

RAVINTEIDEN PIDÄTTYMINEN KOHOSOIDEN HAPETTOMIIN TURVEKERROKSIIN

ANAEROBIC PEAT AS A NUTRIENT SINK IN RAISED BOGS

1. JOHDANTO

Osa luonnontilaisen kohosuon tuottamasta kasvimassasta jää maatumatta ja lopulta kerrostuu yleensä rahkavaltaiseksi turpeeksi. Pitkän aikavälin keskimääräinen vuotuinen turvekertymä lienee Suomen ja Ruotsin olosuhteissa suuruusluokkaa 20—100 g kuiva-ainetta/m² (Malmer 1975, Pakarinen 1976, Tolonen 1977, 1979). Tämä turvemäärä jää suon hapettomiin, anaerobisiin kerroksiin ja sen mukana poistuu myös osa kasviravinteista ekologisesta kierrosta.

Vaikka ombrotrofisten soiden kemiallisia profiileja on julkaistu monissa tutkimuksissa (esim. Chapman 1964, Stewart & Robertson 1970, Sonesson 1970, Hvatum 1972, Largin ym. 1972, Sillanpää 1975) ei ravinteiden kerrostumislaskelmia ole tehty kuin muutamissa lähinnä typen määriä koskevilla töissä (Jørgensen 1927, Firbas 1952, Mattson & Koutler-Andersson 1955, Aletsee 1967). Tanskalaiselta Dravedin kohosuolta on myös esitetty tuloksia eräiden hivenaineiden kerrostumisesta viimeisen vuosituhaten aikana (Aaby & Jacobsen 1979). Viime vuosina on Skandinaviassa ja Englannissa pyritty arvioimaan kasviravinteiden ja muiden alkuaineiden liikkumista ja pidättymistä suoekosysteemeissä (esim. Malmer 1975, Clymo 1978, Damman 1978).

Suon yleisen ravinnetaseen kannalta alkuaineiden pitkän aikavälin kerrostuminen on olennainen prosessi, jonka suuruusluo-

kan määrittämiseksi tässä kirjoituksessa esitetään tuloksia eteläsuomalaisilta kohosoilta. Samalla pyritään vertailemaan toisiinsa, lähinnä typen ja fosforin osalta, turpeeseen pidättyviä ja toisaalta valumavesien mukana huuhtoutuvia ainemääriä.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

Kairauksia suoritettiin neljältä hyvin kehittyneeltä luonnontilaiselta kohosuolta: (1) Pyhtään Munasuo, (2) Lammin Kaurasensuo, (3) Nurmijärven Klaukkalansuo (= Isosuo), (4) Lopen Luutasuo. Turpeita kerättäessä on käytetty ns. venäläistä kairaa, jolla saadaan halkaisijaltaan 5 tai 10 cm:n suuruiset puolikaslieriön muotoiset tilavuusnäytteet. Kohteissa 1 ja 2 ovat kysymyksessä samat kairauspisteet, joista on julkaistu ¹⁴C-ajoituksia ja turpeen kasvunopeuksia (Tolonen & Ruuhijärvi 1976, Tolonen 1977). Klaukkalansuon kasvunopeus on määritetty siitepölyprofiilin perusteella (Tolonen 1971). Luutasuon ombrotrofisen kerroksen paksuus ja kasvunopeus on arvioitu Geologisen tutkimuslaitoksen arkistotiedoista (M. Mäkilä).

Ainekertymät (mg m⁻² v⁻¹) on laskettu kertomalla keskenään näytteen kuivatilavuuspaino (g/dm³), kasvunopeus (mm/v) ja alkuainepitoisuus (mg/g). Taulukossa 1 on esitetty näytesyvyudet, joista ilmenee, että tässä vaiheessa on rajoitettu niihin osiin turvepatsasta, joista kerrostumisnopeudet ovat olleet arvioitavissa. Tutkitut näytteet edustavat ombrotrofisia rahkaturpeita kerrostumien keskiosista, joihin aerobisen pin-

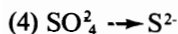
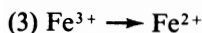
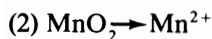
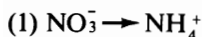
nan tai minerotrofisen pohjan häiriövaikutukset eivät ulotu. Näytteet ovat keskinertaisesti maatuneita ja tuhkapitoisuudeltaan alhaisia (< 1 %) edustaen aktiivisesti kasvanutta rahkasuota ilman merkittäviä stagnaatiovaiheita.

