

## SUOEKOSYSTEEMI TUTKIMUSKOHTENA

### HOW TO STUDY A MIRE ECOSYSTEM

#### EKOSYSTEEMITUTKIMUSTEN TAUSTAA

Luonnonvarojen käytössä sekä luonnonhoidossa ja ympäristönsuojelussa on yleisesti hyväksytty toimintaohjeeksi nk. ekologinen periaate. Luonnonekosysteemejä, esim. metsiä, soita tai kalavesiä, hyödynnettäessä tämä merkitsee sitä, että luonnon tuotannon hyväksikäytön yhteydessä tulee huolehtia ekosysteemin tuotokyvyn jatkuvuudesta ja sen muusta toimivuudesta, so. itsesääätelyjärjestelmien ja tasapainojen säilyvyydestä sekä pyrkii minimoimaan käsittelyn vaikutukset muihin ekosysteemeihin. Keinoista puhuttaessa painotetaan luonnon ns. omien tuotantovoimien maksimaalista suosimista ja ulkopuolisten aine- ja energiapanosten supistamista vähimpään mahdolliseen, siis eräänlaista biodynaamisuuuden periaatetta ekosysteemitasolla. Suomen metsä- ja suoluonnon kohdalla omaksutun ohjeen (esim. Metsähallitus 1970, Tapio 1970, Huikari ja Paavilainen 1971) noudattaminen kuitenkin jää summittaiseksi ja osin kariutuu ennustemateriaaliksi kelpaavien ekosysteemimallien yhä puuttuessa. Teoreettisen ekologian tarjoamia yleisiä malleja ei ole voitu soveltaa. Vähän, jos lainkaan on otettu oppia vesien luonnontalouden seurannasta ja kontrollista, jossa käsittelyn vaikutukset ekosysteemin energetiikkaan ja aineenvaihduntaan ovat jo kohtalaisesti ennustettavissa.

Ekologisesti kiistatta kovaotteisin kohtelu on meillä viime vuosikymmeninä tullut soiden osaksi niiden metsätaloudellisen käyttöönoton yhteydessä. Tätä nopeata prosessia ei perinteisesti voimakas suoekologinen tutkimuksemme

ole kyennyt tyydyttävästi seuraamaan, riittävästä ennakoinnista puhumattakaan. Pahaksi onneksi suot ovat maapallon laaja-alaisista ekosysteemeistä toiminnallisesti kenties huonoimmin tunnettuja. Tuskin olisi monesta tällaisesta ekosysteemityypistä voitu v. 1974 julkaista synekologista kokoomateosta, joka ei sisällä minkäänlaista differentioitua, yleisestä ekosysteemikaaviosta poikkeavaa kokonaismallia systeemin toiminnasta (Moore and Bellamy, 1974). Kenties IBP:n tundraprojektin yhteydessä suoritettujen suotutkimusten ehtiminen mukaan olisi jonkin verran parantanut tilannetta (Ross-wall and Heal 1975), vaikkei näillä Ruotsin Abiskon palsasoiden ja Englannin Moorhousen peittosoiden tuloksilla olekaan yleistämiskelpoisuutta havumetsävyöhykkeessä. Tässä mielessä lupaavampia ovat kuulumiset Neuvosto-Karjalasta (ks. Kozlovskaja 1974, Pyavchenko 1974, Yelina 1974).

Joutuisasti edenneen metsänparannustoiminnan ansiosta on Suomessa jo ajautettu tilanteeseen, jossa luonnontilaiset suoekosysteemit ovat metsänparannuksellisesti käsiteltyjen rinnalla monin paikoin vähemmistönä. Ei siis ole ihme, että tarve selvittää toimenpiteiden fyysisiä ympäristövaikutuksia, ennen muuta haittoja, on tutkimuksen koordinaatiossa ohittanut tarpeen ennustaa käsiteltävien ekosysteemien omaa kehitystä (tuloksista ks. mm. Karsisto 1970, Heikurainen 1974), josta vain hydrologian muutokset ovat enemmän saaneet huomiota (esim. Huikari 1959, Mustonen ja Laikari 1961, Päivänen 1970). Nykytilanteessa näyttää jo sekä yleisekologisesti merkitykselliseltä että tieteellisesti antoisalta pyrkii luonnontilaisen ja muutuneen suoekosysteemin vertailevaan analyysiin tavoitteena rakenne- ja toimintamalli molemmista.

## Yleistä

Ellenberg (1973) sijoittaa koko biosfääriä koskevassa ekosysteemi luokittelussaan, jossa erotelukriteereinä pidetään yhteisön esiintymisympäristöä, kasvivyhdyskunnan rakennetta, tuotantoa rajoittavia abioottisia tekijöitä, aineen säännönmukaista kertymää ja poistumaa, sekundäärituottajien (hajottajat, kasvinsyöjät, lihansyöjät, loiset) suhteellisia osuuksia energiataloudessa ja ihmisen osuutta ekosysteemin synnyssä ja ylläpidossa, suot semiterrestristen ekosysteemien pääryhmään. Geologisen ja kasvitieteellisen suon määritelmän rinnalle voidaan em. kriteerien avulla nostaa *suo ekosysteemin määritelmä: suo on semiterrestrinen, viileän-huvidin yleisilmaston ja korkean pohjaveden tason ylläpitämä ekosysteemi, jonka tuottama orgaaninen aines vajavaisen hajotustoiminnan takia sedimentoituu turpeeksi*. Suon luonteenomaisimmat energieettiset piirteet ovat suhteellisen hidan energian sidonta ja vielä hitaampi energian käyttö ja siitä seuraava energian varastoituminen turpeeseen. Aineenvaihdunnallisesti tärkeimpinä ominaisuuksina on pidettävä huomattavan happilyijäämän syntymistä (tuotanto/kulutus-suhde on suuri) ja toisaalta hiilen, typen ja mineraalien poistumista kierrosta (sedimentaatio). Suo ei silti ole mitenkään poikkeuksellinen ekosysteemi, vaan yleinen malli, joka jossain määrin painottaa edellä sanottuja suoekosysteemin erikoispiirteitä, sopii hyvin työmalliksi suoekosysteemitutkimukselle ja vaikkapa kehyyksiksi sen organisaatiokaavioille (esim. Moore and Bellamy op.c. fig. 4.1 ja kuva 1).

