

JOUKO SILVOLA

## OJITUKSEN JA LANNOITUKSEN VAIKUTUS TURPEEN HIILEN VAPAUTUMISEEN JA RAVINTEIDEN MINERALISOITUMISEEN

Effect of drainage and fertilization on carbon output and nutrient mineralization of peat

Silvola, J. 1988: Ojituksen ja lannoituksen vaikutus turpeen hiilen vapautumiseen ja ravinteiden mineralisoitumiseen. (Effect of drainage and fertilization on carbon output and nutrient mineralization of peat).— Suo 39: 27-37. Helsinki. ISSN 0039-5471

Carbon dioxide production increased to 2-3 fold from the peat of an oligotrophic sedge pine mire (VSR) after draining had lowered the water table to a depth c. 0.5 m. At two other sites, a mesotrophic sedge pine mire (RhSR) and a spruce swamp (MK), both the fall in the groundwater table and the increase in CO<sub>2</sub> production were smaller. At the VSR site, the fast-dissolving PK fertilizer and urea each caused a rapid increase while the slow-dissolving PK fertilizer a slow increase in soil respiration. The greatest, steady increase was achieved by treatment with wood ash. At RhSR and MK sites, the use of fertilizers generally led to a decline in soil respiration for 1-2 years, after which the initial level was normally regained. According to a simulation of the CO<sub>2</sub> production after drainage, the annual decomposition of peat was calculated to be c. 1 000 g (organic matter) m<sup>-2</sup> in the VSR site. On the basis of this decomposition rate, the annual amount of nitrogen mineralized was estimated to be c. 100 kg ha<sup>-1</sup> and that of phosphorus c. 5 kg ha<sup>-1</sup>. Peat contains only a small amount of potassium, and the decomposition of old peat layers increases the amount of soluble potassium in peat very little.

Keywords: Carbon balance, drainage, fertilization, nutrient mineralization, peat decomposition

*J. Silvola, Department of Biology, University of Joensuu, P.O. Box 111, SF-80101 Joensuu, Finland*

### JOHDANTO

Ojituksen jälkeen suo ei enää ekosysteeminä ole suo, sillä suolle tyypillistä ilmiötä, orgaanisen aineen kertymistä ei tapahdu. Turpeen tärkeimmän rakennusaineen, hiilen nettovirtaus on kääntynyt takaisin ilmaan, mistä se vuosituhansien aikana turpeeseen on sitoutunut. Vanhoilla suo-pelloilla, varsinkin Keski-Euroopassa alkavat aurat jo monin paikoin ulottua ki-vennäismaahan, ja vanhemmat ihmiset muistavat pellon pinnan olleen ennen kor-

keammalla. Keski-Euroopassa suopeltojen vuotuisen turpeen häviön on todettu olevan pellon käyttömuodosta riippuen yhdestä sentistä ylöspäin (McGreevy ja Farrell 1984). Myös Suomesta on todettu samansuuntaisia havaintoja (Urvas 1985). Vaikka luonnontilaiset suot ovat usein karuja kasvupaikkoja, on aikojen kuluessa turpeeseen kertynyt suuret määrät kasviravinteita. Kun kuivatettua suota käytetään maa- ja metsätaloudessa, olisi tärkeätä tietää, millainen hajotusnopeus tuottaisi

sopivasti ravinteita kasvillisuuden käyttöön.

Vilkas hajotustoiminta on edullista ravinteiden saannin kannalta. Toisaalta on syytä muistaa, että kun me ojittamalla ja lannoittamalla vilkastutamme turpeen hajotustoimintaa, me olemme käsittelemässä hiilivarastoa, joka on samaa suuruusluokkaa kuin trooppiset sademetsät (Woodwell ym. 1978, Bolin ym. 1979, Clymo 1984). Vaikka maapallon soista on ojitettu vajaa 5%, on arvioitu, että näillä kuivatuksilla on ollut pinta-alaan suhteutettuna ilmakehän hiilidioksidin kannalta tähän mennessä samanlainen kuormitus kuin sademetsien hävittämisellä (Armentano ja Menges 1986).

Tämä kirjoitus pohjautuu pääosin Ilo-mantsin Ahvensalossa vuosina 1979–1982 tehtyihin tutkimuksiin, joissa neljän vuoden ajan seurattiin ojituksen ja erilaisten lannoituskäsittelyjen vaikutusta turpeen hiilidioksidin tuottoon (ns. maahengitys) kolmella erityyppisellä suokoealalla. Samaan aikaan koealoilla tehtiin myös muita tutkimuksia koskien mm. pintakasvillisuuden lajiston, biomassan, tuotoksen ja ravinnepitoisuuksien muutoksia sekä turpeen ja valumavesien ravinnepitoisuuksia. Metsäntutkimuslaitos on myöhemmin mitannut koealojen puuston kasvua ja ravinteiden ottoa. Ahvensalon koealueilla tehtyjen tutkimuksien yleisen kuvauksen on esittänyt Pasanen (1980), ja turpeen CO<sub>2</sub>-tuottomittaukset ovat tarkemmin kuvanneet Silvola ym. (1985).

## KOEALUEET

Tutkimusalue sijaitsee Ilo-mantsin Ahvensalossa Piitonsuon pohjoislaidalla. Alueella oli 40–50 vuotta sitten tehty joitakin ojituksia, joten ne eivät tutkimuksen alkuaikanaan olleet enää luonnontilaisia. Koealueina oli kolme erilaista biotooppia. Alkuperältään lähinnä sararämettä olevalla alueella turpeen paksuus oli 1,5–2 m. Vanhat ojat olivat pitkälti umpeen kasvaneet ja vesipinta oli kokeen alussa lähes

turpeen pinnassa. Pintakasvillisuus oli vanhojen ojitusten vuoksi muuttunut tupasvillavaltaiseksi. Toinen koealue oli alunperin ollut ilmeisesti lähinnä ruohoista sararämettä ja kolmas mustikkakorpea. Turpeen paksuus oli ruohoisella sararämeellä n. 1 m ja korvessa n. 0,5 m. Pohjaveden syvyys oli näillä kahdella alueella ennen täydennysojitusta 10–30 cm.

