet sijaitsevat kaikissa tapauk-



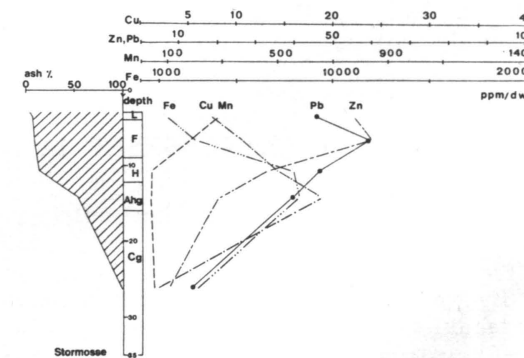
Kuva 2 (Fig. 2).



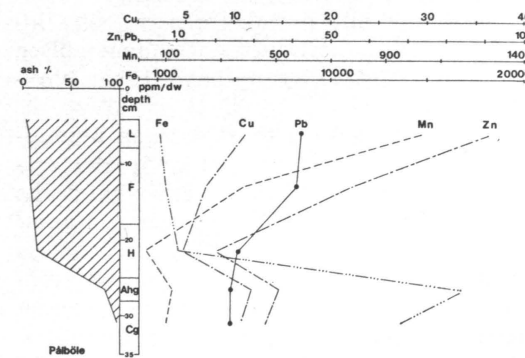
Kuva 5 (Fig. 5).



Kuva 3 (Fig. 3).



Kuva 6 (Fig. 6).



Kuva 4 (Fig. 4).

Kuvat 2–6. Hivenaineiden (raskasmetallien) syvyysjakautumat tutkituissa maannosprofiileissa. Pitoisuudet on ilmoitettu kuiva-ainetta kohti (mg/kg = ppm). Varjostettu ala osoittaa orgaanisen aineen määrän (= hehkutushäviö %) eri kerroksissa.

Figs. 2–6. Vertical distributions of trace elements (heavy metals) in the soil profiles studied (cf. Fig. 1). Concentrations are expressed in mg/kg dry wt (= ppm/dw). The shaded area shows the loss-on-ignition % (= 100 – ash %).

sisä pinnassa, josta arvot lisääntyvät yleensä jyrkästi syvemmälle mentäessä. Maksimipitoisuudet esiintyivät podsoloituneissa Fera Gleysol-profiileissa (kuvat 2–3) odotetusti B-horisontissa. Sen sijaan Rego Gleysol-maannoksissa rautapitoisuus oli suurin humuskerroksen ja kivennäismaan rajalla A-horisontissa (kuvat 4–6); pohjamaan (Cg) väri oli näissä tapauksissa harmaa. Raudan pitoisuudet orgaanisissa kerroksissa vaihtelivat välillä 522–9815 ppm ja mineraalimaissa 1023–21 570 ppm.

Raudan rikastuminen podsolimaannosten B-horisonttiin on tunnettu jo kauan (esim. AALTONEN 1939). Korkealla oleva pohjavesi aiheuttaa kangaskorpien maaperässä pelkistävät, hapettomat olosuhteet. Tällöin podsolin tilalle syntyy gley- eli pohjavesimaannos. Jos pohjavesipinta laskee ajoittain riittävän syväälle, säilyvät podsolimaannoksen piirteet, harmaa A-horisontti ja ruosteenvärisen B-horisontti (= turvepodsoli eli Fera Gleysol). Vesitaloudeltaan huonommissa maissa anaerobiset olosuhteet kivennäismaassa aiheuttavat raudan pelkistymistä ja poishuutoutumista (Rego Gleysol-maannostyyppi).

3.2. Metallimäärät pinta-alayksikköä kohti

Kasvien ravinnetalouden ja koko ekosysteemin aineiden kierron kannalta on tärkeää tietää pitoisuuksien ohella myös hivenravinteiden (tai raskasmetallien) kokonaisvarastot pintamaassa, erityisesti juuristokerroksessa (vrt. HINNERI 1974, REINERS ym. 1975, VAN HOOK ym. 1977). Juuristokerroksen paksuus riippuu maan rakenteesta ja vesitaloudesta ja vaihtelee kasvilajeittain. Kangaskorvissa valtaosa juurista sijaitsee aivan pintakerroksessa. Tässä tutkimuksessa laskettiin yhteen turvekerroksen (L–F–H) ja A-horisontin sisältämät metallimäärät ottamalla huomioon näiden horisonttien sisältämä kuiva-aine pinta-alayksikköä kohti (g/m² eli 10 kg/ha, ks. taulukko 1). Tämän pintakerroksen keskimääräinen paksuus oli 19 cm (vaihteluväli 13–26 cm).