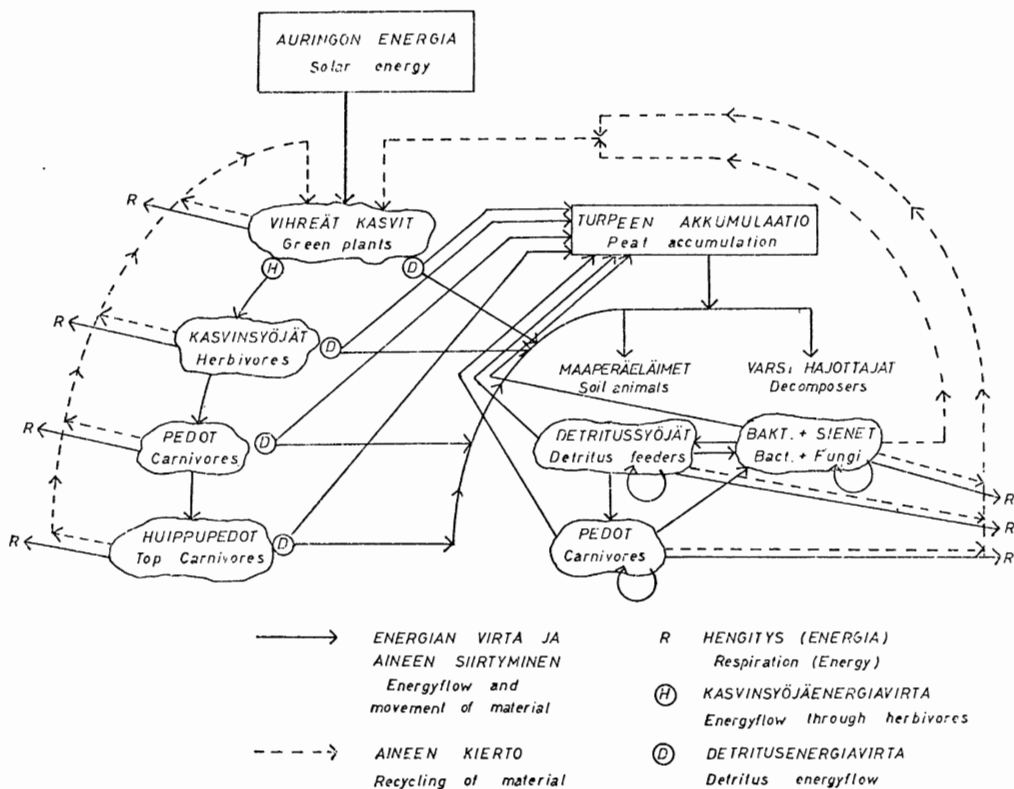
Toiminnallinen ekosysteemiajattelu vaatii systeemin käsittelyä kokonaisuutena. Käytännön analyysityössä tämä kuitenkin tulee kysymykseen vain joissakin aineenvaihduntamittauksissa sekä erityisesti analyysitulosten kokoamisen jälkeen tietokoneilla tapahtuvissa mallittamis- ja simulointiprosesseissa. Ekosysteemiä empiirisesti tutkittaessa joudutaan alusta pitäen analyysittellelle ja pirstomaan idealistinen kuva toiminnallisesta kokonaisuudesta palaamalla biotieteiden perinteisen jäsentelyn mukaiseen työn-

jakoon. Ekosysteemin eliöstön, energiatalouden, aineenvaihdunnan, säätelyjärjestelmien jne. tutkiminen on mitä tyypillisimmin ryhmätyötä, johon yksinkertaisenkin ekosysteemin kyseessä ollessa tarvitaan suurehko organisaatio biologian eri alojen asiantuntijoita. Koska on useimmiten välttämätöntä selvittää eliölajiston koostumus kvantitatiivisesti ja myös monien prosessien (esim. tuotannon) analyysi edellyttää tutkimuksia populaatiotasolla, on erittäin tärkeää, että työryhmän tavoitteenasettelussa korostuu kokonaisuutena saaminen, että kuka hyvänsä ryhmässä toimiva spesialisti (biofyysikko, taksonomi, populaatioekologi, systeemiteoreetikko jne.) tiedostaa työskentelynsä kuluessa sanotun tavoitteen, ja että organisaation vastuullinen johto työn kaikissa vaiheissa muistaa ohjaavansa kokonaisuutena systeemitutkimusta.

Seuraavassa hahmotellaan em. periaatteiden mukaisesti tehtävää, joka on suunnittelun alaisena suoekosysteemiä ja sen metsänparannuksellisia muutunnaisia tutkivalla työryhmällä.

Ympäristötekijäkompleksi  
suoekosysteemissä

Suoekosysteemi vaikuttaa toiminnallaan poikkeuksellisen voimakkaasti fyysiseen ympäristöönsä. Ne paikallisiilmastolliset, edafiset ja hydrologiset olot, joissa soistumisprosessi voi alkaa, ovat suoekosysteemin kehityksen funktiona jatkuvien muutosten alaisina. Suon metsänparannukselliset käsittelyt taas aiheuttavat jyrkän taitekohdan näiden olosuhteiden muuttamisessa. Rutiininomaisten mikroilmastoa ja maaperän tekijöitä koskevien mittausten lisäksi suoympäristössä tarvitaan tiettyjen tekijöiden erityistä seuranta. Osa näistä on yhteydessä pohjaveden pinnan vaihteluihin, osa suon muuhun hydrologiseen erikoisuuteen. Pohjaveden tason merkitys näyttää sekä välitöntä että välillistä tietä ratkaisevalta niin eliöyhteisön tuotannon kuin hajottavankin osayhteisön toiminnan kannalta. Pinnanvaihtelujen jatkuvan havainnoinnin (pohjavesikaivot piirtureineen) lisäksi on seurattava veden korkeudesta riippuvien fysikaalisten ja kemiallisten tekijöiden vaihtelua. Tärkeimpiä näistä ovat turpeen vesitilanne (esim. tensiometrisesti, ks. Ahti 1971 ja Laine ja Mannerkoski 1975) ja hapekkuus (esim.



