



LIETELANNOITUS ENERGIAPUUN KASVATUKSESSA

JOUKO SIIRA JA JORMA TAHVANAINEN (TOIM.)

METSÄNTUTKIMUSLAITOS

Metsänhoidon tutkimusosasto

Unioninkatu 40 A

METSÄNTUTKIMUSLAITOS

Metsänhoidon tutkimusosasto

Unioninkatu 40 A

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN

TIEDONANTOJA

138

JOENSUUN TUTKIMUSASEMA

LIETELANNOITUS ENERGIAPUUN
KASVATUKSESSA

JOUKO SIIRA JA JORMA TAHVANAINEN (TOIM.)

Kansikuva: Hannu Nousiainen

JOENSUU 1984

ALKUSANAT

Metsäntutkimuslaitoksen piirissä on toiminut vuodesta 1978 lähtien PERA-projekti (Puu energian raaka-aineena). Joensuun korkeakoulussa käynnistyi vuonna 1979 tähän projektiin kuuluva tutkimus "Jätteiden hyväksikäyttö energiapuun kasvatuksessa".

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää Joensuun kaupungin jätevesipuhdistamon jätelietteen käyttömahdollisuus ekologisesti ja taloudellisesti tarkoituksenmukaisella tavalla energia-puuta tuottavien vesametsien ja energiapuuviljelmien lannoitteena. Tutkimuksia on tehty sekä koekentillä että kasvihuoneissa.

Tässä julkaisussa esitettävät tulokset ovat vuosilta 1979-1980. Aineisto esitetään kolmena artikkelina. Yhdessä tarkastellaan liettelannoituksen vaikutusta kasvihuoneolosuhteissa vesipajun ja rauduskoivun kasvuun ja kemialliseen koostumukseen, toisessa jätelannoituksen vaikutusta maaperän biologiseen aktiivisuuteen ja kolmannessa esitetään lietteellä lannoitetun vesametsän tuotosmittauksia ensimmäisen kasvukauden lopulla.

Joensuussa, tammikuussa 1984

Jouko Siira

Jorma Tahvanainen

ISSN 0358-4283

ISBN 951-40-0965-7

ABSTRACTS

JOUKO SIIRA, YRJÖ HEIKKINEN & MAIJA-LIISA VILJANEN: The effect of sewage sludge fertilization on the growth and chemical composition of *Salix cv. aquatica* and *Betula pendula*. pp. 6-17

The effect of sewage sludge fertilization on the growth and chemical composition of *Salix cv. aquatica* and *Betula pendula* was investigated with pot experiments. For willow following sludge concentrations were used: 25 000 kg/ha, 50 000 kg/ha, 100 000 kg/ha and 200 000 kg/ha; for birch 50 000 kg/ha and 200 000 kg/ha was used only. The effect of nickel and aluminum was investigated also with water culture experiments.

Sludge fertilization induced the growth of stems and leaves of birch. The growth effect on the willow shoots was negligible, but the sludge clearly hindered the growth of roots.

Sludge fertilization strongly raised Cu-, Fe-, Ni-, and Al-content of willow roots and Ni-content of willow leaves. The changes in the metal content of birch due to sludge fertilization were less pronounced.

The results of water culture experiments strengthen the hypothesis that aluminum was the main agent in the sludge affecting root growth. The results also indicate that the high nickel content of the substrate induces the concentration of copper in the roots. Nickel slightly affects also the behavior of iron and zinc.

Sludge fertilization more than doubled the phosphorus and nitrogen content of both birch and willow leaves. This means the increase of raw protein content of leaves from 8 to 20 percent.

TIMO J. HOKKANEN & ARJA VUORINEN: The effect of sewage sludge on the biological activity of the soil. pp. 18-28

The biological activity and some physical properties of the soil were investigated in three experimental fields where sewage sludge and chemical fertilizers had been used. The experimental fields were situated in a clear cut coppice forest, in an old hay field and on an abandoned peat production area.

