

Erkki Lähde:

TUTKIMUKSIA BIOLOGISESTA AKTIVITEETISTA ERÄIDEN LUONNONTILAISTEN JA OJITETTUIEN SOIDEN TURPEESSA

Johdanto

Turvetta hajottavien mikrobin toimintaa rajoittavat monet ekologiset tekijät. Huomattava merkitys tässä hajotusprosessissa on mm. hapetuspelkistysuhteella. Turvemaidilla hapetuspelkistyspotentiali aleneekin pinnasta syvemmälle mentäessä (ISOTALO 1951, PAARLAHTI 1961), kunnes anaerobisissa olosuhteissa hajottavat mikrobit eivät enää voi tehokkaasti toimia. Sellaisissa olosuhteissa eivät puiden juuretkaan pysty elämään. Puulajien välillä on tosin jossain määrin eroa suhtautumisessa vähähappisiin olosuhteisiin. Verrattaessa koivua, kuusta ja mäntyä toisiinsa näyttää koivu kestävän parhaiten hapen puutetta (HUIKARI 1954).

Soita ojittamalla on pyritty parantamaan niiden vesitaloutta myös mikrobin toiminnan kannalta edullisemmaksi. Mm. MULLETAMÄKI (1952) on korostanut happitalouden merkitystä turpeen hajoamisessa. Ojituksen positiivinen vaikutus ei kuitenkaan ulotu kuin ohueen pintakerrokseen, vaikka kävettäisiin kapeatakin sarkalevevettä (HUIKARI 1953, PAARLAHTI 1961). Biologisesti aktiivinen kerros käsittää siten sekä luonnontilaisilla että ojitetuilla soilla vain ohuen pintakerroksen.

Edellä mainittua biologista aktiviteettia on tutkittu sekä laboratorio- että kenttämenetelmin. Kangashumuksesta tällaisia mittauksia on tehty melko runsaasti, sen sijaan turvemaidilla ne ovat jääneet vähäisiksi. Etupäässä on käytetty menetelmiä, joissa mitataan orgaanisen aineksen kaasunvaihtoa I. maan henoitvistä. Tällöin on kuitenkin tydytty määrittämään vain kaasunvaihdossa erittävä hiilidioksidi. Viime aikoina myös metsäbiologisisa tutkimuksissa tunnetuksi tulleella (MEYER 1959 ja 1960, LÄHDE 1966 b ja c) ns. Warburg-tekniikalla kehitetään mittaamaan hengityksessä kuluva hapenkin määrä.

Itse hajotusnopeutta maassa on selvitetty kävttämällä tutkimusmateriaalina mm. selluloosaa. Viskoosisilkkilangan vetolujuuden heikkenemisellä maassa tietynä aikana on

kuvattu hajotuksen voimakkuutta (RICHARD 1945). Selluloosaa hajottavaa mikrobilajistoa on tutkittu pitämällä steriloituja selluloosapalasia maassa (TRIBE 1957). Suorastaan selluloosapalasten painon väheneminen maassa tiettyssä ajassa osoittaa kohteeseen hajotusaktiviteettia (PAARLAHTI 1964).

Käsillä olevassa tutkimuksessa pyritään selvittämään sekä laboratorio- että kenttämenetelmin eräiden luonnontilaisten ja ojitetujen soiden turpeen biologista aktiviteettia eri syvyyksillä. Erityisesti kiinnitetään huomiota kuluvan hapen ja erittyvän hiilidioksidin määrien avulla turvenäytteiden hapetuspelkistysuhteisiin ja siihen, mitä muutoksia kuivatus ja puusto, nimenomaan pohjavesipintaa alentaen, aiheuttavat näihin suhteisiin.

Tutkimuskohteet ja -menetelmät

Tämä tutkimus tehtiin Helsingin yliopiston metsäharjoitteluasemalla kesinä 1964 ja 1965. Koealoiksi valittiin ensimmäisenä kesänä luonnontilaisista soista varsinainen saraneva (VSN) ja mustikkakorpi (MK) sekä vastaavat ojitusalueet VSN-ojikko (oj. v. 1950) ja Mtkg (oj. v. 1913). Toisena kesänä koealaparin muodostivat lyhytkortinen neva (LkN) ja varsinainen saranevamuuttuma (VSNmu), mikä oli ojitettu 1920-luvulla. Tiedot koealojen puustosta esitetään taulukossa 1. Tiedot pohjavesipinnan vaihtelusta saatiin yliopiston suometsätieteen laitokselta.