Kuva 1. Kaavio suoekosysteemin rakenteesta sekä energian virrasta ja aineen kierrosta.

Fig. 1. The structure and main functions of mire ecosystem.

aerobisen kerroksen määrittäminen hopeasauvamenetelmällä, ks. Lähde 1969). Normaalista tarkempaa seuranta saattavat vaatia myös muutamat muut aerobisuustilan funktiona vaihtelevat maaperän ominaisuudet (esim. pH ja mobilisoituvan typen määrä). Suon hydrologiaan kuuluu maaperän suuri vesivarasto, jonka runsaus vaihtelee lyhyelläkin aikavälillä huomattavasti. Selvemminkin kuin puhtaasti terrestrisissä ekosysteemeissä nousee esiin tarve hydrologiaa ja ravinnebudjettia koskevien mittausten yhdistämisestä ja seurannasta lyhyin aikaväleihin.

Ympäristötekijöiden ajallisen vaihtelun tuntemisen keskeinen rooli dynaamisten mallien verifiointiprosessissa edellyttää suoekosysteemeissä mittauksia, joiden monipuolisuus osittain johtuu siitä, että joudutaan toimimaan semiterrestrisissä olosuhteissa, so. ottamaan huomioon sekä maa- että vesiympäristössä merkityksellisiä tekijöitä. Kokemus on osoittanut, että ainakin tärkeimmässä rutiinimittauksissa (esim. säteily,

lämpötila, kosteus) olisi päästävä automatiikkaan ja integroivaan ATK-tulostukseen.

### Kasviyhdykskunta ja perustuotanto

Perusrakenteeltaan useimmat suokasviyhdykskunnat ovat terrestristen kasvustojen kaltaisia. Kasvihiomassaa ja tuotantoa tutkittaessa joudutaan muokkaamaan maaekosysteemejä varten kehitettyjä menetelmiä siinä määrin kuin yleensäkin uuteen yhdyskuntaan siirryttäessä. Perustuotantotason analyysi jäsenyy luontevasti kolmeksi päätehtäväksi: a) kasvihiomassan (tavallisin kasvukauden maksimi standing crop) määrittäminen korjuumenetelmällä ja kasvukauden tuotoksen erottelu siitä, b) eri kasvillisuuskerrosten ja osakasvustojen valtalajien kasvurytmiikan seuranta kentällä (esim. pituus- ja paksuus- kasvun mittaukset, jotka sopivin regressioin voidaan kiinnittää hiomassan muutoksiin); poistu-

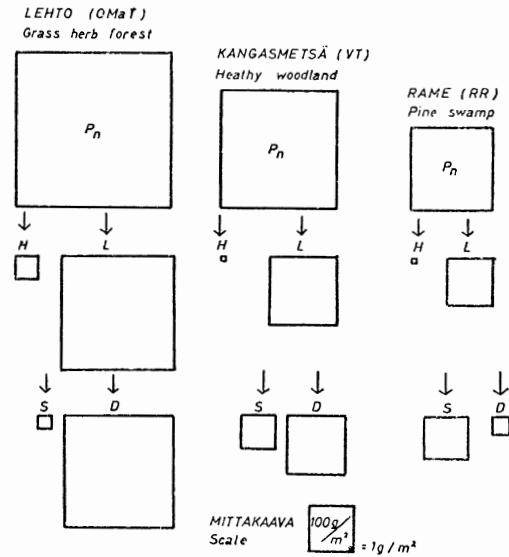
man määrittäminen karikkeen keruumenetelmillä ja c) tuotantoon liittyvien aineenvaihdunnallisten prosessien (yhteyttäminen, hengitys) seuranta kaasujen vaihtoon perustuvilla epäsuorilla menetelmillä (URAS-tekniikka) laboratoriossa ja maastossa.

Tavoitteeksi kasvibiomassan määrittämisessä asetetaan ekosysteemanalyysissä useasti lohko-diagrammin tyyppinen kasviyhdyskunnan rakennemalli (kuva 3), joka fraktioidaan muiden trofiatasojen tutkimusten vaatimusten mukaan, so. eri kasvillisuuskerrosten, osakasvustojen, elomuotoryhmien tai lajien biomassassa ja tuotos määritetään erikseen. Suokasvuyhdyskunnan erityisongelmia korjuumenetelmää sovellettaessa ovat mm. monivuotisten puuvartisten kasvien (puiden ja varpujen) vuosituotoksen määrittäminen, etenkin puuaineksen kasvu ja sammalten, eritoten rahkasammalten biomassan (elävän osan) ja vuosituotoksen määrittäminen. Keinot maanalaisen biomassan ja varsinkin tuotoksen selvälle saamiseksi ovat yhtä puutteelliset kuin maaekosysteemien kohdalla yleensä. Vesi- ja rantakasvien tuotostutkimuksista on saramaisia kasveja varten saatavissa metodisia vihjeitä.

Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston käynnistämässä esitutkimuksissa on edellä kuvattuihin ongelmiin jo osittain löydetty tyydyttävästi toimivia ratkaisuja ohjeena ns. talonpoikaisjärki.

Kasvurytmiikan seurannan ongelmat liittyvät läheisesti edelliseen. Mittaustarkkuus lyhyellä aikavälillä on saatu putkilokasvien pituuskasvun sekä puuston paksuuskasvun osalta aikaisempiin teknisiin ratkaisuihin turvautumalla (mm. Huikari and Paarlahti 1967, Leikola 1969) ja niiden tuloksia korjaamalla (Ahti 1973) kohtalaiseksi, mutta sen riittävyttä mallittamisen ja URAS-tekniikkaan rinnastamisen kannalta ei ole voitu testata. Suon perustuottajista määrällisesti merävän osan) ja vuosituotoksen määrittäminen. Keijo päädytty osittain toimiviin mittareihin. Mm. varpujen puuaineksen tuotannon ja juuristojen kasvunseuranta odottavat vielä teknisiä ratkaisujaan.