Ennen tutkimuksen alkua keväällä 1979 koeruutujen puusto harvennettiin siten, että sararämeelle jäi puuta n. 70, ruohoiselle sararämeelle n. 100 ja korpeen n. 160 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Ensimmäisen mittauskierroksen jälkeen kesällä 1979 koealueet ojitettiin siten, että muodostui eri tavoin lannoitettavia koeruutuja kooltaan n. 1 000 m<sup>2</sup>. Toisen mittauskierroksen jälkeen, syksyllä 1979 tai keväällä 1980 ruudut lannoitettiin käyttäen kuutta erilaista lannoitustapaa. Käytetyt lannoitteet olivat hidasliukoinen ja nopealiukoinen PK, kaksi NPK lannoitetta, joista toisessa oli typen lähteenä urea ja toisessa Nitroform, puuntuha, sekä hidasliukoinen NPK lannoite, johon oli lisätty hivenseos. Koealueet ja lannoituskäsittelyt ovat tarkemmin kuvanneet Silvola ym. (1985).

## MITTAUKSET

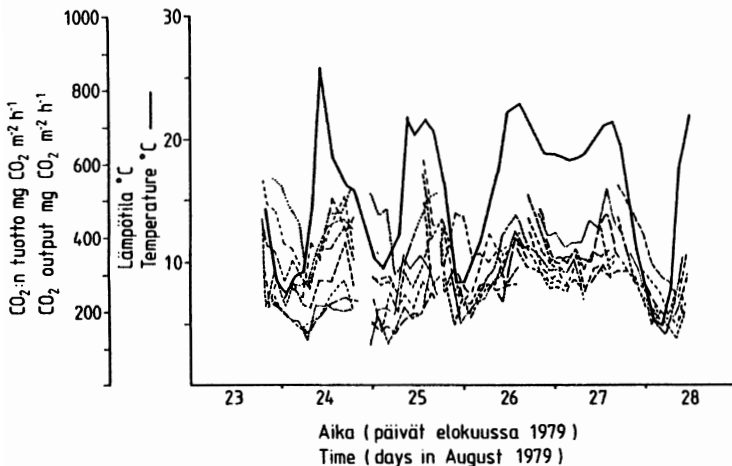
Turpeen CO<sub>2</sub>-tuotto mitattiin infrapuna-kaasuanalysaattorilla, joka oli kytketty tietojenkeruujärjestelmään. Käytetyssä mittausmenetelmässä pleksinen kammio painautui maata vasten mittausajaksi. Kammiin johdettiin ilmaa sekä imettiin saman verran näyteilmaa analysaattorille. Näyteilman CO<sub>2</sub>-pitoisuuden kohoamisesta laskettiin turpeesta näytealaa kohti vapautunut hiilidioksidin määrä. Hiilidioksidin tuottoa mitattiin neljänä vuonna kaksi kertaa kesässä noin kahden viikon ajan kunkin biotoopin eri ruuduilla. Kutakin kaasunvaihtokammion kokoista pinta-ala (283 cm<sup>2</sup>) mitattiin 1–2 vuorokautta noin 1,5 tunnin välein. Kaikkiaan mitattavia näytealoja neljän vuoden aikana kertyi yli tuhat ja koko aineisto käsittää noin 25 000

yksittäistä maahengitysmittausta. Näin suurella näytemäärällä pystyttiin luotettavasti osoittamaan CO<sub>2</sub>-tuoton kehitys ja siinä tapahtuvat erot eri käsittelyn saaneilla ruuduilla. Koealueet oli subjektiivisesti valittu edustamaan tiettyjä suotyyppisiä (muuttumia), ja kunkin alueen sisällä arvottiin ruutujen lannoitekäsittelyt. Siitä, miten hyvin ruudut näitä suotyyppisiä edustavat, ei pystytä tilastollisesti arvioimaan, sillä mittauksissa kunkin alueen kutakin lannoitekäsittelyä edusti vain yksi, noin 1 000 m<sup>2</sup>:n suuruinen ruutu.

Maastossa tehtyjä mittauksia täydennettiin laboratoriossa, missä samoilta koealoilta tuotujen turvenäytteiden CO<sub>2</sub>-tuoto mitattiin eri lämpötiloissa.

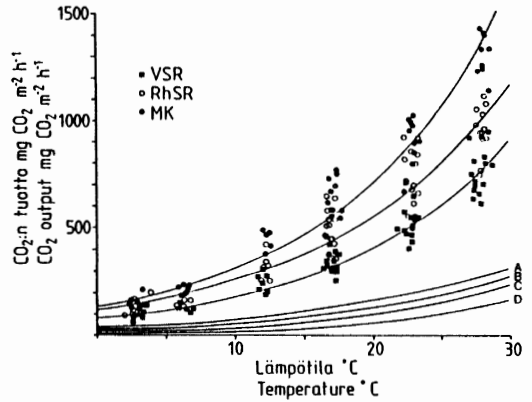
LÄMPÖTILAN VAIKUTUS TURPEEN HIILIDIOKSIDIN TUOTTOON

Turpeen CO<sub>2</sub>-tuotto vaihteli yleensä välillä 100–500 mg CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>. Hajonta oli yleensä melko suurta, mutta yksittäisten näytteiden CO<sub>2</sub>-tuottoa seuraamalla voitiin todeta, että vaihtelut seurasivat vaihteluita lämpötilassa, tosin noin kolmen tunnin viiveellä (kuva 1). Myös laboratoriomittauksissa voitiin todeta CO<sub>2</sub>-tuoton selvä lämpötilariippuvuus (kuva 2). Parhaan selvityskertoimen lämpötilariippuvuudelle antoi regressio:  $y = a \cdot e^{bx}$ .