Kaikki kemialliset määritykset on tehty totaalianalyysinä tuhka- tai happopolttojen jälkeen. Pääravinteet (N, P, K) sekä rikki on määritetty Viljavuuspalvelu Oy:ssä (erikoistutkimukset/maist. L. Lappi), Ca, Mg ja hivenaineet (Cu, Zn, Fe, Mn, Pb) puolestaan Kasvitieteen laitoksen aaspektrometrillä (Varian Techtron) liekkimetelmää käyttäen (esikäsittely, ks. Pakarinen 1978, a, b). Mainituista alkuaineista lyijy (Pb) ei kuulu kasviraavinteisiin.

3. BIOGEOKEMIALLISTA TAUSTAA

Kasvimassan hajotustoiminta keskittyy aerobiseen pintaturvekerrokseen, jonka paksuus vaihtelee suotyypeittäin ja vuodenaikojen mukaan (Lähde 1971). Etelä-Suomen kohosoiden mätäsyhdyskunnissa keskimääräinen vesipinnan taso ja aerobisuusraja sijaitsevat yleisimmin 15–30 cm:n syvyydessä. Pintaturpeen alkuainepitoisuudet ovat useimpien aineitten suhteen korkeampia kuin syvempien hapettomien turvekerrosten. Tämä seikka voidaan tulkita seuraukseksi kasvien aktiivisesta ravinteiden otosta, esim. fosforin ja kaliumin osalta, mutta huomattava on myös eräiden hivenaineiden lisääntyneet laskeumat viime vuosikymmeninä (Pakarinen & Tolonen 1977).

Hapettavien ja pelkistävien olosuhteiden vaihtumisvyöhykkeessä tapahtuu joukko kemiallisia reaktioita, yleensä seuraavassa keskimääräisessä järjestyksessä redoks-potentiaalin aletessa (Armstrong 1975):



Happamilla turvemailla nitraatin merkitys on vähäinen (Rosswall & Granhall 1980), mutta raudan ja mangaanin pelkistyminen merkitsee näiden aineiden muuttumista helppoliukoiseen ja helpommin huuhtoutuvaan muotoon. Toisaalta ainakin rauta saattaa muodostaa verrattain pysyviä orgaanisia kelaatteja hapettomissakin oloissa.

Rikin pelkistyminen voi johtaa usein sulfidin reagoimiseen metalli-ionien kanssa. Saattaa esim. syntyä raskasmetallirikastumia (FeS, PbS, ZnS), jotka ilmenevät kemiallisissa profiileissa 20–50 cm:n syvyydessä (Damman 1978, Pakarinen ym. 1980). Rikkiä saattaa haihtua myös kaasumaisessa muodossa (H₂S), mutta tämän reaktion mikrobiologiset edellytykset happamilla kohosoilla (pH 3–4) lienevät heikkoja.

Kohosoiille on ominaista, että kerrostuvan rahkaturpeen kemiallisiin ominaisuuksiin ei vaikuta allaolevan kivennäismaan laatu eikä ravinnelisäyksiä tule myöskään ympäristön pinta- tai pohjavesien mukana muualle kuin minerotrofisiin laideosiin. Luonnollisesti koko suon pohjakerrostumat ovat niinkään minerotrofisia, mutta minikäänlaisia todisteita suon pohjasta kohti ombrotrofista pintaa tapahtuvasta kivennäisravinteiden liikkumisesta ei ole saatu, vaikka tämänsuuntaisia oletuksia on aika ajoin esitetty (Salmi 1967, Sillanpää 1975).