The effect of sewage sludge fertilization on soil respiration and pH after one growing season was quite weak; in one experiment sewage sludge slightly decreased soil respiration. Apparently the nutrients of the sludge become mobilized very slowly during the first growing season. Dehydrogenase activity, however, responded positively to sludge fertilization.

In the peatland experiment, lime and wood ash treatment strongly increased soil pH and respiration indicating active mobilization of nutrients from the peat. Nitrogen fertilization had only a minor effect on CO₂-production of the peat.

JORMA TAHVANAINEN, PERTTI HUTTUNEN, MAIJA-LIISA VILJANEN, JOUKO SIIRA & JORMA ISSAKAINEN: First year yield of coppice forest fertilized with sewage sludge. pp. 29-41

The growth of a coppice stand during the first growing season after clear cutting and fertilization of the experimental field with sewage sludge was investigated. The experimental field (nine plots, 22x25 m each) was fertilized in June in groups of three plots as follows: unfertilized control, sewage sludge 12 000 kg/ha, and sewage sludge 30 000 kg/ha. At the end of growing season the density and biomass yield of the shoots were investigated.

The mean shoot density in the field was 124 500 shoots per hectare. The number of shoots per stump was highest in willows (7,8-25,0 shoots per stump) and lowest in birch, alder and aspen (4,0-5,1 shoots per stump). The mean weight of individual shoots was highest in willows and birch. Willows and birch produced stump shoots only, while alder, aspen and mountain ash produced both stump and root shoots. The overall relative shoot productivity when compared with the original tree stand of the experimental field was highest in willows, aspen and mountain ash. The mean biomass produced by the coppice during the first growing season was 1,6 tons (dw) per hectare, ranging between 1 and 2,6 tons per hectare on individual plots. No clear fertilizer effect was found. Apparently the shoots receive enough nutrients from the stumps and roots of the clear cut coppice during the first growing season.

Sisällysluettelo

	Sivu
Alkusanat	
Jouko Siira, Yrjö Heikkinen ja Maija-Liisa Viljanen Lietelannoituksen vaikutus vesipajun (<i>Salix cv. aquatica</i>) ja rauduskoivun (<i>Betula pendula</i>) kasvuun ja kemialliseen koostumukseen	6
Timo J. Hokkanen ja Arja Vuorinen Jätelannoituksen vaikutuksesta maaperän biologiseen aktiivisuuteen	18
Jorma Tahvanainen, Pertti Huttunen, Maija-Liisa Viljanen, Jouko Siira ja Jorma Issakainen Lietelannoitetun vesametsän tuotoksesta ensimmäisen kasvukauden aikana	29

JOUKO SIIRA, YRJÖ HEIKKINEN ja MAIJA-LIISA VILJANEN

LIETELANNOITUKSEN VAIKUTUS VESIPAJUN (*Salix cv. aquatica*)
JA RAUDUSKOIVUN (*Betula pendula*) KASVUUN JA KEMIALLISEEN
KOOSTUMUKSEEN

Johdanto

Voimaperäisessä maa- ja metsätaloudessa syntyvä maaperän ravinnevaje täytetään tavallisesti lannoittamalla. Kemiallisen lannoituksen kustannusten takia on kiinnostuttu myös erilaisten jätteiden sisältämistä kasviravinteista. Esi-merkiksi jätevesipuhdistamoiden jäteliete sisältää runsaasti kasvien tarvitsemia aineita, mutta toisaalta lietteestä saattaa olla myös haittaa, kuten esim. raskasmetalleista.

Tämä tutkimus on kenttäkokeiden esitutkimus. Kasvatukset tehtiin astiakokeina kevättalvella 1980. Päähuomio kiinnitetään lannoitevaikutukseen sekä alumiinin ja nikkelin ekofysiologiseen merkitykseen.