Kivennäismaasta rapautuvien metallien ohella maaperään tulee vuosittain raskasmetalleja ilmasta kuiva- ja märkälaskemana, jonka suuruus on Keski-Euroopassa ja eteläisessä Skandinaviassa huomattavampi

Taulukko 1. Pintamaan (L-, F-, H- ja A-horisontit) sisältämät metallimäärät (g m⁻²) sekä niitä vastaavat maan kuivapainot ja orgaanisen aineen määrät (kg m⁻²) tutkitussa aineistossa.

Table 1. Heavy metal pools (g m⁻²) in the surface layer of soil (L-F-H plus A horizons; average thickness 19 cm, range 13–26 cm). Dry weights of soil and organic matter (kg m⁻²) are also indicated for this layer.

Muuttuja – Variable	Keskiarvo – Mean	Vaihteluväli – Range
Maan kuivapaino – Soil dry wt, kg m ⁻²	29.0	8.4–45.6
Orgaanisen aineen määrä – Org. matter dry wt, kg m ⁻²	12.3	5.3–17.0
Lyijy – Pb, g m ⁻²	0.83	0.32–1.14
Sinkki – Zn, g m ⁻²	0.97	0.34–1.90
Kupari – Cu, g m ⁻²	0.33	0.12–0.49
Mangaani – Mn, g m ⁻²	3.44	0.90–6.32
Rauta – Fe, g m ⁻²	260	53–502

kuin esim. Suomessa (TYLER 1972). Toistaiseksi on käytettävissä varsin niukasti julkaistuja mittaustuloksia metallilaskemien suuruudesta asutuskeskusten ulkopuolella Etelä-Suomessa. Työterveyslaitoksen Pertunmaalla 1971–72 sijainneen mittauspisteen kuukausiarvojen perusteella on vuotuisiksi laskeumaksi (mg m⁻² v⁻¹) laskettu seuraavat alustavat arviot eri metalleille: rauta 103, sinkki 7.3, mangaani 3.0, kupari 2.4 ja lyijy 2.3 (LAAMANEN 1972). Kun nämä luvut suhteutetaan pintamaan sisältämiin ainemääriin (taulukko 1), havaitaan, että ilmakehän vuotuinen lisäys edustaa 0.4–7.5 tuhannesosaa maaperän pintakerroksen hivenainevarastoista (rauta 0.4, mangaani 0.9, lyijy 2.8, kupari 7.3, sinkki 7.5 ‰). Vaikka luvut ovat vielä alustavia, ne viittaavat selviin eroihin eri aineiden välillä. Nimenomaan kuparin ja sinkin lisäykset ovat suhteellisesti paljon suurempia kuin raudan ja mangaanin.

Luonnollisesti vain osa raskasmetallien kokonaismäärästä on kasveille käyttökelpoista. Helppoliukoisen fraktion kuvaamiseen maan uuttonesteenä on käytetty mm. hapanta ammoniumasetaattia (SILLANPÄÄ ja LAKANEN 1966), tai laimeaa EDTA-