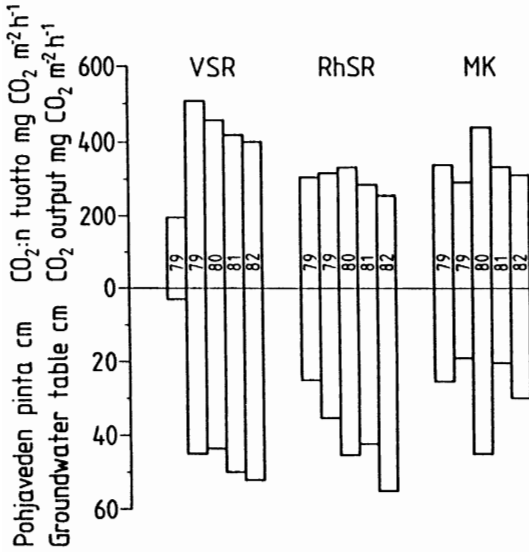
Kuva 1. Esimerkki kuuden päivän jakson maahengitysmittauksistaruo-  
hoisella sararämeellä. Katkokset viivalla johtuvat mittaustauosta tai mittauspaikan vaihdosta. Lämpötilat ovat ilmasta aivan maan pinnasta.

Fig. 1. Example of respiration measurements during 6 days from the mesotrophic sedge pine mire. The interruptions in lines represent pauses in the measurements or changes of experimental places. Ground surface temperature indicated by thick bold line.



Kuva 2. Laboratoriomittauksissa eri lämpötiloissa saatuja maahengitystuloksia näytteistä, jotka oli tuotu Ahvensalon koealueen eri biotoopeilta 1–2 kuukautta ojituksen jälkeen ennen lannoitusta. Vertailun vuoksi esitetään hengityskäyrät myös näytteille, jotka ovat peräisin erilaisilta luonnontilaisilta soilta. A = rahkaräme (Lammin Kaurastensuo), B = rahkamätäs kalvakkanevalla (Ilomantsin Salmisuo), C = rahkaräme (Ilomantsin Ahvensalo), D = *S. papillosum* pinta kalvakkanevalla (Ilomantsin Salmisuo).

Fig. 2. Soil respiration measured in the laboratory at various temperatures using samples from different mire sites taken 1–2 months after drainage but before the fertilization. Regression curves for samples from some mires in the natural state are included for comparison. A = *Sphagnum fuscum* pine bog (Kaurastensuo in Lammi), B = *Sphagnum fuscum* hummock on a *S. papillosum* fen (Salmisuo in Ilomantsi), C = *S. fuscum* pine bog (Ahvensalo in Ilomantsi), D = *S. papillosum* surface on a *S. papillosum* fen (Salmisuo in Ilomantsi).

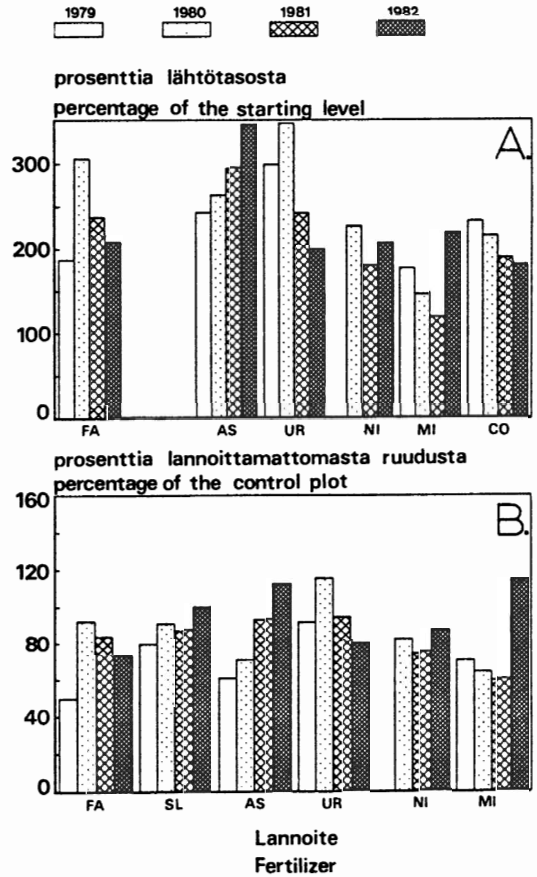


Kuva 3. Regressioiden avulla +15°C:een sovitettu CO<sub>2</sub>:n tuotto ja pohjaveden syvyys vastaavalla mittausjaksolla Ahvensalon koalueen eri biotooppien lannoittamattomilla ruuduilla neljän vuoden aikana. Ojitus tapahtui vuoden 1979 kahden mittausjakson välissä. VSR = sararäme, RhSR = ruohoinen sararäme, MK = mustikkakorpi.

Fig. 3. The CO<sub>2</sub>-production from peat adjusted to 15°C and the depth to groundwater table during the measuring period in the non-fertilized plots of different mire sites at Ahvensalo during four years. The sites were drained between two measuring periods of 1979. VSR = oligotrophic sedge pine mire, RhSR = mesotrophic sedge pine mire, MK = Vaccinium myrtillus spruce swamp.