Materiaali ja menetelmät

Tehdyssä tutkimuksessa koekasveina olivat vesipaju (*Salix cv. aquatica*) ja rauduskoivu (*Betula pendula*). Koivuilla kasvatus aloitettiin taimista ja pajuilla pistokkaista. Jätelietteen kemiallinen koostumus kuiva-ainetta kohti oli seuraava:

N	4-5 %	Mg	n. 0,5 %	Pb	n. 0,2 mg/g
P	2-3 %	Ca	12-17 mg/g	Mn	0,3-0,5 mg/g
K	0,1-0,6 %	Zn	0,5-0,8 mg/g	Cd	4-6 ug/g
Al	3-4 %	Cu	0,3-0,5 mg/g		
Fe	1-2 %	Ni	0,3-0,7 mg/g		

Kasvatusaltaat olivat 60x40x30 cm suuruisia styrox-laati-koita. Pohjalle laitettiin n. 10 cm kerros soraa ja tämän päälle lannoittamaton kasvuturpeen ja hiekan seos (9:1). Altaat toimivat myös lysimetri-kokeissa. Käytetyt liete-määrät olivat pajukokeissa 25 000, 50 000, 100 000 ja 200 000 kg/ha ja koivukokeissa 50 000 ja 200 000 kg/ha.

Kaikille lannoitetuille yksiköille annettiin ensin 25 000 kg/ha lietemäärä ja suoritettiin istutus. Vasta kolmen viikon päästä lietettä lisättiin kutakin käsittelytyyppiä vastaavaksi. Pajuja istutettiin 6 pistokasta ja koivuja 5 tainta laatikkoon. Kunkin käsittelytyypin toistoja oli 6. Pajuja oli yhteensä 144 ja koivuja 90 kpl. Kasvumittaukset ja kastelu suoritettiin kerran viikossa.

Nikkelin ja alumiinin vaikutuksen selvittämiseksi tehtiin vesiviljelmä, jossa koekasvina oli vesipaju. Pohjana oli ravinneliuos (EPSTEIN 1972), johon lisättiin kolme erilaista Ni- ja kolme erilaista Al-määrää. Käytetyt pitoisuudet olivat 0,5, 5 ja 10 mg Ni/l ja 30, 300 ja 600 mg Al/l. Näiden lisäksi tehtiin kasvatus myös kolmessa erilaisessa lietteen ja veden seoksessa (15 g, 60 g ja 120 g/l). Näissä havaittiin kasvua ainoastaan miedoimmassa.

Lannoituskokeessa kasvatus kesti n. 3,5 kk ja vesiviljelmässä n. 5 viikkoa, minkä jälkeen taimet korjattiin. Saadut näytteet kuivattiin ja määritettiin lehtien, varsien ja juurten biomassassa. Jauhatuksen jälkeen tehtiin kemiallisia analyyseja. Typpi määritettiin Kjeldahl-menetelmällä, fosfori molybdeenisini-menetelmällä ja alumiini aluminon-menetelmällä (ALLEN 1972). Hivenaineiden määrittämiseksi näytteet ns. märkäpoltettiin typpihappo-perkloorihappo -seoksessa ja aineet analysoitiin atomiabsorptiospektrofotometrillä (Perkin-Elmer 370).

Jokaisesta käsittelytyypistä analysoitiin neljä yksilöä, mutta juurten analysointi ja alumiinin määrittäminen tehtiin kokoomanäytteistä. Tulokset testattiin ei-parametrisellä Kruskal-Wallis testillä (MÄKINEN 1974).