4. TURPEEN ALKUAINEPITOISUUDET

Tutkittujen rahkaturpeiden ravinnepitoisuudet (Taul. 2) ovat odotetusti erittäin alhaisia, verrattiinpa niitä samanlaisten soiden pintaturpeisiin (esim. Pakarinen & Tolonen 1977) tai minerotrofisten soiden syvempiin turpeisiin (Waren 1924, Karesniemi 1975). Eri alkuaineet käyttäytyvät kuitenkin eri tavoin ja tarkempi vertailu anaerobisen rahkaturpeen ja aerobisen pinnan (Sphagnum fuscum -sammalkerros, cf. Pakarinen 1978a,b) välillä osoittaa, että aineet voidaan ryhmitellä seuraavasti:

- kaliumin ja mangaanin pitoisuudet ovat vähenneet murto-osaan (alle 5 %) alkuperäisestä, mikä seikka viittaa näiden aineiden voimakkaaseen huuhtoutumiseen turpeesta
- kuparin, lyijyn ja sinkin pitoisuudet pinnassa ovat keskimäärin 3–5 -kertaiset, mikä voidaan ensisijaisesti tulkita seuraukseksi näiden raskasmetallien kohonneista laskeuma-arvoista viime vuosikymmeninä
- magnesiumin, raudan, kalsiumin ja fosforin pitoisuudet syvemmällä turpeessa ovat n. 1/2–2/3 pintakerroksen arvoista
- rahkaturpeen tyypipitoisuus on samaa suuruusluokkaa tai maatuneemmissa turpeissa korkeampikin kuin pinnan rahkasammalkerroksessa.

Yksittäisten näytteiden pitoisuudet vaih-

Taulukko 1. Tutkimusaineisto; n = näytteiden lukumäärä.

Table 1. Study material; n = number of samples.

Suo	Suon syvyys	Näytesyvyys	Ikä	Maat.aste	Tuhka	Kerrostu- minen	Kasvu- nopeus	n
Bog	Total depth	Sample depth	Age	von Post	Ash	OM rate	Peat growth	
	m	cm	BP yr	mean (range)	%	g m ⁻² yr ⁻¹	mm yr ⁻¹	
Pyhtää, Munasuo	6.7	135—195	400—930	4.8 (4—6)	0.51	48	1.11	4
Pyhtää, Munasuo	6.7	215—420	1100—2930	4.6 (4—6)	0.78	40	1.13	6
Lammi, Kaurastensuo	5.0	200—300	2700—4200	4.6 (4—5)	0.98	32	0.67	3
Nurmijärvi, Klaukkala	4.0	80—100	920—1150	4.4 (4—5)	0.59	58	0.87	4
Loppi, Luutasuo	6.5	80—100	800—1000	4.1 (3—5)	0.63	73	1.02	4

Taulukko 2. Keskimääräiset alkuainepitoisuudet (mg/g) ja pitkän aikavälin ainekertymät (mg m⁻² v⁻¹) eteläsuomalaisten kohosoiden syvemmissä rakkaturvekerroksissa (taul. 1:n aineisto). Lisäksi on ilmoitettu suohtaisten keskiarvojen vaihteluvälit.

Table 2. Mean concentrations (mg/g dry wt) and long-term accumulation rates (mg m⁻² yr⁻¹) of elements in ombrotrophic, anaerobic peat in southern Finnish raised bogs (material of Table 1). Ranges refer to site averages.

Alkuaine Element	Pitoisuudet Concentrations		Ainekertymät Accumulation rates	
	Keskiarvo Mean	Vaihteluväli Range	Keskiarvo Mean	Vaihteluväli Range
Typpi (N)	7.20	5.35—8.80	359	214—551
Kalsium (Ca)	1.14	0.63—1.90	51.7	36.8—76.0
Rikki (S)	0.68	0.46—0.98	36.7	16.0—71.2
Magnesium (Mg)	0.46	0.35—0.64	22.7	11.1—29.2
Rauta (Fe)	0.38	0.16—0.69	16.4	9.1—22.6
Fosfori (P)	0.16	0.14—0.19	8.2	4.8—13.9
Kalium (K)	0.10	0.07—0.13	5.2	2.9—9.5
Sinkki (Zn)	0.0085	0.0052—0.0118	0.58	0.30—0.86
Lyijy (Pb)	0.006	0.0038—0.0083	0.33	0.12—0.61
Mangaani (Mn)	0.0057	0.0026—0.0085	0.26	0.15—0.34
Kupari (Cu)	0.0013	0.0006—0.0025	0.06	0.04—0.08

televat laajemmissa rajoissa kuin Taulukon 2 suohtaisten keskiarvojen vaihteluväli osoittaa. Sinkin osalta todettakoon vielä, että pienemmän venäläisen kairan materiaalista johtuvan kontaminaation vuoksi ei kahden tutkimuskohteen (Kaurastensuo, Munasuo) sinkkipitoisuuksia ole otettu tilastolliseen käsittelyyn mukaan.