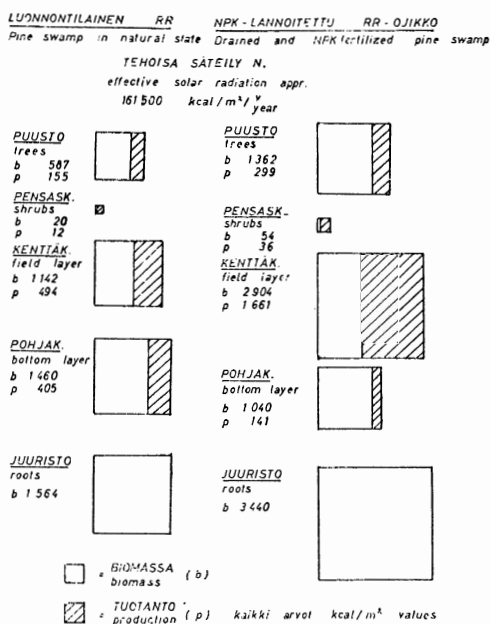
Kuten olettaa sopii, on valmius ekosysteemanalyysiin perustuotannon sektorilla paras. Kolmen kasvukauden esitutkimusten tuloksiin voidaan lukea tiedot kasvibiomassan, orgaanisen aineen ja nettoperustuotannon jakaantumisesta kasvillisuuskerrosten ja lajiston kesken kahden



Kuva 2. Summittainen työmalli orgaanisen aineen ja energian kulutiestä eräissä maaekosysteemeissä.  $P_n$  = vuotuinen nettoperustuotanto,  $H$  = kasvinsyöjä-energiavirta (= kasviaineksen kulutus),  $L$  = kariketuo-  
tos,  $D$  = detritusenergiavirta (= kasviaineksen hajotus),  $S$  = sedimentaatio. Likiarvot (kuiva-ainetta  $g/m^2$ ) peräisin ekologian kurssitöistä Lammilta (EH) vv. 1972–74.

Fig. 2. An approximated model of the annual pathways of organic matter and energy in some terrestrial ecosystems.  $P_n$  = net primary production,  $H$  = energy flow to herbivores (= herbivorous consumption),  $L$  = litter production,  $D$  = energy flow through decomposers (= annual decomposition of plant material),  $S$  = sedimentation. The estimates ( $g/m^2$  dry matter) are made by the exercise courses of ecology at Lammi Biological Station 1972–74.

rämetyypin kasvuyhdyskunnissa ja näiden ojituksen ja lannoituksen jälkeisissä muuttunissa (esim. kuva 3 ja Reinikainen, Purmonen ja Vilkamaa 1974). Kesän 1975 aikana on tutkittu rahkarämeen kasvuyhdyskunnan tuotantorytmiikkaa lukuisien ympäristötekijäin funktiona. Lammin biologisella asemalla on sovellettu URAS-tekniikkaa sammalten ja varpujen perustuotannon ja turpeen respiraation mittaamiseen. Mm. *Sphagnum fuscum*-yhteisön kaasunvaihtomalli erilaisissa lämpö- ja valaistusoloissa on syntymässä samalla kun kokeilut  $1 m^2$  n suuruisella "siirtosuolla" ovat johtaneet siihen, että URAS-mittaukset kentällä ovat vain rahoitusta vailla (Silvola, Heikkinen ja Hanski 1975).



Kuva 3. Kasvibiomassan (b) ja perustuotannon (p) summittainen jakautuma luonnontilaisessa ja mp-käsittelyssä rahka-räme-ekosysteemissä 6–8 v. käsittelyjen jälkeen, Lammi v. 1973. Kasviekologian kurssi.

Fig. 3. Rough values of plant biomass (b) and net production (p) in pine swamp ecosystem at natural state and 6–8 years after draining and NPK fertilization. Estimates in kcal/m<sup>2</sup>/year made by the course of plantecology, Lammi Biological Station.

## Sekundäärituotanto

### Energian virta kasvinsyöjiin kautta

Viileiden ilmastoalueiden maaekosysteemeissä energian kulku kasvinsyöjäeläinten kautta on yleensä vähäistä eivätkä suot muodostane poikkeusta tässä suhteessa. Eläinpopulaatioiden indikaattoriarvo ekosysteemin tilaa (säätelyä, tasapainoja) tarkasteltaessa on kuitenkin osoittautunut niiden energeettistä ja aineenvaihdunnallista merkitystä suuremmaksi. Kasvinsyöjäenergiavirran voimakkuus suhteessa hajottajaenergiavirtaan (kuva 2) on taas todettu ekosysteemin toimintaa hyvin karakterisoivaksi piirteeksi (mm. Whittaker 1970). Kasvillisuuskerroksissa elävien kuluttajien eri trofiatasoja ei siis voida jättää ekosysteemin toimintaa ja säätelyjärjestelmiä kuvaavan mallin ulkopuolelle. Eläinten

osuutta ekosysteemin energiataloudessa ja aineenvaihdunnassa voidaan selvittää useata eri tietä: (a) ravinnonkulutuksen määrittäminen (käyttökelpoinen oikotie kasvinsyöjien kohdalla), (b) eliöpopulaatioihin kohdistuvat suorat kvantitatiiviset tutkimukset (yksilömäärät, biomassat, tuotanto), (c) kasvatus- ja ravinnonkäyttökokeet laboratoriossa yhdistettyinä aineenvaihdunnan mittaamiseen (respirometria) ja (d) osayhteisöjen aineenvaihdunnan tutkiminen URAS-tekniikalla. Suo ei näiltä osin poikkea ongelmiltaan muista ekosysteemeistä.

Esitutkimuksissa on jonkin verran selvitetty suoralla kulutuksen tarkkailulla kasvinsyöjien merkitystä (energiavirran avautumista tähän suuntaan) ja kokeiltu merkkiainetekniikkaa. On todennäköistä, että radioaktiivisilla isotoopeilla voidaan kartoittaa sekä ravintoketjuja että kvantitatiivista energian kulkua näissä.