3. Tulokset ja tulosten tarkastelu

3.1. Biomassa

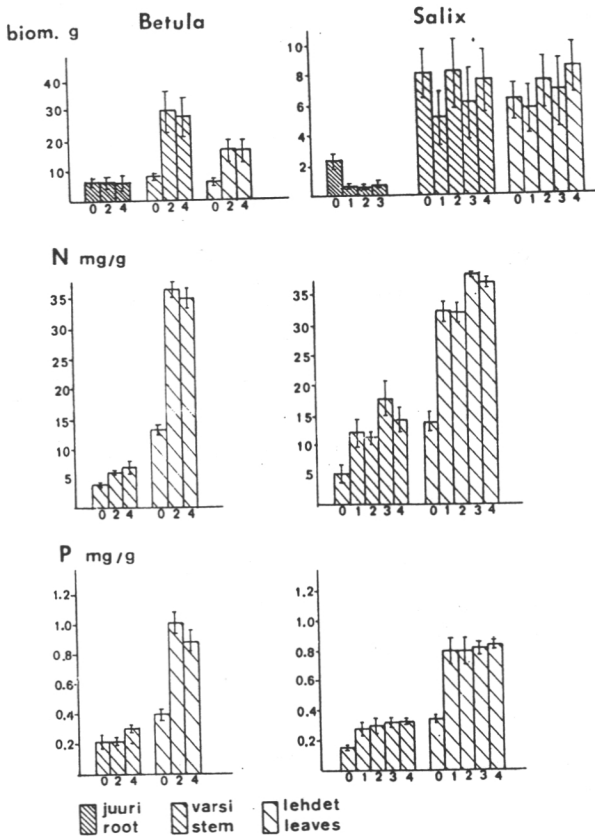
Vesipajun ja rauduskoivun biomassa-arvot poikkeavat lannoituskokeessa toisistaan (kuva 1). Koivulla lietelannoitus lisäsi selvästi varsien ja lehtien kasvua, mutta juuriin sillä ei ollut merkittävää vaikutusta. Pajulla tilanne oli hyvin toisenlainen. Lehtiin ja varsiin lannoitus ei juuri vaikuttanut, mutta sen sijaan juurten kasvua liete hidasti merkittävästi.

Vesiviljelmässä paju kasvoi vain alhaisimmassa lietepitoisuudessa (15 g/l), taulukko 1. Tulos osoittaa, että koelajit sietävät eri tavoin lietteen sisältämiä aineita. Rauduskoivu osoittautui selvästi paremmin lietelannoitukseen sopivaksi lajiksi kuin vesipaju. On kuitenkin huomattava, että koivun biomassa-arvot kohosivat jo alhaisimman lietepitoisuuden vaikutuksesta, eikä annostuksen lisääminen enää aiheuttanut merkittäviä muutoksia. Pajun kasvua häiritsevä tekijä on todennäköisesti esim. lietteen korkea Al-pitoisuus, mutta myös raskasmetallit voivat aiheuttaa tuottavuuden alenemista (BINGHAM et al. 1979, GRIME ja HODGSON 1969, HUGHES et al. 1980). Lietelannoituksessa myös liukoisten suolojen määrä saattaa pian lannoituksen jälkeen nousta niin korkeaksi, että se häiritsee kasvua (KELLING et al. 1977).

3.2. Typpi ja fosfori

Lietelannoitus lisäsi kasvien typen ja fosforin pitoisuutta (kuva 1). Etenkin lehdissä määrät suurenevät merkittävästi. Saman on todennut myös KELLING et al. (1977). Typpi ja fosfori liikkuvat helposti kasveissa (LARCHER 1975), joten lehtiin kasautuminen on mahdollista. Happamissa maissa saattaa lietteen runsas alumiinipitoisuus aiheuttaa fosforimetabolian häiriötä (esim. MENGEL ja KIRKBY 1979). Suurimmat fosforiarvot ovat tavallisesti heti lietelannoituksen jälkeen, mutta seuraavana kasvukautena fosforin sitoutuessa maaperään sen saanti heikkenee ja pitoisuus kasveissa alenee (KELLING et al. 1977).

Kohonneilla typpi-arvoilla on merkitystä etenkin silloin, kun lehtiä käytetään proteiini-lähteenä, esimerkiksi rehuna. Raakavalkuaisen määrä on aineiston perusteella lannoittamattomien rauduskoivujen ja vesipajujen lehdistä 8-8,5 %, mutta lietelannoitusta saaneilla 20-24 %.



Kuva 1. Vesipajun (*Salix cv. aquatica*) ja rauduskoivun (*Betula pendula*) juuren, varren ja lehtien biomassa sekä typen ja fosforin pitoisuus (kuiva-aine) eri käsittelytyypeillä (0-4). Lietteän määrä. 0 = 0 kg/ha, 1 = 25 000 kg/ha, 2 = 50 000 kg/ha, 3 = 100 000 kg/ha ja 4 = 200 000 kg/ha. Arvot ovat $\bar{x} \pm$ S.E. (n = 4).