5. AINEKERTYMÄT JA HUUHTOUTUMIS- KYSYMYKSET

Julkaistua vertailumateriaalia taulukon 2 kerrostumisarvioihin on olemassa varsin vähän. Typen vuotuinen kerrostumisnopeus eli sitoutuminen kohosuoturpeeseen (359 mg/m² = 3.6 kg/ha) on jonkin verran alhaisempi kuin Ruotsista (360–530 mg/m²), Tanskasta (460–790 mg/m²) tai Saksasta (880 mg/m²) saadut arviot vastaavanlaisista ombrotrofisista turpeista (Mattson & Koutler-Andersson 1955, Jörgensen 1927, Aletsee 1967). On ilmeistä, että typen suhteen on selviä alueellisia eroja, mutta jatkokatkimuksissa on vielä tarkemmin selvittävä sekä soiden välistä että ajallista vaihtelua typen kerrostumisnopeuksissa.

Myös hivenaineiden (raskasmetallien) kerrostumisessa turpeeseen on odotettavissa huomattaviakin ajallisia ja alueellisia vaihteluita (Aaby & Jacobsen 1979, Pakarinen ym. 1980).

Turpeeseen sitoutuvien ravinnemäärien arviointi pinta-ala- ja aikayksikköä kohti (mg m⁻²v⁻¹) mahdollistaa alustavan vertailun eräiltä valuma-alueilta saatuihin huuhtoutuma-arvoihin. Sopivia vertailukohteita ovat nimenomaan pienet valuma-alueet, joilla esiintyy huomattavassa määrin rakkasaita ja joilla lisäksi ihmisen vaikutus on vähäinen. Vesihallituksen valuma-alueverkosta (Kauppi 1979) voidaan poimia kolme tällaista kohdetta: Vihti/Teeressuonoja, Orivesi/Paunulanpuro ja Ikaalinen/Katajalauma. Näiden valuma-alueiden typpihuuhtoutuma on keskimäärin 217 kg km⁻² a⁻¹ (= mg m⁻² v⁻¹) ja fosforihuuhtoutuma 8.3 mg m⁻² v⁻¹. Minnesotasta kahdelta täysin luonnontilaiselta kohosuolta saadut vastaavat huuhtoutuma-arvot ovat samaa suuruusluokkaa (N: 194 mg/m², P: 8 mg/m², ks. Verry 1975). Vertailu taulukon 2 ainekertymiin osoittaa, että huuhtoutuva fosforimäärä vastaa suuruusluokaltaan om-

brotrofiseen suohon vuosittain jääviä aine-
määriä, mutta sen sijaan tyyppä jää suon
turvekerrokseen suhteellisesti enemmän.
Muiden alkuaineiden huuhtoutuma-arvoja
luonnontilaisilta rahkasuoalueilta ei toistai-
seksi ole käytettävissä: toivottavaa olisi, et-

tä jatkossa otettaisiin valuma-alueutkimuk-
sissa huomioon myös hivenaineet. Luotet-
tavat vertailut ja ravinnetaselaskelmat edel-
lyttävät joka tapauksessa varsin pitkäaikai-
sia havaintojaksoja.