Turpeen biologisen aktiviteetin mittauksissa käytettiin laboratoriokokeissa Warburg-laitetta mallia V 85 (valmistaja B. Braun, Melsungen). Laitteella mitataan turvenäytteistä kaasunvaihto vakiolämpötilassa ja -tilavuudessa paineen muutoksina, jotka edelleenkin laskentakaavojen avulla muutetaan tilavuusmitoiksi (μl) näytteen painoyksikköä ja aikayksikköä kohti. Käytettyä menetelmää on tarkemmin selostanut LÄHDE (1966 b ja c).

Taulukko 1. Koealojen puusto.
Table 1. Stand data from the sample plots.

Koeala Sample plots 1) by swamp type	Ikä, v. Age of stand, years	m ³ /ha volume, cu. m/ha	Puulaji % Proportion of stems by species, %		
			Mä Pine	Ku Spruce	Ko Birch
VSN — OCS		puuton treeless			
VSN _{oj} — OCS _{dr} 1	15	10	50	10	40
MK — Myrt. SS	65	85		70	30
Mt _{kg} — Myrt. dr 3	95	160		100	
LkN—LCS		puuton treeless			
VSN _{mu} — OCS _{dr} 2	45	115	100		

1) OCS ordinary sedge swamp
LCS low sedge swamp
Myrt.SS Myrtillus spruce swamp
OCS_{dr} 1 recently drained ordinary sedge swamp

OCS_{dr} 2 drained ordinary sedge swamp with considerable site changes after draining
Myrt.dr 3 drained area with vegetation resembling that of a upland site, Myrtillus-type

Tutkittaviksi valittiin koealoilta turvekerrokset pinnasta 28 cm:iin asti 3 cm:n paksuisina siten, että kerrosten väliltä jätettiin ottamatta kahden cm:n paksuinen osa. Avosoiden koealoilta tutkittiin vain kerrokset pinnasta 15 cm:iin asti, koska näytteenottoputkella ei saatu näytteitä syvemmältä. Turvekerroksista määritettiin turvelaji ja maatumisaste von Postin kaavan mukaan (taulukko 2). Näytteet otettiin koealoilta kymmenestä sattumanvaraisesta kohdasta. Samasta kerroksesta otetut näytteet yhdistettiin ja sekoitettiin mahdollisimman homogeeniseksi massaksi, josta edelleen otettiin Warburg-laitetta varten 1 g:n suuruiset erät.

Selluloosan hajotuksen *in situ* tutkimisessa käytettiin menetelmää, jota ensiksi on kokeillut PAARLAHTI (1964) ja myöhemmin kangasmailla LÄHDE (1966 a). Selluloosapalaset upotettiin nailonharsopusseissa pystysuoraan turpeeseen. Kumpanakin kesänä ne olivat maassa lähes neljä kuukautta kesäkuun puolivälistä lokakuun alkuun. Selluloosan kuivapainon väheneminen osoitti hajotusnopeuden eri syvyyksillä turpeessa.

Tulokset käsiteltiin mahdollisuuksien mukaan tilastomatemattisesti varianssianalyysin ja F-testin avulla. Keskiarvojen pie-

nin merkitsevä ero (p_{me}) laskettiin Tukeyn kaavalla 95 %:n luotettavuudella.

Hüliidioksidin erityis eri syvyyksiltä otetuissa turvenäytteissä

Laboratoriomittausten perusteella CO₂-eritys on suon pintakerroksista otetuissa näytteissä huomattavasti voimakkaampaa kuin syvemmältä otetuissa. Avosoilta pintakerroksista (0—15 cm) otettujen näytteiden välillä ei esiinny tilastomatemattisia eroja (taulukot 3 ja 4). Pintakerros (0—3 cm) MK:lla ja Mt_{kg}:lla poikkeaa eniten muista kerroksista sekä vielä 5—8 cm:n kerros huomattavasti alle 20 cm:n kerroksista. VSN_{oj}:lla pintakerrosta syvemmät kerrokset eivät enää eroa toisistaan niin selvästi. Ko. koeala onkin vasta n. 15 v. sitten ojitettu. Ojitus ja puusto ovat kuitenkin jo muuttaneet niitä ekologisia olosuhteita, joista mikrobien toiminta riippuu.