Figure 1. The biomass and nitrogen and phosphorus content of roots, stems and leaves (dry matter) of willow (*Salix cv. aquatica*) and birch (*Betula pendula*) in different sludge concentrations (0-4). The sludge concentrations are: 0 = 0 kg/ha, 1 = 25 000 kg/ha, 2 = 50 000 kg/ha, 3 = 100 000 kg/ha, 4 = 200 000 kg/ha. The figures include $\bar{x} \pm$ S.E. (n = 4).

3.3. Rauta

Lietelannoitus lisäsi molempien lajien juurten rautapitoisuutta, mutta varsien ja lehtien pitoisuuksiin sillä ei ollut vaikutusta (kuva 2). Vesiviljelmässä raudan arvot kohosivat myös lehdissä ja varsissa (taulukko 1). Tämä tapahtui rinnan kasvatusliuoksen nikkelpitoisuuden suurenemisen kanssa. Toisaalta tiedetään suurten nikkelimäärien häiritsevän kasvien raudan saantia (CATALDO et al. 1978). Luultavasti vesiviljelmässä oli nikkeliä niin vähän (alle 10 ppm), että se toimi päinvastoin stimuloijana. Vesiviljelmässä liete aiheutti rautapitoisuuden nousun varsinkin lehdissä, mutta arvot pysyivät selvästi alempina kuin muissa viljelmissä. Vaikka lannoittaminen nostikin juurten rautapitoisuudet melko korkeiksi, ei toksisia oireita esiintynyt. Kuitenkin, jos kasvualustan happamuus laskee selvästi happaman puolelle, voi lietteen suuri rautamäärä (2-4 %) aiheuttaa myrkytyksen, johon liittyy voimistunut raudan otto sekä kuljetus latvaosiin (FOY et al. 1978). Tällaisia oireita ei kuitenkaan esiintynyt kummallakaan koekasvilajilla.

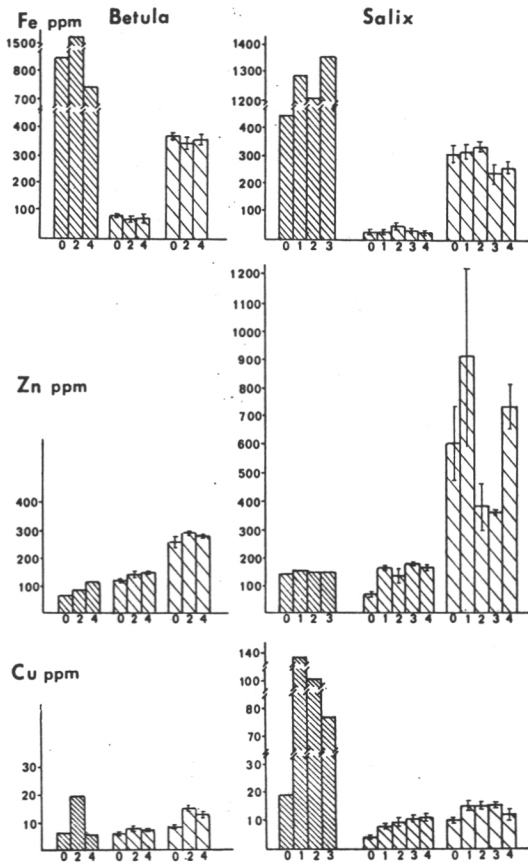
3.4. Sinkki

Lannoituksen vaikutus vesipajun sinkin pitoisuuteen ilmeni merkittävästi varsissa, mutta rauduskoivulla pitoisuus kohosi myös juurissa (kuva 2). Pajun lehdissä sinkkiä oli huomattavasti enemmän kuin koivun lehdissä. Ero on lajikohtainen eikä johdu lannoituksesta. Toisaalta kasvit pystyvät kestämään lehdissään hyvinkin paljon sinkkiä, koska sinkki on tavallisesti inaktiivisessa muodossa (MENGEL ja KIRKBY 1979). Vesiviljelmässä nikkeli ja myös alumiini näyttävät aiheuttavan sinkin pitoisuuden kasvua (taulukko 1). Vuorovaikutus sinkin ja näiden alkuaineiden välillä ei ole kiistaton (CATALDO et al. 1978).