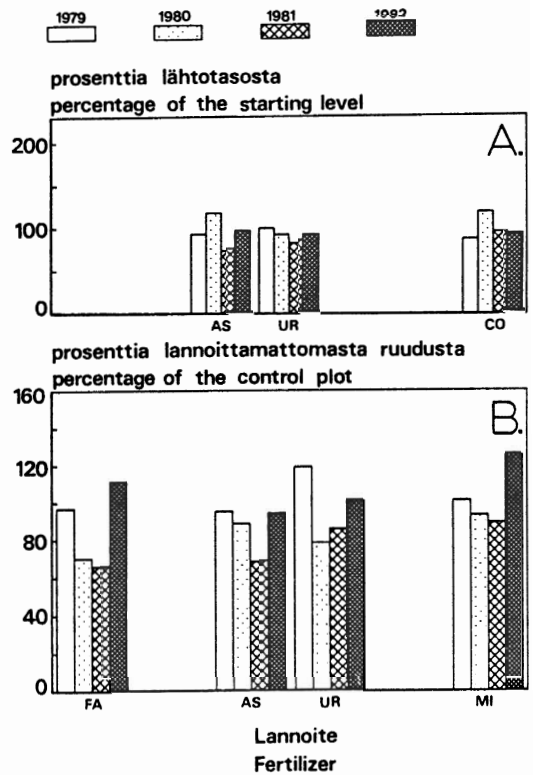
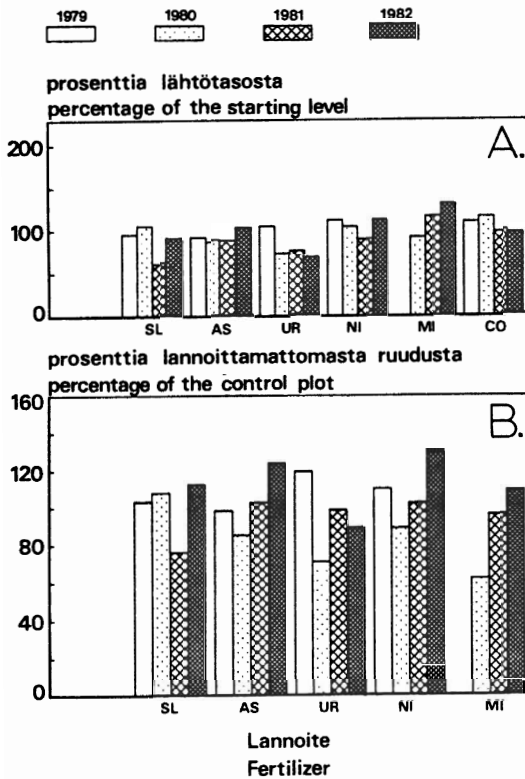
### OJITUKSEN VAIKUTUS

Sekä alkuperäinen vedenpinnan taso että ojituksen vaikutus olivat erilaisia eri suo-koaloilla. Sararämeellä ojat olivat pitkälti umpeen kasvaneet ja niinpä ennen ojitusta vesipinta oli lähes suonpinnan tasalla. Ruohoisella sararämeellä vesipinta oli 20–30 cm ja korvessa 10–20 cm pinnasta. Ojituksen jälkeen sararämeellä vesipinta laski nopeasti n. 0,5 metriin ja pysytteli tämän jälkeen koko tutkimusajan enimmäkseen 30:stä 60:een cm pinnasta. Ruohoisella sararämeellä vesipinta laski vain 10–15 cm. Myös korvessa vesipinnan lasku oli vähäinen, joskin tälle alueelle olivat tyypillisiä huomattavat vesipinnan vaihtelut.



Kuva 4. Eri lannoitteilla käsiteltyjen ruutujen maa-hengityksen kehitys suhteessa lähtötilanteeseen (A) ja lannoittamattomaan ruutuun (B) sararämeellä. Ylemmässä kuvassa kullakin ruudulla 100% on tilanne ennen ojitusta ja alemmassa kuvassa 100% on lannoittamattoman ruudun maa-hengitys kunakin vuonna. Prosenttiluvut perustuvat hengitysarvoihin, jotka on saatu suhteuttamalla hengitystulokset testiryhmän keskiarvolämpötilaan. Käytetyt lyhenteet: FA – nopealiukoinen PK, SL – hidasliukoinen PK, AS – tuhka, UR – hidasliukoinen PK + urea, NI – hidasliukoinen PK + Nitroform, MI – hidasliukoinen PK + urea + hivenaineseos, CO – lannoittamaton.

Fig. 4. Trends in soil respiration in plots receiving different fertilizers in oligotrophic sedge pine mire. A: Values are percentages of pre-drainage levels. B: Values are percentages of the unfertilized plot in each year. Respiration values were first adjusted to mean temperature for each test group. The abbreviations of the fertilizers: FA – fast-dissolving PK, SL – slow-dissolving PK, AS – ash, UR – slow-dissolving PK + urea, NI – slow-dissolving PK + Nitroform, MI – slow-dissolving PK + urea + micro-element mixture, CO – non-fertilized.



Kuva 5. Eri lannoitteilla käsiteltyjen ruutujen maahengityksen kehitys suhteessa lähtötilanteeseen (A) ja lannoittamattomaan ruutuun (B) ruohoisella sararämeellä. Tarkempi selitys kuvassa 4.

Fig. 5. Trends in soil respiration in plots receiving different fertilizers in mesotrophic sedge pine mire evaluated in relation to the initial situation (A) and the non-fertilized plot (B). For further explanation, see Fig. 4.

Kuva 6. Eri lannoitteilla käsiteltyjen ruutujen maahengityksen kehitys suhteessa lähtötilanteeseen (A) ja lannoittamattomaan ruutuun (B) korvessa. Tarkempi selitys kuvassa 4.

Fig. 6. Trends in soil respiration in plots receiving different fertilizers in spruce swamp evaluated in relation to the initial situation (A) and the non-fertilized plot (B). For further explanation, see Fig. 4.

Ojitus sai aikaan sararämeellä muutamassa viikossa CO<sub>2</sub>-tuoton kasvun 2-3 kertaiseksi. Sen sijaan kahdella muulla alueella täydennysojituksen vaikutus maahengitykseen oli vähäinen. Pelkkä ojitus näyttää kuitenkin antavan sararämeellä vain lyhytaikaisen voimakkaan huipun. Ojitusta seuranneina vuosina maahengitys jatkuvasti laski ja näyttää siltä, että se muutaman vuoden kuluttua saavuttaa sen tason, missä kahden muun koalueen hiilidioksidin tuotto oli jo ennestään, ilmeisesti aikaisemmista ojituksista johtuen. Tosin tämäkin ylittää huomattavasti ojitusta edeltävän tason (kuva 3).