Primäärisesti saman tyyppin koeala on VSN_{mu} (taulukko 4), mutta ojitusiältään se on huomattavasti vanhempi. Pintakerroksista (0—15 cm) otetut turvenäytteet eivät tällä koealalla eroa toisistaan CO₂-erityksen suhteen, mutta kylläkin sy-

paan hapen yhteyteen, tapahtuu hapetusreaktio, jossa hiilidioksidia ei vapaudukaan vastaavaa määrää.

Tähän hypoteesiin perustuen tutkittiin, miten eri syvyyksiltä erilaisista olosuhteista otetut turvenäytteet vapaan hapen yhteyteen jouduttuaan reagoivat Warburg-laitteessa. Esimerkkeinä näistä mittaustuloksista esitetään kuvat 1 ja 2. Niissä nähdään koelapareittain hapen kulutus ja hiilidioksidin erityis eri syvyyksiltä otetuissa näytteissä. Ko. mittauksia varten näytteitä otettiin kesällä 1964 7—8 kertaa ja kesällä 1965 4—5 kertaa.

Mustikkaturvekankaalla sekä CO₂- että O₂-määrät laskivat koko kesän ajan näytteissä pinnasta syvemmälle mentäessä. Sen sijaan mustikkakorvessa tilanne oli toisenlainen (kuva 2). CO₂-määrä oli edelleen laskeva, mutta O₂-kulutus muuttui 10—20 cm:n syvyydeltä otetuissa näytteissä nousevaksi. Vastaava ilmiö voitiin todeta sekä avosoilla että toisilla ojitettujen suon koelapareilla.

Edelleen nähdään (kuvat 3 ja 4), että rajakohta, jolloin hapen kulutus näytteissä muuttuu nousevaksi, vaihtelee kesän kuluessa ja koelapareista riippuen. Tarkkaa kohtaa ei voida mittausten perusteella määrittää, mikä johtuu siitä, että näytteet on

T a u l u k k o 4. CO₂-eritys $\mu\text{l/g/t}$ koelapareiden syvyyksikerroksittain vuoden 1965 mittausten mukaan.

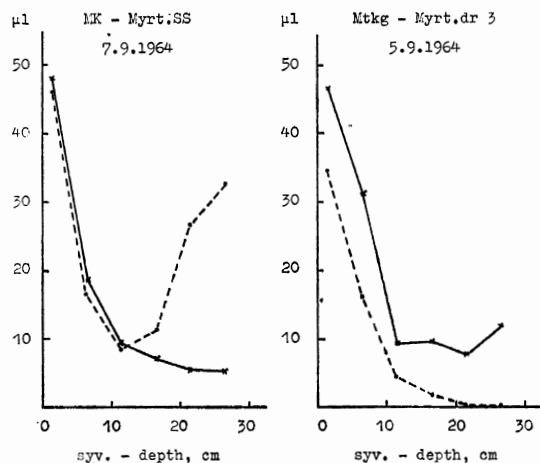
Table 4. CO₂ release $\mu\text{l/g/h}$ by layer and sample plot according to the measurements of 1965.

Syv. cm Depth, cm	LkN LCS	VSNmu OCSdr 2	F	pme _{.05} LSD _{.05}
0—3	9.2	41.9	xxx 22.9	16.7
5—8	10.0	43.4	xxx 36.4	13.5
10—13	12.4	30.0	x 9.1	14.0
15—18		11.9		
20—23		17.3		
25—28		12.7		
F	0.8	5.8		
pme _{.05} LSD _{.05}	8.3	26.8		

otettu suhteellisen paksuina kerroksina ja kerrosten väliltä on jätetty osa turvetta tutkimatta.