3.5. Kupari

Lietelannoitus lisäsi hieman ja lähes saman verran sekä vesipajun että rauduskoivun varsien ja lehtien kuparipitoisuutta (kuva 2). Varsissa ja koivun lehdissä vaikutus on

merkitsevää. Pajun juurten pitoisuus oli huomattavasti suurempi kuin koivun. Tämä ja vesiviljelmän tulokset (taulukko 1) viittaavat siihen, että nikkelillä on yhteyttä kupariarvojen kohoamiseen. Vaikka käytetty liete sisältääkin verraten runsaasti kuparia (250–500 ppm), on sen vapautuminen kuitenkin hidasta happamuuden pysyessä lähellä neutraalia (ks. SILVIERA ja SOMMERS 1977, MENGEL ja KIRKBY 1979).



Kuva 2. Vesipajun ja rauduskoivun juuren, varren ja lehtien raudan, sinkin ja kuparin pitoisuus (ppm/kuiva-aine) eri käsittelytyypeillä. Ks. kuvan 1. selityksiä.

Figure 2. The iron, zinc and copper content of roots, stems and leaves (ppm/dry matter) in willow and birch in different sludge concentrations. For legends cf. fig. 1.

Taulukko 1. Vesiviljelmät. Ravinneliuksen koostumuksesta ks. EPSTEIN (1972). Liete 15 g/l sisältää 2 mg N/l ja 100 mg Al/l.

Table 1. Water culture. The composition of nutrient solution cf. EPSTEIN (1972). Sludge 15 g/l contains: 2 mg Ni/l and 100 mg Al/l.

	ravinneliuos nutrient solution		ravinneliuos nutrient solution +Ni mg/l		ravinneliuos nutrient solution + Al mg/l	liete sludge g/l
	Ni 0 mg/l Al 0 mg/l	0,5	5	10	30	15
BIOMASSA (g)	1,9	1,2	2,1	0,9	0,29 ¹⁾	1,6 ²⁾
juuri (root)	0,2 ± 0,1	0,1 ± 0,1	0,2 ± 0,02	0,1 ± 0,03	0,04 ± 0,01	0,2 ± 0,05
varsi (stem)	0,6 ± 0,2	0,3 ± 0,2	0,6 ± 0,1	0,2 ± 0,1	0,05 ± 0,01	0,5 ± 0,1
lehdet (leaves)	1,1 ± 0,4	0,8 ± 0,4	1,3 ± 0,2	0,6 ± 0,1	0,2 ± 0,05	0,9 ± 0,2
Fe (ppm)						
juuri (root)	628	699	1081	1317	440	
varsi (stem)	31	32	25	159	57	94
lehdet (leaves)	58	64	49	121	74	228
Zn (ppm)						
juuri (root)	90	101	111	202	100	186
varsi (stem)	53	63	47	106	156	54
lehdet (leaves)	76	93	77	133	204	79
Cu (ppm)						
juuri (root)	20	48	64	169	23	39
varsi (stem)	7	9	6	7	15	4
lehdet (leaves)	6	9	9	9	7	6
Ni (ppm)						
juuri (root)	< 1	174	911	1484		92
varsi (stem)	< 1	31	27	364		15
lehdet (leaves)	< 1	50	230	368		< 1
Cd (ppm)						
juuri (root)	< 0,2	0,8	< 0,2	< 0,2	4,3	< 0,2
varsi (stem)	< 0,2	< 0,2	2,7	< 0,2	3,2	3,1
lehdet (leaves)	< 0,2	2,5	1,7	1,2	2,9	1,7