liuosta (HANSEN 1969, ANDERSSON 1975). Ruotsalaisen aineiston mukaan (ANDERSSON 1975) 0.025 M Na-EDTA-liuos uuttaa kivennäismaan lyijystä 20 %, mutta 2 M HCl 94 %, vastaavat luvut esim. sinkin osalta ovat 3 ja 83 %. Siten hyvin huomattava osa kokonaispitoisuudesta (joka määritetään yleensä silikaattianalyysillä fluorivetyhappoa käyttäen) on saatu tässä tutkimuksessa käytetyllä väkevällä suolahapolla. Helsingin yliopiston kasvitieteen laitoksella tehdyn alustavan selvityksen mukaan 0.05 M Na-EDTA-liuos uuttaa n. 50 % eloperäisten maakerrosten lyijystä, mutta vain 17 % kivennäismaahorisonttien HCl-uutosta saadusta lyijymäärästä (VASANDER ja VÄHÄ-PIIKKIÖ 1977); myös rautaa uuttui suurempi osuus orgaanisista (23 %) kuin mineraalimaakerroksista (7 %). Standardimenetelmä kokonaispitoisuuksien määrittämiseksi pinta-humuksesta (tai turpeesta) on tässä tutkimuksessa käytetty kuivapoltto + uutto väkevällä hapolla (REINERS ym. 1975). Samalla analyysimenetelmällä Luoteis-USA:n (New Hampshire) subalpiinisen vyöhykkeen havumetsien humuskerroksesta (L–F–H) saadut lyijyn (0.61–1.45 g/m²) samoin kuin sinkin (0.44–0.90 g/m²) määrät (REINERS ym. 1975) ovat samaa suuruusluokkaa tai hieman korkeampia kuin tässä tutkimuksessa (vrt. taulukko 1).

3.3. Puusto ja hivenaineet

Nyt tutkitut metallit ovat lyijyä lukuunottamatta puustolle ja muille kasveille tärkeitä hivenravinteita. Esim. ojitetuilla soilla on pintaturpeen mangaanipitoisuuden todettu korreloivan positiivisesti männyn kasvuun, ja myös turpeen kupari- ja sinkkimäärät (mg/l jauhettua turvetta) ovat hyväkasvuisilla paikoilla korkeampia kuin huonokasvuisilla (PAARLAHTI ym. 1971). Ilmeisesti turvealustalla vain hyvin harvoin tulee kysymykseen mahdollinen raskasmetallihivenaineiden myrkkövaikutus, vaan pikemminkin hivenaineiden (mm. Cu, B) puute voi aiheuttaa paikoin vakavia suopuiden kasvu-

häiriöitä (HUIKARI 1977). Tähän aihepiiriin liittyvät tutkimukset ovat vielä kuitenkin alkuvaiheissaan.

Saadaksemme alustavan käsityksen maaperän varastojen suhteellisesta merkityksestä puuston hivenainetaloudelle, olemme arvioineet, paljonko nyt tutkittujen ohuturpeisten kangaskorpien puusto (pääas. *Picea*) tarvitsee kuparia ja rautaa vuotuisen oksien ja neulasten tuotukseen. Venäjällä borealisessa vyöhykkeessä (middle taiga) on tutkittu vastaavanlaatuisten kuusikkojen biomass- ja produktiosuhteita (SMIRNOV 1971), ja näiden tulosten perusteella voidaan kangaskorpien sulkeutuneiden puustojen vuotuisen neulastuotoksen arvioida vaihtelevan välillä 100–300 g/m² ja oksatuotoksen olevan suuruusluokkaa 20–50 g/m². Neljän eteläsuomalaisen kangaskorven kuusista tehdyt alustavat analyysit (HYPPÖLÄ ja PEKKALA 1977) osoittavat nuorimpien neulasten sisältävän kuparia 0.6 ppm ja oksien 3.4 ppm; vastaavat rautapitoisuudet olivat 11 ja 75 ppm. Tuotos- ja pitoisuuslukujen perusteella arvioitu vuotuinen hivenravinteiden nettotarve (mg m⁻² v⁻¹) ilmenee seuraavasta asetelmasta:

	Cu	Fe
oksat	0.07–0.17	1.5–3.8
neulaset	0.06–0.20	1.1–3.3

Enimmäiskulutuksenkin mukaan laskettuna kuparin kokonaisvarastot maaperän pintakerroksessa (taulukko 1) ovat n. 1 000-kertaiset ja raudan määrät yli 30 000-kertaiset vuotuisen kulutukseen (oksa + neulastuotos) verrattuna. Tästä huolimatta esim. kupari voi osoittautua minimitekijäksi, jos se on heikosti mobilisoituva aine maaperässä (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1976). Raudan suhteen puutetta tuskin esiintyy.

Puuston hivenainekulutuksen tarkempi arviointi ja aineiden kiertojen tutkiminen edellyttäisivät biomass- ja produktioselvitysten ja kemiallisten analyysien yhdistämistä samaan tapaan kuin esim. GLEBOV ja TOLEIKO (1975) ovat tehneet siperialaisia suometsiä koskevassa työssään.