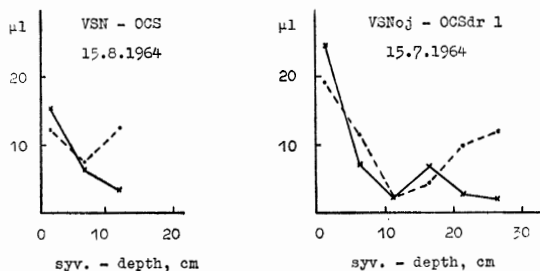
Selluloosan hajotusnopeus turpeessa

Selluloosan hajotusnopeustulokset samoilta koelapareilta, joilta Warburg-mittaukset tehtiin, esitetään taulukoissa 5 ja 6. Luvut on laskettu prosentteina kuivapainosta. Kesän -64 aineisto (taulukko 5) sisältää 10 ja kesän -65 (taulukko 6) 20 selluloosapalasta koelapareiden kutakin kerrosta kohti.



K u v a 1. CO₂-eritys (—) ja O₂-kulutus (---) ($\mu\text{l/g/t}$) eri syvyyksiltä otetuissa turvenäytteissä.

Fig. 1. CO₂ release (—) and O₂ uptake (---) ($\mu\text{l/g/h}$) in peat samples taken from different depths.



K u v a 2. CO₂-eritys (—) ja O₂-kulutus (---) ($\mu\text{l/g/t}$) eri syvyyksiltä otetuissa turvenäytteissä.

Fig. 2. CO₂ release (—) and O₂ uptake (---) ($\mu\text{l/g/h}$) in peat samples taken from different depths.

T a u l u k k o 5. Selluloosan painon menetys (prosenttia kuivapainosta) kesän 1964 aikana.

T a b l e 5. Loss of dry weight of cellulose (per cent) during the summer of 1964.

Syv. cm Depth, cm	VSN OCS	VSN _{oj} OCS _{dr 1}	F	pme ₀₅ LSD ₀₅	MK Myrt.SS	Mt _{kg} Myrt.dr3	F	pme ₀₅ LSD ₀₅
0—10	17.8	31.9	xx 8.6	10.1	17.2	34.8	xxx 25.1	23.3
10—20	3.2	18.0	xx 11.3	9.2	2.5	25.0	x 5.4	20.3
20—30	0.4	10.2	x 6.7	7.9	0.7	19.6	x 5.5	16.8
30—40	0.5	0.8	0.8	0.6	1.0	11.6	2.9	13.0
40—50	0.2	0.0	3.3	0.3	1.1	7.1	2.1	8.8
F	xxx 58.0	xxx 19.5			xxx 12.1	1.9		
pme ₀₅ LSD ₀₅	4.0	12.2			8.3	32.2		

T a u l u k k o 6. Selluloosan painon menetys (prosenttia kuivapainosta) kesän 1965 aikana.

T a b l e 6. Loss of dry weight of cellulose (per cent) during the summer of 1965.

Syv. cm Depth, cm	LkN LCS	VSN _{mu} OCS _{dr 2}	F	pme ₀₅ LSD ₀₅
0—5	14.4	22.6	xx 9.1	5.4
5—10	3.8	7.1	3.9	3.5
10—15	0.2	4.7	xx 9.2	2.7
15—20	0.1	6.5	16.3	3.1
20—25	0.1	6.6	xxx 14.6	2.4
25—30	0.0	8.6	xxx 16.3	2.9
F	xxx 54.2	xxx 14.2		
pme ₀₅ LSD ₀₅	3.4	7.8		

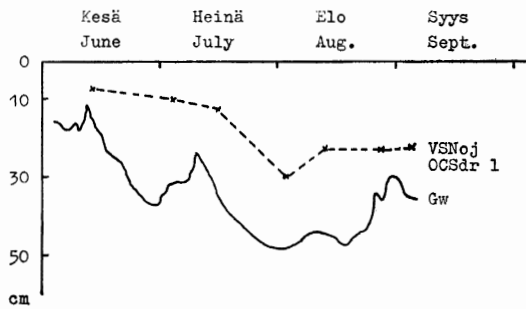
Koalapareittain voidaan tarkastella ojituksen ja puuston vaikutusta hajottavien mikrobin toimintaan. Kaikilla luonnontilaisilla ja nuorehkoilla ojitusaluilla selluloosan hajotus hidastuu voimakkaasti pinnasta syvemmälle mentäessä. Sen sijaan mustikkaturvekankaalla se on voimakasta vielä