### LANNOITUKSEN VAIKUTUS

Koska yksittäiset maahengitysmittaukset tapahtuivat useinkin eri lämpötiloissa, tulosten käsittelyssä kovarianssianalyysin avulla vertailtavina olevien ryhmien maahengitystulokset suhteutettiin ryhmän yhteiseen keskiarvolämpötilaan. Näin verrattiin kullakin alueella eri käsittelyn saaneilta ruuduilta eri vuosien hengitystuloksia suhteessa lähtötasoon. Toisaalta verrattiin eri ruutujen CO<sub>2</sub>-tuoton kehitystä eri vuosina suhteessa tuloksiin käsittelemättömiltä kontrolliruuduilta (kuvat 4, 5 ja 6).

Kuten edellä todettiin, pelkkä ojitus sai

sararämeellä aikaan huomattavan lisäyksen CO<sub>2</sub>-tuottoon. Nopealiukoiset lannoitteet lisäsivät maahengitystä lannoitusta seuraavana vuonna vielä huomattavasti, mutta tämän jälkeen hengityksen aleneminen näillä ruuduilla oli nopeampaa kuin kontrolliruuduilla. Hidasliukoisilla ravinteilla oli sararämeellä vähäinen CO<sub>2</sub>-tuottoa lisäävä vaikutus. Hivenlannoitus aluksi alensi CO<sub>2</sub>-tuottoa, mutta kolmantena vuonna se sai aikaan huomattavan lisäyksen. Voimakkain, koko tutkimusjakson kestävä CO<sub>2</sub>-tuottoa lisäävä vaikutus oli tuhkalannoituksella.

Ruohoisella sararämeellä lannoituksen vaikutukset olivat melko vähäisiä. Tyypillistä oli, että lannoitus aiheutti 1–2 vuotta kestäväen alenemisen hengityksessä, mikä yleensä kolmantena tai neljäntenä vuotena palautui. Hidasliukoisten ravinteiden kohdalla neljäntenä vuonna yleensä ylitettiin lähtötaso.

Korvessa edellä todettu ilmiö oli voimakkaampi. Lannoitteet saivat aikaan selvän alenemisen CO<sub>2</sub>-tuotossa, mikä kolmantena tai neljäntenä vuonna yleensä palautui. Selvin palautuminen tapahtui hivenaineruudulla, joka korvessa kuten kaikilla muillakin koealoilla saavutti huipunsa 1–2 vuotta kestäneen laskuvaiheen jälkeen. Hivenaineseoksen aikaansaama aleneminen CO<sub>2</sub>-tuotossa saattoi johtua seoksen suhteellisen suuresta kuparipitoisuudesta, sillä melko pientenkin kuparipitoisuuksien on todettu alentavan mikrobiotoimintaa (Tyler 1974, Mathur ja Rayment 1977, Schinner ym. 1980).

Näyttää siis siltä, että lannoituksen vaikutus turpeen CO<sub>2</sub>-tuottoon riippuu ratkaisevasti suon ravinteisuudesta ja toisaalta ojituksen aiheuttamasta vesipinnan laskusta. Tulokset sopivat hyvin yhteen sen kanssa, mitä on esitetty hiili- tai ravinne-rajotteisesta mikrobiotoiminnasta. Sararämeellä vedenpinnan laskun jälkeen tuli hajotustoiminnan piiriin runsaasti uutta materiaalia. Tällöin ilmeni ravinteiden puute, jota annetut lannoitteet korvasivat. Ruohoisella sararämeellä ja erityisesti

korvessa lannoitus näytti vain häiritsevän hajotustoimintaa. Ravinteet eivät siis ole rajoittavana tekijänä, vaan ilmeisesti hiilen (energian) saanti pitemmälle hajonneesta materiaalista. Tähän viittaavat vastaavat tutkimukset, missä ravinteita lisäämättä pelkkä helposti hajoavien hiiliyhdisteiden antaminen on lisännyt huomattavasti hajotustoimintaa (Salonius 1972, Bååth ym. 1978).

## MAAHENGITYSTULOSTEN KYTKENTÄ ERI AINEIDEN KIERTOON

Johtopäätösten teko eri aineiden kierrosta tai ravinteiden mineralisaatiosta maahengityksen pohjalta ei ole läheskään ongelmatonta. CO<sub>2</sub>-tuottotulosten ja ympäristötekijöiden mittaamisen pohjalta simuloiden voidaan kohtalaisella tarkkuudella laskea tietyssä aikana suosta poistuvan hiilen määrä (Silvola ja Hanski 1979, Silvola 1986). Turpeen hajoamisen laskemisessa tällä tavalla on kuitenkin epävarmuustekijänä mm. juuriston respiraatio, minkä osuudesta arviot vaihtelevat hyvinkin paljon. Vuotuista budjettia rakennettaessa epävarmuutta aiheuttaa vähäinen, mutta pitkäaikainen talvinen hajotustoiminta, jonka mittaaminen on yleensä ollut puutteellista. Simuloitujen hiilivirtojen, turpeen ravinnepitoisuuksien ja niissä tapahtuvien muutosten pohjalta voidaan tietyin rajoituksin tehdä arvioita ravinteiden mineralisaatiosta turpeessa. Menetelmä on kuitenkin karkea, eikä näin voida saada selvyyttä esim. siitä, millaisia mikrobiologisia reittejä ravinteet mineralisoituvat, tai millaisiksi yhdisteiksi ne hajotustoiminnan tuloksina päätyvät. On huomattava, että hiilen pohjalta laskettu ravinteiden brutto-mineralisaatio ei välttämättä lyhyellä aikavälillä kerro paljoakaan ravinteiden saatavuudesta kasvien kannalta, sillä erityisesti hajotuksen alkuvaiheessa suuri osa ravinteista voi jäädä mikrobien käyttöön. Seuraavassa esitetään edellä kuvatulla periaatteella tehtyjä arvioita turpeen vuotuisesta

hajoamisesta sekä eräiden ravinteiden mineralisaatiosta. Laskuissa käytetyt arvot ovat peräisin Ahvensalon sararämeeltä täydennettyinä osin kirjallisuustiedoilla.