KIRJALLISUUS

- AALTONEN, V. T. 1939. Zur Stratigraphie des Podsolprofils, besonders vom Standpunkt der Bodenfruchtbarkeit. II. Commun. Inst. For. Fenn. 27 (4): 1–133.
- ANDERSSON, A. 1975. Relative efficiency of nine different soil extractants. Swedish J. Agric. Res. 5: 125–135.
- » — 1977. Heavy metals in Swedish soils: on their retention, distribution and amounts. Swedish J. Agric. Res. 7: 7–20.
- ARMSON, K. A. 1977. Forest soils: properties and processes. Toronto. 390 p.
- AUBERT, H. & PINTA, M. 1977. Trace elements in soils. Developments in Soil Science 7. Amsterdam—Oxford—New York. 395 p.
- EBREGT, A. & BOLDEWIJN, J. M. A. M. 1977. Influence of heavy metals in spruce forest soil on amylase activity, CO₂ evolution from starch and soil respiration. Plant and Soil 47: 137–148.
- ERVIO, R. & VIRRI, K. 1965. Trace element contents in the soils of Middle Uusimaa. Ann. Agr. Fenn. 4: 178–184.
- GLEBOV, F. Z. & TOLEIKO, L. S. 1975. On the biological productivity of mire forests, forest formation and mire formation processes. Bot. Zhurn. 60 (9): 1336–1347. (In Russian).
- HANSEN, K. 1969. Edaphic conditions of Danish heath vegetation and the response to burning-off. Bot. Tidsskr. 64: 121–140.
- HINNERI, S. 1974. Podzolic processes and bioelement pools in subarctic forest soils at the Kevo Station, Finnish Lapland. Rep. Kevo Subarctic Res. Stat. 11: 26–34.
- HUIKARI, O. 1977. Micro-nutrient deficiencies cause growthdisturbances in trees. Silva Fenn. 11 (3): 251–255.
- HYPPÖLÄ, L. & PEKKALA, U. 1977. Kuusen neulasten ja oksien kupari-, lyijy- ja rautapitoisuuksista. In: Raskasmetalliekologian kurssin tulomoniste, ss. 16–20 (toim. Mäkinen, A. & Pakarinen, P.), Helsingin yliopiston kasvitieteen laitos, Helsinki.
- JAUHAINEN, E. 1977. Some trace elements of podzol profiles in southeastern Norway and western Denmark. Commentationes Biol. 86: 1–15.
- KAURANNE, L. K. 1967. Trace element concentrations in layers of glacial drift at Kolima, Central Finland. In: Geochemical prospecting in Fennoscandia (ed. Kvalheim, A.). London, p. 181–191.
- KURKI, M. 1972. Suomen peltojen viljavuudesta II. Helsinki. 182 s.
- LAAMANEN, A. 1972. Functions, progress and prospects for an environmental subarctic base level station. Work, Environment, Health 9: 17–25.
- MIKKOLA, A. & NIINI, H. 1966. Suomen malmi-esiintymien alueellinen ja metallisisällön mukainen jakautuminen. Summary: Metallogenetic Provinces in Finland. Terra 78 (1): 1–10.
- MÄKINEN, A. 1978. Kuusen ja männyn versojen hivenainepitoisuuksista erällä Etelä-Suomen soilla. Käsikirjoitus, Helsingin Yliopiston Kasvitieteen laitos, Helsinki.
- PAARLAHTI, K., REINIKAINEN, A. & VEIJALAINEN, H. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine stands by needle and peat analysis. Commun. Inst. For. Fenn. 74 (5): 1–58.
- PAKARINEN, P. 1978. Piirteitä kanadalaisesta maannosluokituksesta. Käsikirjoitus, Helsingin Yliopiston Kasvitieteen laitos, Helsinki.
- » — & TOLONEN, K. 1977. Pääravinteiden sekä sinkin ja lyijyn vertikaalijakautumista rahkaturpeessa. Summary: Vertical distributions of N, P, K, Zn and Pb in Sphagnum peat. Suo 28: 95–102.
- PRESANT, E. W. & TUPPER, W. M. 1965. Trace elements in some New Brunswick soils. Canadian J. Soil Sci. 45: 305–310.
- REINERS, W. A., R. H. MARKS & P. M. VITOUSEK. 1975. Heavy metals in subalpine and alpine soils of New Hampshire. Oikos 26: 264–275.
- SALMI, M. 1967. Peat in prospecting: applications in Finland. In: Geochemical prospecting in Fennoscandia (ed. Kvalheim, A.). London, p. 113–126.
- SCHAEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL. 1976. Lehrbuch der Bodenkunde. 9. Aufl. Stuttgart 440 pp.
- SILLANPÄÄ, M. 1972. Distribution of trace elements in peat profiles. Proc. 4th Int. Peat Congr. Finland 1972, Vol. 5: 185–191.
- » — & LAKANEN, E. 1966. Readily soluble trace elements in Finnish soils. Ann. Agr. Fenn. 5: 298–304.
- SIPPOLA, J. 1974. Mineral composition and its relation to texture and to some chemical properties in Finnish subsoils. Ann. Agr. Fenn. 13: 169–234.
- SMIRNOV, V. B. 1971. Organic mass in some forest phytocoenoses in European part of the USSR. Moscow. 362 p. (In Russian).
- SOVERI, J. 1977. Elohopea, lyijy ja kadmium Suomen maaperässä ja pohjavedessä. Ympäristö ja Terveys 8: 118–126.
- The system of soil classification for Canada. 1974. Canada Department of Agriculture (Publication 1455), Ottawa, 255 pp.
- TANSKANEN, H. 1972. Hivenalkuaineiden vertikaalisesta esiintymisestä turvekerrostusmassa. Summary: On the vertical distribution of microelement in peat soils. Suo 23: 63–69.
- TYLER, G. 1972. Heavy metals pollute nature, may reduce productivity. Ambio 1: 52–59.
- VAN HOOK, R. I., HARRIS, W. F. & HENDERSON, G. S. 1977. Cadmium, lead, and zinc distributions and cycling in a mixed deciduous forest. Ambio 6: 281–286.