40—50 cm:n syvyydellä. Avosoilla selluloosan hajotusta tapahtuu vain 0—10 cm:n kerroksissa. Näin on asianlaita myös luonnontilaisella puustoa sisältävällä MK:lla. Tässä suhteessa tulokset eroavatkin Warburg-mittauksen antamista tuloksista (taulukot 3 ja 4).

Luonnontilaisilla ja ojitetuilla koealoilla on selluloosan hajotusnopeudessa eroa. Sekä Mt_{kg}:lla, VSN_{mu}:lla että VSN_{oj}:lla se tapahtuu nopeammin kuin vastaavilla luonnontilaisilla soilla. Verrattaessa kaikkia koealoja toisiinsa on hajotus voimakkainta vanhimmalla ojitusalueella. Eron ei kuitenkaan tarvitse johtua ojituksen erilaisesta iästä, koska koealat poikkeavat toisistaan jonkin verran turvelajin ja primäärisen suotyypin puolesta.

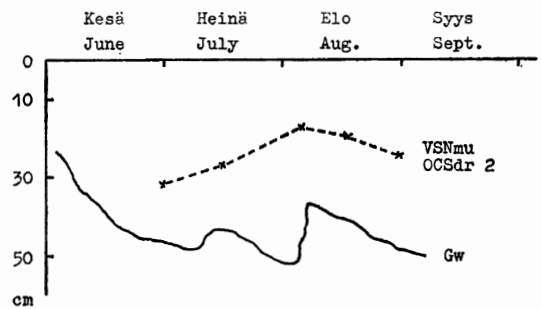
Tulosten tarkastelua

Tulokset osoittavat, että avosoiden koealoilla CO₂-eritys on suurin piirtein yhtä voimakasta eri syvyyksiltä otetuissa turvenäytteissä, mutta muilla koealoilla se on huomattavasti heikompa pinnasta syvemmälle (jo 5—8 cm:iin) mentäessä. Turpeen biologisen aktiviteetin heikkeneminen johtuu hapetuspelkistysuhteista, mitkä taas osaltaan aiheuttavat esim. juuriston pinnallisuuden ja mikrobin määrän vähenemisen turpeessa pinnasta syvemmälle siirryttäessä. Juuriston pinnallisuutta suossa osoit-



Kuva 3. CO_2 -erityksen ja O_2 -kulutuksen perusteella arvioidun aerobisuusrajakohdan (— — —) ja pohjaveden korkeuden (Gw) vaihtelu VSNoj:lla kesän 1964 aikana.

Fig. 3. The turning point in the OCSdr 1, calculated on the basis of the CO_2 release and the O_2 uptake, and the changes of the groundwater level (Gw) during the summer of 1964.



Kuva 4. CO_2 -erityksen ja O_2 -kulutuksen perusteella arvioidun aerobisuusrajakohdan (— — —) ja pohjaveden korkeuden (Gw) vaihtelu VSNmu:lla kesän 1965 aikana.

Fig. 4. The turning point in the OCSdr 2, calculated on the basis of the CO_2 release and the O_2 uptake, and the changes of the groundwater level (Gw) during the summer of 1965.

tavat HEIKURAISEN (1955) esittämät tulokset juurten kärkien lukumäärän prosenttisesta jakaantumisesta eri syvyyksillä tupasvilliarämeellä. Pääosa n. 87 % juurten kärkien määrästä on ohuessa 5 cm:n paksuisessa pintakerroksessa ja vain n. 3 % alle 10 cm:n kerroksissa.