### Orgaanisen aineen tase

Ennen ojitusta vallinneiden olosuhteiden ja hengitysmittaustulosten pohjalta simuloimalla saatiin 4 kuukauden (kesä-syyskuu) hajotustulokseksi 200–300 g orgaanista ainetta neliömetrille. Arvo on suunnilleen sama kuin mitä turpeeseen laskettiin tulevan vuodessa uutta materiaalia kariketuotannon ja pintakasvillisuuden tuotoksen myötä. Ojituksen jälkeen sararämeen lannoittamattomalle ruudulle laskettiin neljän kesäkuukauden hajotukseksi noin 700 g orgaanista ainetta neliömetrille. Kevän, syksyn ja talven hajotus mukaan luettuina vuotuinen hajotus lienee ainakin 1 000 g m<sup>-2</sup> (vrt. Havas ja Mäenpää 1972). Eri lannoitekäsittelyt saivat aikaan poikkeamia molempiin suuntiin kontrolliruu-tuun verrattuna. Kun hiilen vapautumisen pohjalta tehdään arvioita eri ravinteiden mineralisaatiosta, on otettava huomioon, että ravinteet eivät ilman muuta vapaudu hiilen kanssa samassa suhteessa.

### Turpeen ravinteiden määristä ja mineralisoitumisesta

#### *Typpi*

Kasvimateriaalin hajotessa typpiyhdisteet alkuvaiheessa hajoavat muuta materiaalia hitaammin, ja mineralisoituvakin typpi sitoutuu enimmäkseen hajottajiin (Heal ym. 1978, Staaf 1980). Tämä johtaa siihen, että vanhoissa kerrostumissa typpipitoisuus on yleensä korkeampi kuin pintaturpeessa (kuva 7). Typpipitoisuus ei kuitenkaan loputtomasti kasva, ja niinpä vanhan materiaalin hajotessa typen mineralisoituminen tapahtuu suunnilleen samassa suhteessa kuin hiilen vapautuminen (kuva 8). Turpeen kokonaistyppipitoisuus vaihtelee yh-

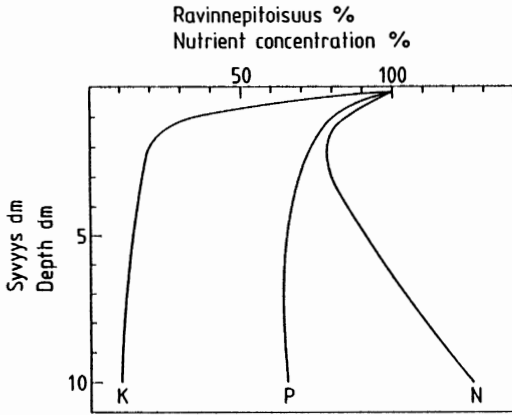
den prosentin tienoilla, joten turvekerrostumat muodostavat valtavan typpivaraston. Ahvensalon sararämeen pintaosissa tyyppä oli n. 0,8% ja syvemmällä turpeessa ilmeisesti ainakin 1% (Pasanen ym. 1983). Tästä määrästä oli liukoista (nitraatti- ja ammonium-) tyyppä n. 5%. Sararämeen 2 m:n turvekerrostumissa voidaan näin arvioida olevan varastoituneena tyyppä noin 1,5 kg neliömetrillä eli 15 000 kg hehtaarilla.

Edellä arvioitiin ojitetulla sararämeellä vuotuiseksi turpeen hajoamiseksi 1 000 g m<sup>-2</sup>. Vuotuisena typen mineralisoitumisena tämä merkitsee 10 g m<sup>-2</sup> eli 100 kg hehtaarille, mikä on sama määrä kuin käytetty kertalannoitus turvemailla. Kun lisäksi otetaan huomioon typpilaskeumat ja biologinen typen sidonta, näin suuren typpimäärän ei pitäisi rajoittaa tuotosta meidän ilmastovyöhykkeessämme, ja tähän tulokseen on usein tultukin lannoituskokeissa (vrt. Kaunisto 1984). On tosin myös todettu tapauksia, jolloin typen lisäys turvemaillakin on lisännyt kasvua (Moilanen 1984, Paavilainen 1984). Hajotustoiminnan elvyttäminen esim. hivenseoksella tai tuhkalla saattaisi kuitenkin antaa paremman ja pysyvemmän tuloksen kuin epäorgaanisen typen lisääminen. Typen riittämättömyys voi olla myös merkki vuodosta typen kierrossa. Pieniä määriä tyyppä karkaa jatkuvasti valumavesien mukana, mutta karkaamista voi tapahtua myös ilmaan, ja jopa ympäristön kannalta haitallisessa muodossa, kuten viimeaikaiset tutkimukset ovat osoittaneet (Martikainen 1985).

#### *Fosfori*

Turpeen kuivapainosta on yleensä vajaa promille fosforia (esim. Pakarinen ja Tolonen 1977). Kasvimateriaalin hajotessa myös fosforin kohdalla saattaa tapahtua alussa lievää pitoisuuden kasvua, mutta myöhemmin sitä vapautuu suunnilleen hiilen suhteessa (kuva 8).

Ahvensalon sararämeen pintaosien fosforipitoisuus oli n. 0,5 ‰, ja liu-



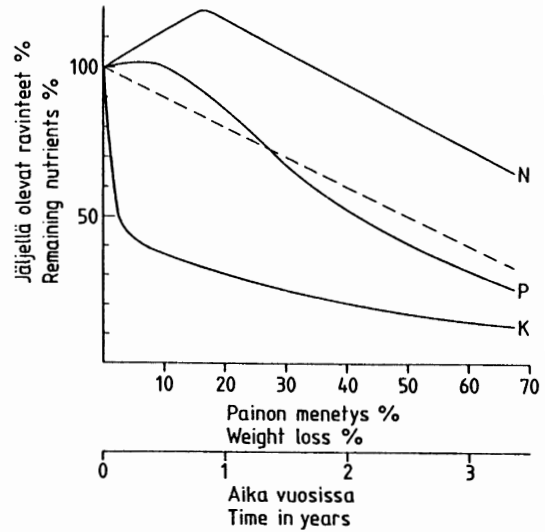
Kuva 7. Typen, fosforin ja kaliumin suhteellinen (% pintakerroksen pitoisuudesta) jakautuminen turveprofiilissa kaavamaisesti esitettynä. Pintakerroksen pitoisuudessa on mukana myös elävä sammalkerros (Pakarinen & Tolonen 1977).