KIRJALLISUUS

- Aaby, B. & Jacobsen, J. 1979: Changes in biotic conditions and metal deposition in the last millenium as reflected in ombrotrophic peat in Draved Mose, Denmark. — Danm. geol. Unders., Årbog 1978, pp. 5—43. København.
- Aletsee, L. 1967: Begriffliche und floristische Grundlagen zu einer pflanzengeographischen Analyse der europäischen Regenwassermoorstandorte. — Beitr. Biol. Pflanzen 43: 117—283.
- Armstrong, W. 1975: Waterlogged soils. — In: Etherington, J. R., Environment and plant ecology, pp. 181—218. London.
- Chapman, S. B. 1964: The ecology of Coom Rigg Moss, Northumberland. II. The chemistry of peat profiles and the development of the bog system. — J. Ecol. 52: 315—321.
- Clymo, R. S. 1978: A model of peat bog growth. — In: Heal, O. W. & Perkins, D. F. (eds.), Ecological Studies 27: 187—223.
- Damman, A. W. H. 1978: Distribution and movement of elements in ombrotrophic peat bogs. — Oikos 30: 480—495.
- Firbas, F. 1952: Einige Berechnungen über die Ernährung der Hochmoore. — Veröff. d. Geobot. Inst. Rübel. Zürich 25: 177—200.
- Hvatum, O. Ø. 1972: Fordeling av bly og en del andre tungmetaller i ombrogen torv. — Norw. Jordungers. Saertrykk 175: 59—70.
- Jørgensen, C. A. 1927: Kvalstofproblemet paa Maglemose og andre højmoser. — Bot. Tidskr. 39: 463—487.
- Karesniemi, K. 1975: Kemihaaran altaan suo- ja turvetutkimus. — Vesihallitus, Tiedotus 86: 1—138. Helsinki.
- Kauppi, L. 1979: Effect of drainage basin characteristics on the diffuse load of phosphorus and nitrogen. — Publ. Water Res. Inst., Helsinki, 30: 21—41.
- Lähde, E. 1971: Anaerobisten olosuhteiden ja aerobisuusrajan esiintymisestä erilaisilla luonnontilaisilla turvemaidilla ja merkityksestä suotyypin kuvaajana. — Silva Fennica 5 (1): 36—48.
- Largin, I.F., Priemskaya, S. E., Sventikhovskaya, A. N. & Tyuremnov, S. N. 1972: Microelements content and distribution in peat deposits. — Proc. 4th Int. Peat Congress, Finland, Vol. 4: 77—86.
- Malmer, N. 1975: Development of bog mires. — In: Hasler, A. D. (ed.), Coupling of land and water systems. Ecological Studies 10: 85—92. Berlin-Heidelberg-New York.
- Mattson, S. & Koutler-Andersson, E. 1955: Geochemistry of a raised bog. — Kungl. Lantbrukshögsk. Ann. 21: 321—366.
- Pakarinen, P. 1976: Bogs as peat-producing ecosystems. — Bulletin of the Int. Peat Soc. 7: 51—54.
- Pakarinen, P. 1978a: Production and nutrient ecology of three Sphagnum species in southern Finnish raised bogs. — Ann. Bot. Fennici 15: 15—26.
- Pakarinen, P. 1978b: Distribution of heavy metals in the Sphagnum layer of bog hummocks and hollows. — Ann. Bot. Fennici 15: 287—292.
- Pakarinen, P. & Tolonen, K. 1977: Pääravinteiden sekä sinkin ja lyijyn vertikaalijakautumista rahkatuopeissa. — Suo 28 (4—5): 95—102.
- Pakarinen, P., Tolonen, K. & Soveri, J. 1980: Distribution of trace metals and sulfur in the surface peat of Finnish raised bogs. — Proc. 6th International Peat Congress, August 17—23, 1980, Duluth (in press).
- Rosswall, T. & Granhall, U. 1980: Nitrogen cycling in a subarctic ombrotrophic mire. — Ecol. Bull. (Stockholm) 30: 209—234.
- Salmi, M. 1967: Peat in prospecting: Applications in Finland. — In: Kvalheim, A. (ed.), Geochemical prospecting in Fennoscandia, pp. 113—126. London.
- Sillanpää, M. 1975: Hivenaineet suoprofiilissa. — Suo 26 (5): 83—86.
- Sonesson, M. 1970: Studies on mire vegetation in the Torneträsk area, northern Sweden. IV. Some habitat conditions of the poor mires. — Bot. Not. 123: 67—111.
- Stewart, J. M. & Robertson, R. A. 1970: The chemical status of an exposed peat face. — Proc. 3rd Int. Peat Congress, Montreal 1968, pp. 190—194.
- Tolonen, K. 1971: On the regeneration of north-european bogs. I. Klaukkalan Isosuo in South Finland. — Acta Agr. Fenn. 43: 143—166.
- Tolonen, K. 1977: Turvekertymistä ja turpeen tilavuuspainoista kolmessa etelä-suomalaisessa keidasuossa. — Suo 28 (1): 1—8.