Useimpia maan pinnalla ja kasvillisuuskerroksissa eläviä eläimiä (esim. pikkunisäkkäät, linnut, hyönteiset) varten on kehitetty populaation tiheydenarvioimismenetelmiä. Joillakin (esim. pesimälinnut) voidaan luotettavan kannanarvioinnin perusteella kohtalaisesti estimoida koko populaation osuus ekosysteemin luonnontaloudessa. Esim. selkärangattomien monilajiset yhteisöt ovat tässäkin suhteessa varsin vaikea kohde. Ekosysteemistä eläinten mukana poistuva energia (vierailijat muista systeemeistä, muuttolinnut, nisäkkäiden ja lintujen talvinen energian käyttö jne.) on työläs mitattava. – Yleisesti voidaan eliöpopulaatioiden tiheyden ja koon kenttätutkimuksista sanoa, että jokin määrä sovellutustyötä menetelmiä suoekosysteemiin siirrettäessä tarvitaan.

### Energiavirta hajottajien kautta – detritusenergiavirta

Suot kuuluvat ekosysteemeihin, joissa suurin osa perustuotannossa syntyvästä orgaanisesta aineksesta joutuu suoraan hajottajien käsitteilyyn (kuva 2). Toisaalta suolle tyypilliset ympäristötekijät, korkea pohjavesi ja siitä seuraava anaerobinen tilanne maaperässä selvimminkin rajoittavat juuri eliöyhteisön hajottavan komponentin toimintaa. Siten energeettisen ja aineenvaihdunnallisen tarkastelun pääkohteeksi suoekosysteemissä tulevat turpeessa tapahtuvat bioprosessit. Nämä näyttäytyvät ravinteiden mobi-

lisaationa ja orgaanisen aineksen hajoamisen lopputuotteiden muodostumisena. Aerobisissa oloissa CO<sub>2</sub>:n syntyminen, ns. maanhengitys kuvastaa turpeessa tapahtuvaa energian käyttöä. Hapekkaissa oloissa tapahtuva lahoaminen on todettu monin verroin anaerobisissa oloissa, ns. sulfidikerroksessa (Moore and Bellamy op.c) tapahtuvaa mätänemistä tehokkaammaksi hajotusprosessiksi. Tärkeäksi tehtäväksi tulee näin ollen maanhengityksen jakaminen komponentteihinsa: juuristorespiraatio (ei hajotusta) sekä maaperäeläinten ja mikrobien (bakteerien ja sienten) respiraatio. Ratkaisuina tulevat kysymykseen erilaiset epäsuorat menetöt. Maaperäeläinten populaatioiden suoraan kvantitatiiviseen tutkimiseen on kehitetty varsin päteviä ns. erottelumenetelmiä (ks. Huhta 1972).

Hajottajien respiraatiota *in situ* määritettäessä on kasvien juurten hengityksen erottaminen kenties toteutettavissa joko eliminointimetodilla tai määrittämällä juuristojen CO<sub>2</sub>-tuotantoa vaihtelevissa koeolosuhteissa (URAS).

Tavallisin tapa kokonaishajotuksen määrittämisessä lienee ns. karikkeenhajotustestien käyttäminen. Niistä yksinkertaisimpia on sellunhajotustesti (ks. Paarlahti 1964), joka kuitenkin antaa varsin hyvän kuvan aerobisten mikrobien kokonaisaktiiviteetista. Luontevinta olisi silti käyttää hajotustesteissä ekosysteemin itsensä tuottamia materiaaleja (tämä on onnistunut jopa rahkasammalilla, ks. Clymo 1965). — Suoprojektin esitutkimuksissa on sovellutuksia sellunhajotustestistä käytetty standardimetodina kaikilla koelajoilla ja tarkoitus on selvittää eri kasvimateriaalien hajoamisnopeuden regressiot tämän perustestien tuloksiin.

Maaperäeläimiä pidetään ekosysteemin toiminnan kannalta yleensä ns. esihajottajina, mikä tarkoittaa sitä, että niillä on suuri merkitys orgaanisen aineksen esikäsitelijöinä ja mikrobien työn pohjustajina. Samalla ne ovat ekosysteemin luonnontaloudellisesti tärkeimmät eläimet. Yleinen käsitys on, että maaperäeläinten oman aineenvaihdunnan osuus detritusekosysteemin kokonaisrespiraatiosta on pienehkö (5–20 %), mutta että eläinten suolen läpi kulkeva esikäsitelty aines vastaa n. 5 kertaa tätä määrää (Mac Fadyen 1963). Maaperäeläinten suhteellinen osuus sekä energian käyttäjinä että aineen esikäsitelijöinä onkin keskeinen tuntematon detritusekosysteemin aineenvaihdunnan yhtä-

lössä. Työtapa ongelmaa ratkaistaessa perustuu (a) eläinpopulaatioiden suoraan yksilömäärien ja biomassojen määrittämiseen sekä näiden vertikaali- ja vuodenaikaisvaihtelujen selvittämiseen, (b) respirometriaan (aineenvaihduntaa voidaan estimoida biomassojenkin perusteella, MacFadyen op.c) ja (c) populaatiodynamiikan (tuotannon, predaation vaikutuksien yms.) määrittämiseen koeolosuhteissa.

Esitutkimusten tähänastiset tulokset (Vilka 1975) osoittavat mm., että arveluilla maaperäeläinten varsin suuresta relatiivisesta merkityksestä suoekosysteemissä (Cragg 1961) saattaa olla yleistäkin kantavuutta. Samoin ovat jo käyneet ilmi vertikaalijakautuman ja mahdollisten vaellusten seurannan ehdoton välttämättömyys pohjavesimaannoksilla (Reinikainen ja Markkula 1975, julkaisematon) sekä ko. tarkoitukseen kehitetyn metodin mahdollisuudet, kun rakennetaan hajotuksen komponenttimallia tilanteessa, jossa tunnetaan pohjavesipinnan vaihtelut, aerobisen kerroksen kulloinenkin vahvuus ja orgaanisen aineksen kokonaishajotus. Samalla on havaittu, että maaperäeläinpopulaatioiden tunnetut vuodenaikaisvaihtelut (esim. Huhta et al. 1967) ovat suobiotoopeilla luonteeltaan toisenlaisia kuin kangasmaalla ja ansaitsevat erityistä huomiota osakseen.