Metsää kasvavilla koealoilla ei 0—3 cm:n kerroksesta otettujen turvenäytteiden CO_2 -erityksessä esiinny mainittavia eroja, mutta avosoilta otettujen näytteiden CO_2 -eritys on vain n. 1/3 edellämaituista (taulukot 3 ja 4). Kuten jo todettiin, ei VSN:llä eikä LkN:llä eri syvyyksiltä otettujen näytteiden CO_2 -erityksessä ole eroja. Näiden koealojen pintakasvillisuus muodostuuakin pääasiallisesti rahkasammalista ja saroista. Sarojen juuret ulottuvat suureksi osaksi yli 10 cm:n syvyyteen (GYLLENBERG et. al. 1955). PAARLAHTI (1961) on lisäksi todennut, että Vtkg:n, Mtkg:n, VSR:n ja MK:n pintakerroksessa esiintyy yhtä runsaasti bakteereja, mutta RiSN:llä paljon vähemmän.

Rinnakaistutkimuksena suoritettuna selluloosanhajotuskokeen in situ tuloksia verrattaessa Warburg-laitteella saatuihin havaitaan, että hajotusnopeus ja eri syvyyksiltä otettujen turvenäytteiden CO_2 -eritys korreloivat keskenään. Eroa tuloksissa on siinä, että selluloosa hajooa MK:n pintakerroksessa hitaammin kuin vastaavalla ojitetulla suolla, kun taas CO_2 -eritys ko. syvyyksiltä otetuissa näytteissä on ajoittain jopa voimakkaampaa. Tulos osoittaa siten, että oji-

tus parantaa selluloosaa hajottavien mikrobin toimintamahdollisuuksia.

Tuloksia edelleen verrattaessa voi myös päätyä siihen olettamukseen, että kuivatukseen vaikutuksesta turpeen biologinen aktiiviteetti CO_2 -erityksen muodossa voimistuu suhteellisen syvälle turpeessa, kunnes jo riittävän vanhalla ojitusalueella helposti hajoantuvien aineiden vähetessä näin ei enää voi tapahtua, kun taas hapetuspelkistysuhteen parantuessa selluloosan hajotus edelleen nopeutuu.

Tulosten perusteella voidaan tarkastella hapetuspelkistysuhteen muuttumista. Warburg-laitteella on voitu mitata näytteistä kaasunvaihdossa kuluva happi ja näin todeta tämä suhde. Tämä perustuu siihen hypoteesiin, että turpeessa on aineita, jotka joutuessaan vapaan hapen yhteyteen hapetuvat sitä voimakkaammin mitä alhaisempi hapetuspelkistyspotentialiaali suossa alkujaan on.

Suoritettujen mittausten nojalla ei tällaista hapen puutetta havaita mustikkaturvekankaalla (kuva 2), jossa pohjavesipinta on koko mittauskauden pysynyt 30 cm:n alapuolella, vaan sekä CO_2 -eritys että O_2 -kulutus turvenäytteissä eri syvyyksillä ovat suurin piirtein yhtä suuria koko tutkimuskauden ajan. Toisin on asianlaita muilla koealoilla. Erikoisen selvästi voidaan hajottajien kannalta haitallista hapen puutetta havaita MK:n koealalla 10—13 cm:n ja sitä syvemmissä kerroksissa. VSN:llä käännekohta, jolloin kuluva O_2 -määrä ylittää

erittyvän CO₂-määrän, on jo aivan lähellä pintaa.

Edelleen, varsinkin MK:n, VSNoj:n ja VSNmu:n osalta voidaan havaita, että todettu käännekohta, jota voidaan nimittää aerobisuusrajaksi, vaihtelee mittausajankohtina ilmeisesti myötällien pohjavesipinnan vaihtelua (kuvat 3 ja 4). Pohjavesi-

pinnan noustessa myös aerobisuusraja nousee. Toisaalta sateet nostavat pohjaveden korkeutta, mutta myös kuljettavat happea suohon. Tulokset näiltä osin ovat vain suuntaa-antavia, mutta antavat kuitenkin aihetta jatkaa kokeita Warburg-menettelmää käyttäen, nimenomaan turpeen aerobisuus-anaerobisuuskykyksen ratkaisemiseksi.