- Tolonen, K. 1979: Peat as a renewable resource: long-term accumulation rates in northeuropean mires. — Proc. Int. Symp. on Classification of Peat and Peatlands, Finland, Sept. 17–21, 1979, pp. 282–296.
- Tolonen, K. & Ruuhijärvi, R. 1976: Standard pollen diagrams from the Salpausselkä region of southern Finland. — Ann. Bot. Fenn. 13: 155–196.
- Warén, H. 1924: Untersuchungen über die botanische Entwicklung der Moore mit Berücksichtigung der chemischen Zusammensetzung der Torfes. — Wissenschaft. Veröffentl. des Finn. Moorkulturvereins 5: 1–95.
- Verry, E. S. 1975: Streamflow chemistry and nutrient yields from upland-peatland watersheds in Minnesota. — Ecol. 56: 1149–1157.

ANAEROBIC PEAT AS A NUTRIENT SINK IN RAISED BOGS

Chemical analyses of anaerobic ombrotrophic *Sphagnum* peats are presented from four southern Finnish raised bogs. Some characteristics of the study sites and samples are outlined in Table 1.

Ranking of the elemental concentrations in Table 2 indicates that among the "trace metals", iron (380 ppm = 0.38 mg/g of dry peat) shows a greater mean concentration in deep ombrotrophic peat layers than the "macronutrients" phosphorus (160 ppm) and potassium (100 ppm). The lowest averages were found for zinc (8.5 ppm), lead (6.0 ppm), manganese (5.7 ppm) and copper (1.3 ppm).

Estimates of long-term accumulation rates of elements in peat (Table 2) are based on volume samples from radiocarbon or pollen-dated profiles (cf. Tolonen 1971, 1977). The average rate of nitrogen accumulation (3.6 kg ha⁻¹yr⁻¹) appears to be somewhat lower than the corresponding values from Denmark (Jørgensen 1927), Sweden (Mattson & Koutler-Andersson 1955) and Germany (Aletsee 1967). A tentative comparison to watershed studies (Verry 1975, Kauppi 1979) suggests that roughly equal amounts of phosphorus are accumulated by ombrotrophic peat and lost by runoff waters, while in the case of nitrogen the retention by peat is relatively greater.

The mean rate of past peat accumulation

in the study material (50 g m⁻² yr⁻¹, cf. Table 1) is approximately 1/4 of the current mean annual production of *Sphagnum fuscum* (195 g m⁻² yr⁻¹, cf. Pakarinen 1978a) in the same area. A similar comparison of the past accumulation rates of chemical elements (Table 2) with the current retention (consumption) rates by the living moss layer (Pakarinen 1978a,b) gives the following order of elements (peat/moss % ratio in parentheses): N(26.4) > Mg(16.7) > Fe(14.5) > Ca(14.4) > P(11.9) > Zn(8.1) > Pb(7.2) > Cu(5.0) > Mn(0.8) > K(0.6). This comparison suggests that manganese and potassium are to a great extent depleted from peat (by recycling or leaching), while nitrogen is accumulated at about the same relative rate as organic matter. The relatively low percentage values of some elements (Zn, Pb, Cu) probably indicate an increase in atmospheric metal deposition in this century (cf. Aaby & Jacobsen 1979). Detailed budget calculations may not be possible, because no direct information is available on the atmospheric fallout or on the leaching rates 1000 or 2000 years ago. In any case it appears that on annual basis the past accumulation rates of chemical elements (exc. N) in ombrotrophic bogs are quite small.

This study has been supported by the Natural Science Research Council, Academy of Finland (macronutrients) and by the Nessling Foundation (trace elements).