## Ravinteiden kierto

Detritusekosysteemin toiminnan tuloksena tapahtuva ravinteiden mineralisaatio on hengityksessä vapautuvien raaka-aineiden (CO<sub>2</sub> ja H<sub>2</sub>O) kierron ohella vanhastaan ekosysteemien parhaiten tunnettuja osatoimintoja. Tämä tietämys yhdistettynä käytettävissä olevaan laajahkoon turvekerrostumia, pintaturvetta, suovesiä, suokasveja ja sadevesiä koskevaan ravinneanalyytiseen materiaaliin ja tietoihin soiden orgaanisen aineen tuotannosta, hajotuksesta ja akkumulatiosta sallisi karkean ravinteiden kierron yleisemmän laadinnan suoekosysteemistäkin, kun hyviä esimerkkejä muilta biotoopeilta on käytettävissä (esim. Mälkönen 1974). Pula spesifisistä, erilaisia suoekosysteemejä varten lasketuista ravinnebudjeteista säilyy, vaikka tällainen malli konstruotaisiinkin. Ravinteiden poikkeuksellisen monipuolinen rooli tuotantoa rajoittavina tekijöinä suoekosysteemissä ja tästä johtuva ra-

vinnetaloudellisten järjestelyjen suuri merkitys soiden hyväksikäytössä aiheuttavat sen, että juuri suoekosysteemejä ja niiden muutunnaisia varten tarvitaan tarkkoja ravinnebudjetteja ja ravinteiden kierron malleja.

Suoekosysteemi-projektin suunnittelu- ja esitutkimusvaiheessa em. tosiseikat on otettu huomioon. Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosastolla suoritettuihin laajoihin suometsien ravinnetaloutta koskeviin selvityksiin on osaprojektiin "Typpi suometsien ravinnetaloudessa" (ks. mm. Paavilainen 1973) kuuluvana aloitettu intensiivinen ravinteiden kierron analyysi. Koealoilta määritetään ravinnebudjettiin välttämättömien parametrien lisäksi muita tuotannollisia tunnuksia siten, että ravinteiden kierron kytkeminen kokonaisuksi on mahdolliseksi.

### Turpeen akkumulaation malli

Suoekosysteemin osatoiminnoista on turpeen karttumisen useimmin joutunut mallintekijäin yritysten kohteeksi. Kun vaikuttavina biologisina prosesseina selvästikin ovat perustuotanto, kariketuotanto (= kasviaineksen karikepoistuma) ja hajotuksen nopeus, kelpaa työmalliksi yleisesti esitetty (mm. Moore and Bellamy op. c.)

$$\frac{dX}{dt} = L - aX$$

jossa  $X$  = sedimentoitunut ainemäärä,  $L$  = maahan joutuvan kuolevan kasviaineksen määrä ja  $a$  = hajotusaktiiviteettiä kuvaava kerroin. Jotta tällä suoekosysteemille tyyppisintä piirrettä luonnehtivalla mallilla olisi käytännöllistä merkitystä termien  $L$  ja  $a$  vaihtelu ympäristötekijäin funktiona selvitettävä ja varsinkin  $a:n$ , so. hajotusaktiiviteetin, kohdalla tarvitaan myös komponenttimallia hajotuksen biotisten osapuolien (maaperäeläimet, eri materiaaleja hajottavat aerobiset mikrobit, anaerobiset mikrobit) kvantitatiivisista rooleista vaihtelevissa ympäristöoloissa (ks. ed. kappale).

Suoekosysteemi-projektin organisaation kannalta turpeen akkumulaatiomalli on nähtävissä tutkijaryhmää koossa pitävänä osatavoitteena. Aikaulottuvuus voidaan tällaiseen malliin liittää myös suon koko kehityksen huomioonottavana. Tämä edellyttää reseranttisen tuotannon määrittämis menetelmien ja kerrostumien paleoekologis-

ten analyysimetodien yhdistämistä (ks. esim. Tolonen 1973).

### Suoekosysteemin sukkessio

Soistuminen ja suokasviyhdykskuntien lajistollinen kehitys ovat meillä perinteisesti hyvin tunnettuja suoekosysteemin sukkession osailmiötä. Ns. modernissa ekologiassa sukkessiolla tarkoitetaan koko ekosysteemin eliöstön, rakenteen ja toiminnan muuttumista ajassa ja sukkessioiden tutkimuksessa on keskitytty suuressa määrin ekosysteemin itsesäätelyjärjestelmien ja tasapainotilojen analyysiin. On havaittu kiinteä yhteys eliöyhteisön sukkessioian ja säätelyjärjestelmän kehitysasteen välillä – vanhassa ekosysteemissä tasapainotilat ovat runsaan ja hyvin järjestyneen informaation sekä takaisinkytkentämekanismien ansiosta vakaampia kuin nuorena. Autogeenisesti nopeasti muuttuvina ekosysteeminä suot, joiden kehitys ei näytä sopivan hyvin sukkessiotutkimuksessa keskeisiin kliimaksteorioihinkaan, ovat erityisen antoisia sukkession tutkijoille. Kun metsänparannustoimenpiteet vielä ratkaisevasti nuorentavat suoekosysteemiä ja muuttavat kehityksen suuntaa, voidaan soita pitää sekä teoreettisesti kiintoisina että käytännölliseltä kannalta tärkeinä sukkessiotutkimuksen kohteina.

Materiaali sukkessioanalyysia varten kertyy eri trofiatasojen eliöstöä, energetiikkaa ja aineenvaihduntaa koskevissa töissä (ks. ed.), jos toimitaan eri-ikäisillä ja eri suuntiin kehittyneillä koealoilla. Tasapainojärjestelmän ja ekologisten lokeroiden muotoutumisen tutkiminen edellyttää tarkkaa taksonomista määrittäystä mahdollisimman monissa eliöryhmissä. Käytännössä joudutaan yleensä tyytymään vajavaiseen tulokseen, ja siitä syystä keskittyminen tiettyyn eliöryhmään, trofiaryhmään tai osasysteemiin on suositeltavaa. Täysi lajistollisen monimuotoisuuden (diversiteetin) analysoiminenhan vaatii sekä populaatioiden runsauden arvioinnissa että lajimäärityksessä vedenpitäviä menetelmiä. Diversiteetin tarjoamaan informaatioon, joka on indikaattoriluonteista, voidaan päästä kiinni vähemmälläkin työllä.