1) 300/600 Al mg/l: biomassa 0,0 g

2) 60/120 g/l: biomassa 0,0 g

3.6. Nikkeli

Lannoitukseen käytetty liete sisälsi runsaasti nikkeliä (250-640 ppm), joten oli odotettua, että pitoisuudet nousivat myös kasveissa. Juurissa ja lehdistä nikkelin määrät kohosivatkin selvästi, mutta rauduskoivun varsiin lannoituksella ei ollut vaikutusta (kuva 3). Pajulla lehtien nikkeliarvot olivat huomattavasti suuremmat kuin koivulla, ja myös juurissa arvot olivat samansuuntaiset. Molempien lajien lehtien suuremmat pitoisuudet juuriin verrattuna ovat ymmärrettävissä, sillä nikkelin on todettu kulkeutuvan hyvin kasvien latvaosiin (CATALDO et al. 1978). On mahdollista, että suuret lietemäärät voivat aiheuttaa myrkytysoireita, esimerkiksi eräillä viljalajeilla toksisuusraja on n. 100 ppm (MENGEL ja KIRKBY). Lannoitekäsittelyissä ei kuitenkaan esiintynyt mitään myrkytykseen viittaavaa, mutta vesiviljelmässä esiintynyt kloroottisuus voi ainakin osittain olla nikkelistä johtuvaa. Toisaalta muut raskasmetallit, kuten kupari ja rauta, voivat estää nikkelin pääsyä kasviin (CATALDO et al. 1978, MENGEL ja KIRKBY 1979), ja näin eliminoida sen haitallisuutta.

Vesiviljelmässä oli havaittavissa nikkelin pitoisuuden 10 mg/l aiheuttavan biomassan tuoton vähentymistä. Nikkelin lisäys ravinneliuokseen aiheutti paitsi nikkelin myös raudan ja sinkin keräytymistä kasvin eri osiin ja myös kuparin pitoisuuden nousua juurissa.

Vesipajun nikkelin pitoisuudet ovat niin korkeita, että lehdesten käyttö karjan rehuksi tai esimerkiksi hirven ravinnoksi, voi aiheuttaa terveydellisiä haittoja. Lisäksi jäteletteen käyttö viljakasvien lannoitteena on arveluttavaa, koska ainakin soijapavulla tiedetään nikkeliä konsentroituvan runsaasti siemeniin (CATALDO et al. 1978).

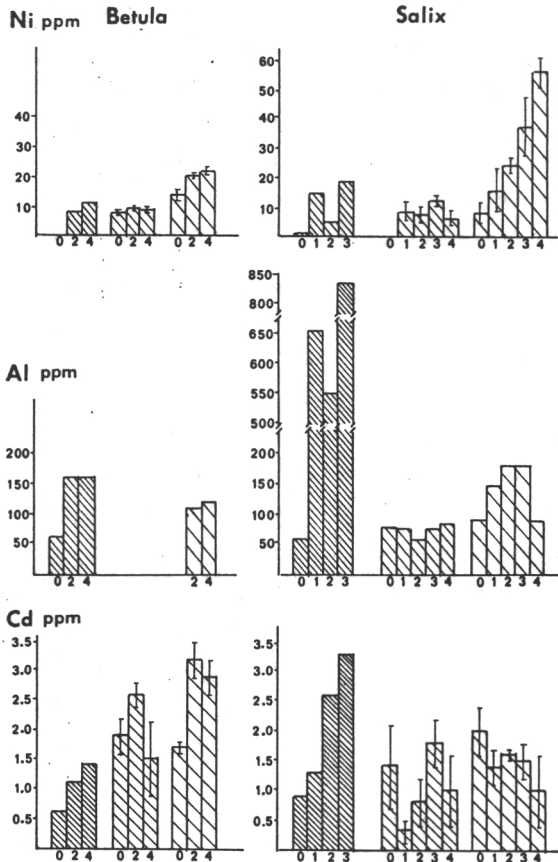
3.7. Alumiini

Lannoitus lisäsi sekä vesipajun että rauduskoivun juurten alumiinipitoisuutta (kuva 3). Pajulla lisäys oli suurempi kuin koivulla. Maanpäällisiin osiin ei alumiinia paljon