Fig. 7. A schematic presentation of the relative distribution (percentages of the concentration in the surface peat) of nitrogen, phosphorus and potassium in the peat profile. The concentration of the surface peat includes also the living moss layer (Pakarinen & Tolonen 1977).

koista tästä oli n. 1% (Pasanen ym. 1983). Kokonaisfosforivarasto 2 m:n turpeessa on siis n. 700 kg hehtaarilla. Hiilen vapautumisen pohjalta arvioiden ojitetun sarrämeen fosforin vuotuinen mineralisoituminen turpeesta on noin 5 kg hehtaarille. Tätä arvoa päästään tulevaisuudessa vertaamaan puuston vuotuiseseen fosforin ottoon, kun samalla paikalla Metsäntutkimuslaitoksen toimesta tehdyt mittaukset ja laskelmat valmistuvat.

### Kalium

Kaliumin kokonaispitoisuus pintaturpeessa on yleensä vähän suurempi kuin fosforipitoisuus. Kaliumin olomuoto ja jakautuminen turveprofiilissa on kuitenkin aivan erilainen kuin kahdella edellä mainitulla ravinteella (kuva 7). Kasvimateriaalin alkaessa hajota kalium vapautuu paljon nopeammin kuin hiili (kuva 8). Tästä seuraa, että turpeessakin suurin osa



Kuva 8. Hajoavan kasvimateriaalin sisältämien ravinteiden (N, P, K) vapautuminen suhteessa alkuperäiseen ravinteiden määrään kaavamaisesti esitettynä. Katkoviiva esittää keskimääräistä orgaanisen aineen häviötä. Aika-akseli luonnollisesti vaihtelee hyvinkin paljon ympäristöolosuhteista ja hajoavasta materiaalista riippuen (Heal ym. 1978, Staaf 1980).

Fig. 8. A schematic presentation of the loss of nutrients (N, P, K) from decomposing plant material in relation to the original nutrient amounts. The broken line shows approximately the weight loss of organic material. A time scale varies naturally very much depending on environmental factors and decomposing material (Heal et al. 1978, Staaf 1980).

kaliumista on liukoisessa muodossa eikä turpeen orgaanisissa rakenteissa kiinni.

Ahvensalon sarrämeellä aivan turpeen pinnassa kaliumia oli keskimäärin 0,75‰, 5–10 cm:ssä 0,46‰ ja 10–20 cm:ssä 0,28‰ turpeen kuivapainosta (Pasanen ym. 1983). Keskimäärin 90% kaliumista oli liukoisessa muodossa. Pakarisen ja Tolosen (1977) tutkimusten perusteella on odotettavissa, että kaliumipitoisuus pian 20 cm:n jälkeen ilmeisesti asettuu jonkin 0.1:n ja 0.2:n ‰:n välille. Sarrämeen 2-metrisessä turvekerroksessa olisi täten noin 250 kg kaliumia hehtaarilla.

Turpeen kaliumista siis lähes kaikki on liukoisessa muodossa, eikä typpeen tai fos-



foriin verrattavaa orgaanisten yhdisteiden varastoa ole. Vanhojen turvekerrostumien hajoaminen ei näin lisää sanottavasti kaliumia,

joten mineralisoituneen kaliumin määrä rajoittuu suunnilleen siihen, mitä vuotuisesta kariketuotannosta vapautuu.

## KIRJALLISUUS

- Armentano, T.V. & Menges, E.S. 1986: Patterns of change in the carbon balance of organic soil-wetlands of the temperate zone.— *J. Ecol.* 74:755–774.
- Bolin, B., Degens, E., Kempe, S. & Ketner, P. (toim.) 1979: The global carbon cycle. — SCOPE 13. John Wiley. 491 s.
- Bååth, E., Lohm, U., Lundgren, B., Rosswall, T., Söderström, B., Sohlenius, B. & Wiren, A. 1978: The effect of nitrogen and carbon supply on the development of soil organism populations and pine seedlings: a microcosm experiment. — *Oikos* 31:153–163.
- Clymo, R.S. 1984: The limits to peat bog growth.— *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 303: 605–654.
- Havas, P. & Mäenpää, E. 1972: Evolution of carbon dioxide at the floor of a *Hylocomium myrtillosum* type spruce forest. — *Aquilo Ser. Bot.* 11:4–22.
- Heal, O., Latter, P. & Howson, G. 1978: A study of the rates of decomposition of organic matter. — Teoksessa: Heal, O. & Perkins, D. (toim.), Production ecology of British moors and montane grasslands. Ecological studies 27:136–159.
- Kaunisto, S. 1984: Yhteenveto lannoitustutkimuksista metsikön perustamisen ja taimikonhoidon yhteydessä turvemailla. (Abstract: Fertilization at stand establishment and refertilization of young stands on peat soils in Finland. Literature review.) — *Suo* 35:119–126.
- Martikainen, P.J. 1985: Nitrous oxide emission associated with autotrophic ammonium oxidation in acid coniferous forest soil. — *Appl. Environ. Microbiol.* 50:1519–1525.
- Mathur, S.P. & Rayment, A.F. 1977: Influence of trace element fertilization on the decomposition rate and phosphatase activity of a mesic fibrisol. — *Can. J. Soil Sci.* 57:397–408.
- McGreevy, J.M. & Farrel, E.P. 1984: The influence of lime on some decomposition characteristics of Irish peats. — *Proc. 7th Int. Peat Congress, Dublin* (3): 418–441.
- Moilanen, M. 1984: Tuloksia suursararämeen männikön jatkolannoituksesta Pohjois-Pohjanmaalla ja Kainuussa. (Abstract: Results on refertilization of large sedge swamp pine stands in the North Ostrobothnia and Kainuu area.) — *Suo* 35:102–105.
- Paavilainen, E. 1984: Typpi ja hivenravinteet ojitettujen rämeiden jatkolannoituksessa. (Abstract: Nitrogen and micronutrients in the refertilization of drained pine swamps.) — *Suo* 35:98–101.
- Pakarinen, P. & 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.
- Pasanen, S. (toim.) 1980: Lannoituksen vaikutus ojitetun suon metsäekosysteemiin. Tutkimusraportti vuodelta 1979. — Joensuun korkeakoulu, biologian laitos. 74 s.
- Pasanen, S., Miettinen, J. & Paakkola, J. 1983: Tutkimusraportti Ahvensalon (Ilomantsi) lannoiteprojektin ravinne ja mineraalimäärityksistä vuosilta 1979–82. — Joensuun korkeakoulu, biologian laitos. 104 s.
- Salenius, P.O. 1972: Microbiological response to fertilizer treatments in organic forest soils. — *Soil Sci.* 114:12–19.
- Schinner, F.A., Niederbacher, R. & Neuwinger, I. 1980: Influence of compound fertilizer and cupric sulphate on soil enzymes and CO<sub>2</sub>-evolution. — *Plant and Soil* 57:85–93.
- Silvola, J. 1986: Carbon dioxide dynamics in mires reclaimed for forestry in eastern Finland. — *Ann. Bot. Fennici* 23:59–67.
- Silvola, J. & Hanski, I. 1979: Carbon accumulation in a raised bog: Simulation on the basis of laboratory measurements of CO<sub>2</sub> exchange. — *Oecologia (Berl.)* 37:285–295.
- Silvola, J., Välijoki, J. & Aaltonen, H. 1985: Effect of draining and fertilization on soil respiration at three ameliorated peatland sites. — *Acta For. Fennica* 191:1–32.
- Staaf, H. 1980: Release of plant nutrients from decomposing leaf litter in a South Swedish beech forest. — *Holarctic Ecology* 3:129–136.
- Tyler, G. 1974: Heavy metal pollution and soil enzymatic activity. — *Plant and Soil* 41:303–311.
- Urvas, L. 1985: Viljelyn vaikutus turpeen ravinnepitoisuuteen. (Summary: Effect of cultivation on the nutrient status of peat soils.) — *Suo* 36:61–64.
- Woodwell, G.M., Whittaker, R.H., Reiners, W.A., Likens, G.E., Delwiche, C.C. & Botkin, D.B. 1978: The biota and the world carbon budget. — *Science* 199:141–146.