- VASANDER, H. & VÄHÄ-PIIKKIÖ, I. 1977. Korpi-
maannosten raskasmetallipitoisuuksista. In:
Raskasmetalliekologian kurssin tulomoniste,
ss. 9–15 (toim. Mäkinen, A. & Pakarinen,
P.), Helsingin yliopiston kasvitieteen
laitos, Helsinki.
- WRIGHT, J. R., LEVICK, R. & ATKINSON, H. J.

1955. Trace element distribution in virgin
profiles representing four great soil groups.
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 19: 340–344.
- VUORINEN, J. 1958. On the amounts of minor
elements in Finnish soils. J. Scient. Agric.
Soc. Finl. 30: 30–35.

SUMMARY:

TRACE ELEMENTS IN SOIL PROFILES OF PALUDIFIED SPRUCE FORESTS

Five southern Finnish Gleysol profiles with a thin peat layer (9–23 cm) were studied in forest sites dominated by Norway spruce (*Picea abies*). The horizon designations (Figs. 2–6) follow The System of Soil Classification for Canada 1974. The subsoils were tills, the average texture ranging from fine sands to (loamy) very fine sands.

The metals were analyzed by atomic absorption spectrometry after dry-ashing (4 h) at 450°C and digestion with conc. HCl on hot plate during ca. 30 min. The results (Figs. 2–6, Table 1) are means of duplicate samples and expressed on soil dry weight basis (ppm = mg/kg).

The maximum concentrations of lead, zinc and manganese occur regularly in organic surface

horizons with a decrease towards mineral soil horizons. Copper distribution is somewhat irregular. Iron shows an increase from organic to mineral horizons with maximum values in A-horizon in Rego Gleysols (Figs. 4–6) and in B-horizon in Fera Gleysols (podsol-gleys, Figs. 2–3).

The total amounts of metals in top soil (organic horizons L-F-H plus A-horizon) are given in Table 1. A preliminary comparison of metal pools in soil (root layer) with the annual atmospheric input shows that the role of atmospheric deposition is relatively greater in the case of Cu, Zn and Pb than for Fe or Mn.