Suoekosysteemien kohdalla tiedot eliöyhteisön sisäisistä säätelyjärjestelmistä ja biologisista tasapainoista perustuvat suurimmaksi osaksi otaksumiin. On arveltu soiden yleensä olevan eliöstöltään yksinkertaisia alhaisen diversiteetin

ja heikon tasapainon ekosysteemejä. Katsotaan tämän johtuvan siitä, että soiden esiintymis- aluetta luonnehtivat jo tietyt ilmastolliset ja edafiset karuuden piirteet, ja että suo omalla toiminnallaan luo lisää näitä ekstreemejä (pohjavesimaannos seurauksineen, ravinteiden puute, happamuus). Kuitenkin soiden eliöyhteisöt näyttävät koostuvan varsin hyvin sopeutuneista ja ilmeisesti ahtaissa ekologisissa lokeroissa elävistä organismeista (myös evolutiivisesti vanhan ekosysteemin tuntomerkkejä) ja esim. kasviyhdyksuntaa luonnehtivat pitkä-ikäiset lajit. Juuri tietynlainen ristiriitaisuus soiden tarjoaman empiirisen aineiston ja sukkessioteorioiden (esim. Margalef 1960) välillä kehottaisikin tutkimuksiin tällä sektorilla. Soiden metsänparannuksellisista sekundäärisuknessioista on Suomessa kasviyhdyksuntien osalta kertynyt havaintoaineistoa enemmän kuin muualla. Monesta syystä olisi tarpeen selvittää miten kangasmetsämaistuminen sarjassa ojikko—muuttuma—turvekangas koskee koko eliöyhteisöä. Suoekosysteemitutkimuksen on voitava vastata myös kysymykseen mitä eliöyhteisöjen dynamiikassa näkyviä muutoksia soiden kehitys turvekankaiksi aiheuttaa ekosysteemikompleksin, biomin tasolla.

#### SUOEKOSYSTEEMIPROJEKTIN TOTEUTUMINEN

Mitä tyypillisimmin monitieteisinä ekosyste-

mien tutkimushankkeet eivät ole yhden laitoksen toteutettavissa. Ekologian perustutkimuslaitoksen puuttuessa ne eivät myöskään kuulu minkään olemassa olevan organisaation tehtäviin. 1970-luvun alussa samanaikaisesti usealta taholta — kasvavasta ekologian perustutkimuksesta, ympäristönsuojelusta ja käytännön metsänparannuksesta sekä viimeainittujen välisestä keskustelusta — esiin noussut suoekosysteemejä koskevan kokonaisselvityksen tarve on saanut Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston ja Helsingin yliopiston Kasvitieteen, Eläintieteen, Mikrobiologian ja Suometsätieteen laitosten tutkijoista koostuvan ryhmän suunnittelutyöhön, jonka tulokset on kahdesti esitetty Suomen Akatemialle tutkimussopimustarjouksen muodossa. Ko. suunnitelma on myös tämän kirjoituksen runkona. Samaan aikaan on esitutkimuksia suoritettu Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston ja Maatalous-metsätieteellisen toimikunnan rahoittamina sekä opinnäytetöinä. Rahoitusvaikeuksien takia kolmivuotiseksi venyneestä suunnittelu- ja esitutkimusvaiheesta saatu hyöty näkyy ryhmän poikkeuksellisen hyvänä tutkimusvalmiutena. Nytemmin MAB-projektin Suomen ohjelmaan sijoitetun hankkeen mahdollista raukeamista tässä tilanteessa on pidettävä onnettomuutena kaikkien luonnonekosysteemien hyödyntämisen ja hoidon piirissä työskentelevien kannalta.

#### KIRJALLISUUTTA

- Ahti, E. 1971. Maaveden jännityksen mittaamisesta tensiometrillä. Summary: Use of tensiometer in measuring soil water tension. *Folia Forestalia* 112.
- Ahti, E. 1973. Correcting stem girth measures for variations induced by soil moisture changes. *Comm. Inst. For. Fenn.* 78.4.
- Cragg, J. B. 1961. Some aspects of the ecology of moorland animals. *Jour. Anim. Ecol.* 30.
- Clymo, R. S. 1965. Experiments on the breakdown of *Sphagnum* in two bogs. *Jour. Ecol.* 53.
- Ellenberg, H. 1973. *Ökosystemforschung*. 228 pp. Berlin.
- Heikurainen, L. 1974. An attempt to survey the influence of forest drainage on the hydrology, in *Proc. of the Int. Symp. on Forest Drainage* 365–371.
- Huhta, V. 1972. Kvantitatiivisista maaperäeläinten keräily- ja erottelumenetelmistä. *Luonnon Tutkija* 76.
- Huhta, V., Karppinen, E., Nurminen, M. & Valpas, A. 1967. Effect of silvicultural practices upon the fauna of coniferous forest soil. *Ann. Zool. Fenn.* 4.
- Huikari, O. 1959. Metsäojitettujen turvemaiden vesitaloudesta. Referat: Über den Wasserhaushalt waldentwässerter Torfböden. *Comm. Inst. For. Fenn.* 51.2.