## SUMMARY:

## EFFECT OF DRAINAGE AND FERTILIZATION ON CARBON OUTPUT AND NUTRIENT MINERALIZATION OF PEAT

After drainage the carbon net flow of peat changes back to atmosphere, from where it has accumulated to peat during many thousands of years. Simultaneously, the mineralization of nutrients in peat for use of vegetation on drained peatland increases. On the basis of nutrient contents of peat and decomposition rate it is thus possible to draw conclusions, to some extent, about the amounts of nutrients, which become potentially through decomposition for use by plants.

In this study the decomposition of peat was studied by measuring the CO<sub>2</sub> production from peat (soil respiration). The amount of organic matter released annually from drained peat was then calculated by simulation. The reserves and mineralization rates of some nutrients in peat were calculated on the basis of decomposition and nutrient contents. Further, the effect of different fertilizers on CO<sub>2</sub> production at different mire sites was studied.

The original mire types studied were an oligotrophic sedge pine mire (VSR), a mesotrophic sedge pine mire (RhSR) and a *Vaccinium myrtillus* spruce swamp (MK). After the first measuring period (about two months) the sites were drained and after the second period fertilized. Fertilizers used were fast-dissolving PK, slow-dissolving PK, slow-dissolving PK + urea, slow-dissolving PK + Nitroform (urea-formaldehyde), slow-dissolving PK + urea + microelement mixture and wood ash. The CO<sub>2</sub> measurements were performed in the field using an infra red gas analyser coupled to a data acquisition system. An open measuring system was employed, and a trap-type chamber was closed over the site to be measured only for the actual time of measuring.

CO<sub>2</sub> production was found to increase exponentially with temperature, varying mostly in the range 100–500 mg CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (Fig. 2). Changes in soil respiration followed those in surface temperature with a time-lag of c. 3–3.5 hours (Fig. 1). At the VSR site, where the groundwater table dropped by about 0.5 m after ditching, soil respiration increased 2–3 fold within a few weeks. At the RhSR and the MK sites both the fall in the groundwater table and the resultant changes in soil respiration were smaller (Fig. 3).

Application of fast-dissolving PK and urea led to a rapid increase in soil respiration at the site poorest in nutrients (VSR), and slow-dissolving PK to a slow increase in respiration. The greatest, steady increase of all was achieved by treatment with ash (Fig. 4). At the sites with a higher natural nutrient content (RhSR and MK) the application of fertilizers usually led to a decline in soil respiration lasting 1–2 years, after which the initial level was usually regained. Treatment with microelements caused a fall in CO<sub>2</sub> production in all three sites, followed by an increase (Figs. 5 and 6).

The decomposition in the undrained peat at the VSR site during a summer was estimated to be 200–300 g (organic matter) m<sup>-2</sup>. After drainage the annual decomposition of organic matter in peat of VSR was estimated to be about 1 000 g m<sup>-2</sup>.

The total amount of nitrogen in the peat at the VSR was estimated to be c. 15 000 kg ha<sup>-1</sup>. The annual nitrogen mineralized in peat calculated on the basis of decomposition was estimated to be c. 100 kg ha<sup>-1</sup>. The total phosphorus storage in the peat of the VSR site was c. 700 kg ha<sup>-1</sup>, and the annual mineralization was calcu-

lated to be c. 5 kg ha<sup>-1</sup>. The content of potassium in old peat layers is very small, and nearly all is in the soluble form (Figs. 7 and 8). Thus, the decomposition of peat increases the content of biologically useful

potassium very little. The amount of potassium mineralized annually is about the same as the content of K in the annual detritus.

Received 11.XII.1987

Approved 27.I.1988