Summary:

STUDIES ON THE BIOLOGICAL ACTIVITY IN THE PEAT OF SOME VIRGIN AND DRAINED SWAMPS

The study has been primarily carried out in laboratory conditions by the Warburg technique; the respiration — produced carbon dioxide and consumed oxygen — of peat samples from various depths has been measured (tables 3 and 4, figures 1 and 2). The method has made possible the study of the oxidation-reduction conditions in the peat samples and the changes that draining and the tree stand cause, especially by decreasing the ground-water level, in these conditions. In the same sample plots, the decomposition rate of cellulose as a measure of the biological activity of peat has been examined *in situ* (tables 5 and 6).

The project was primarily designed to study the methods, and the observations showed these to be applicable in studying these problems. The results indicate that draining causes a drop in the aerobic limit, i.e., the limit or the zone, at which the aerobic environment in the peat changes into an anaerobic one. In the latter, the quantity and the species composition of the microbes are distinctly different from that in the aerobic environment. The limit seems to correlate with the ground-water level fluctuations (figures 3 and 4).

KIRJALLISUUTTA

Gyllenberg, H., Hanioja, P. ja Vartiovaara, U. 1955. Havaintoja eräiden viljelemättömien maatyypien mikrobiston koostumuksesta. Summary: Observations on the composition of microbial population in some virgin soils. Acta Forest. Fenn. 62. 2.

Heikurainen, L. 1955. Rämemännikön juuriston rakenne ja kuivatuksen vaikutus siihen. Referat: Der Wurzel-aufbau der Kieferbestände auf Reiser-moorböden und seine Beeinflussung

durch die Entwässerung. Acta Forest. Fenn. 65. 3.

Huikari, O. 1953. Tutkimuksia ojituksen ja tuhkalannoituksen vaikutuksesta eräiden soiden pieneliöstöön. Summary: Studies on the effect of drainage and ash fertilization upon the microbes of some swamps. Comm. Inst. Forest. Fenn. 42. 2.

Huikari, O. 1954. Experiments on the effect of anaerobic media upon birch, pine and spruce seedlings. Comm. Inst. Forest. Fenn. 42. 5.

- I s o t a l o, A. 1951. Studies on the ecology and physiology of cellulose-decomposing bacteria in raised bogs. *Acta Agr. Fenn.* 74.
- M e y e r, F. H. 1959. Untersuchungen über die Aktivität der Mikroorganismen im Mull, Moder und Rohhumus. *Arch. Mikrobiol.* 33:149—169.
- M e y e r, F. H. 1960. Vergleich des mikrobiellen Abbaus von Fichten- und Buchenstreu auf verschiedenen Bodentypen. *Arch. Mikrobiol.* 35:340—360.
- M u l t a m ä k i, S. E. 1952. Suo metsän kasvupaikkana. Summary: Swamps as a habitat for forests. *Comm. Inst. Forest. Fenn.* 40. 27.
- L ä h d e, E. 1966 a. Kokeita selluloosan hajoamisnopeudesta erilaisissa metsiköissä. Summary: Experiments on the decomposition rate of cellulose in different stands. *Silva Fenn.* 119. 1.
- L ä h d e, E. 1966 b. Vertical distribution of biological activity in peat of some virgin and drained swamp types. *Acta Forest. Fenn.* 81. 6.
- L ä h d e, E. 1966 c. Studies on the respiration rate in the different parts of the root systems of pine and spruce seedlings and its variations during the growing season. *Acta Forest. Fenn.* 81. 8.
- P a a r l a h t i, K. 1961. Tutkimuksia eräiden luonnontilaisten ja metsäojitettujen soiden pieneliöstöstä ja niiden ympäristötekijöistä. Unpublished. Department of Peatland Forestry. University of Helsinki.
- P a a r l a h t i, K. 1964. Havaintoja pohjaveden vaikutuksesta selluloosan hajoamiseen rämeen ja korven turpeessa. Unpublished. Department of Silviculture, University of Helsinki.
- R i c h a r d, F. 1945. Der biologische Abbau von Zellulose- und Eiweiss-Testschnüren im Boden von Wald- und Rasengesellschaften. *Schweiz. Anst. forst. Versuchsw. Mitt. Bd.* 24:297—397.
- T r i b e, H. T. 1957. Ecology of microorganisms in soils as observed during their development upon buried cellulose film. *Microbiol. Ecology. 7th Symp. Soc. gen. Microbiol.*:287—298.