- Huikari, O. & Paarlahti, K. 1967. Results of field experiments on the ecology of pine, spruce, and birch. *Ibid* 64.1.
- Huikari, O. & Paavilainen, E. 1971. Metsänparannustyöt ja luonnon moninaiskäyttö. Summary: Forest improvement works and multiple use of nature. *Folia Forestalia* 113.
- Karsisto, K. 1970. Lannoituksessa annettujen ravinteiden huuhtoutumisesta turvemailta. Summary: On the washing of fertilizers from peaty soils. *Suo* 21. 3–4.
- Kozlovskaja, L. S. 1974. The effect of drainage on the change in the biological activity on forest peat soils, in *Proc. of the Int. Symp. on Forest Drainage* 57–62.
- Laine, J. & Mannerkoski, M. 1975. Tensiometrin käyttö turvemaiden kosteusolojen kuvauksessa. Summary: On the use of tensiometers in describing moisture conditions of peat soils. *Suo* 26 (2).
- Leikola, M. 1969. The influence of environmental factors on the diameter growth on forest trees. Axanometric study. *Acta For. Fenn.* 92.
- Luonnonsuojelu ja -hoito yksityismetsätaloudessa. *Tapio* 1970, Helsinki.
- Lähde, E. 1969. Biological activity in some natural and drained peat soils with special reference to oxidation-reduction conditions. *Ibid.* 94.
- MacFadyen, A. 1963. The contribution of the microfauna to total soil metabolism. In "Soil organisms" ed. Doeksen, J. & van der Drift, H. J., Amsterdam.
- Margalef, R. 1968. *Perspectives in ecological theory.* 111 pp. Chicago.
- Moore, P. D. & Bellamy, D. J. 1974. *Peatlands*, 221 pp. London.
- Mustonen, S. & Laikari, H. 1961. Ojituksen vaikutuksesta valuntaan Huhtisuon havaintoalueella. *Maalouhall. ins.os. tiedotuksia* n:o 2.
- Mälkönen, E. 1974. Annual primary production and nutrient cycle in some scots pine stands. *Comm. Inst. For. Fenn.* 84.5.
- Ohjekirja maiseman- ja luonnonhoidosta. *Metsähallitus* 1970, Helsinki.
- Paarlahti, K. 1964. Havaintoja pohjaveden korkeuden vaikutuksesta selluloosan hajaantumiseen rämeen ja korven turpeessa. *Konekirjoite.* Helsingin yliopiston Metsänhoitotieteen laitos/Metsäntutkimuslaitos, suontutkimusosasto.
- Paavilainen, E. 1973. Studies on the uptake of fertilizer nitrogen by scots pine using  $^{15}\text{N}$  labeled urea. *Comm. Inst. For. Fenn.* 79.2.
- Pyavchenko, N. I. 1974. Complex stationary investigation of peatland in Karelia, in *Proc. of the Int. Symp. of Forest Drainage* 63–70.
- Päivänen, J. 1970. Effect of thinning, clearcutting and fertilization on the hydrology of peatland drained for forestry. *Acta For. Fenn.* 104.
- Reinikainen, A., Purmonen, R. & Vilkamaa, P. 1974. ITR-ekosysteemin ja sen metsätaloudellisen muutuman rakenne ja toiminta. Tutkimusprojektin yleisperustelut, tutkimussuunnitelma ja preliminäärituloksia. *Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tiedonantoja* 2.
- Rosswall, Th. & Heal, O. 1975: Structure and function of tundra ecosystem. *Ecological Bulletins* 20.
- Silvola, J., Heikkinen, S. & Hanski, J. 1975. Turpeen akkumulaation määrittäminen kaasunvaihdon mittausten avulla. *Konekirjoite, Lammin Biol. asema.*
- Tolonen, K. 1973. Soiden kasvunopeudesta ja kasvutavan vaihteluista jääkauden jälkeisenä aikana. Summary: On the rate and pattern of peat formation during the postglacial time. *Suo* 24.5.

## SUMMARY:

### HOW TO STUDY A MIRE ECOSYSTEM

In the paper, a preliminary model of the structure and function of a boreal mire ecosystem is presented. In addition, a research plan leading to the model is described. In the exploitation and management of natural resources, information about the ecosystem as a

functional unit is needed, if ecological principles are to be applied. In Finland, mires (peatland ecosystems) have been subject to exceptionally severe exploitation since forest drainage and fertilization effectively started in the 1960's. However, mires represent one of the least known ecosystems.

The mire ecosystem has been defined according to Ellenberg's (1973) criteria as follows. A mire is an ecosystem maintained by cool and humid local climatic conditions and a high water table, which results in deficient decomposer activity and accumulation of organic matter (peat-forming process). The most striking features in the energetics of the system are a relatively ineffective input of energy and an even more ineffective use of it. This is indicated in the metabolism of the system by an excess production of oxygen and, in addition, by losses in the carbon, mineral, and nitrogen cycles.

A general model of the mire ecosystem is presented in Figure 1, which simultaneously serves as a framework for the study. The individual parts of the project are planned to be as follows:

(1) environmental factors, (2) plant community and primary production, (3) secondary production, in which (3a) energy flows through herbivores, and (3b) energy flows through decomposers, (4) nutrient cycle, (5) the accumulation of peat, and (6) succession in the mire ecosystem.

In (1), special attention has been paid to factors characteristic of mires, especially the factors connected with the water table. As the aim of the study is to obtain a dynamic model of a biotic phenomenon, emphasis has been put on the continuous observation of environmental factors.

In (2), a graphic model (Fig. 3) has been chosen as the primary goal. Graphic models of a few peatland site types based on preliminary studies already exist. When constructing dynamic ecosystem models, the growth rhythm of the plant communities is the most important study object. Some advances in the methodological development of measuring the growth of mire plants have been achieved. For instance, the problems involved in measuring the height growth of *Sphagnum* mosses in field conditions

have partly been solved. An application of the IRGA-technique to studying the organic matter production of the *Sphagnum* — dwarf shrub community is ready for use in field conditions, but the methods for combining direct measurement data with IRGA results are still inadequate.

The main task in (3) is characterized by Figure 2, i.e. energy flow and material should be divided into biotic components. By using population studies, decomposition tests, and experimental respiration techniques, a more detailed quantitative model of these pathways can be constructed. Preliminary results for total decomposer activity and the role of soil animals in detritus energy flow have already been revealed.

Branches (4) and (5) are very closely connected with each other and with (3b). A detailed study into the different terms which make up the accumulation equations as a function of the environmental factors has been proposed.

In (6), the suitability of the mire ecosystem as a study object of stability and succession problems has been emphasized. The successional stage of the ecosystem is very strongly affected by forest improvement measures. For this reason, the study of the regulation mechanisms of mire communities is important in Finland, where about 4.5 mill. ha. out of a total of 10 mill. ha. have been drained and partly fertilized so far for forestry purposes.

Finally, the future of the planned research project *The structure and function of mire ecosystems and the effects of forest improvement on them* is discussed. The working group consisting of biologists from the Finnish Forest Research Institute (Department of Peatland Forestry) and from a number of departments at Helsinki University (Botany, Zoology, Microbiology) is waiting for the research plan, now connected with the MAB-program of Finland, to be financed. The preliminary studies are continuing on a small scale.