kertynyt, vaikka tosin vesipajun lehtien pitoisuudet hieman kohosivatkin (kuva 3). Vesiviljelmässä (taulukko 1) pajut pysyivät hengissä vain miedoimmassa alumiinipitoisuudessa (30 ppm). Todennäköisin syy kuolemiseen oli juurten kehityksen lähes täydellinen estyminen. Alumiinin onkin todettu estävän juurten kasvua (MENGEL ja KIRKBY). Pieninä pitoisuuksina alumiini voi edistää kasvua, mutta varsinkin happamissa maissa se yleensä alentaa tuottoa. Erityisesti sellaiset kasvit, jotka luontaisesti kasvavat melko neutraalissa tai emäksisessä maaperässä, voivat happamassa kasvualustassa saada helposti myrkytysoireita. Emäksisissä maissa alumiini on niin tiukasti sitoutuneena, ettei se haittaa kasveja (GRIME ja HODGSON 1969, KRAMER ja KOZLOWSKI 1979). Voidaan olettaa vesipajun kärsivän lannoituksesta siksi, ettei se ole sopeutunut happamaan kasvualustaan. Käyttämällä jo valmiiksi juurtuneita taimia voidaan myös pajun alumiinin kestävyttä lisätä (GRIME ja HODGSON 1979). Varsinaisen myrkytyksen lisäksi alumiini voi häiritä myös kalsium- ja fosforimetaboliaa (FOY et al. 1978, MENGEL ja KIRKBY 1979). Koivussa ei havaittu vastaavia häiriöitä, vaikka pitoisuudet juurissa kohosivatkin.

3.8. Kadmium

Lietelannoitus nosti koivun juurien ja lehtien pitoisuutta (kuva 3). Varsien pitoisuuksiin ei käsittelyillä ollut vaikutusta. Pajulla tilanne oli epäselvempi, eikä lannoituksen vaikutusta voitu havaita muualla kuin juurissa. Molemmissa lajeissa pitoisuudet pysyivät kuitenkin melko alhaisina. Tulokset osoittavat, että kadmium voi konsentroitua kasviin, vaikka maaperässä tätä olisi verraten vähän. Kadmium voi alentaa myös tuottavuutta (Van HOOK et al. 1977), mutta kalkituksella on mahdollista vähentää kadmiumin kasviin kulkeutumista (BINGHAM et al. 1979).



Kuva 3. Vesipajun ja rauduskoivun juuren, varren ja lehtien nikkelin, alumiinin ja kadmiumin pitoisuus (ppm/kuiva-aine) eri käsittelytyypeillä. Ks. kuvan 1. selityksiä.

Figure 3. The nickel, aluminum and cadmium content of roots, stems and leaves (ppm/dry matter) in different sludge concentrations. For legends cf. fig. 1.

4. Tiivistelmä

Lietelannoituksen vaikutusta vesipajun (*Salix cv. aquatica*) ja rauduskoivun (*Betula pendula*) kasvuun ja kemialliseen koostumukseen tutkittiin astiakokeilla. Käytetyt lietemäärät olivat pajulla 25 000 kg, 50 000 kg, 100 000 kg ja 200 000 kg/ha ja koivulla 50 000 kg ja 200 000 kg/ha. Nikkelin ja alumiinin vaikutusta selvitettiin lisäksi vesiviljelmän avulla. Koe suoritettiin turvealustalla kasvihuoneessa.

Lietelannoitus lisäsi selvästi koivun varren ja lehtien kasvua. Sen sijaan pajun versoihin ei lannoituksella ollut merkittävää vaikutusta, mutta liete heikensi sen sijaan selvästi juurten kasvua. Tulos viitanee lähinnä lietteen korkean Al-pitoisuuden aiheuttamaan häiriöön. Liete näyttää soveltuvan rauduskoivun lannoitteeksi, mutta huonosti vesipajulle, jolle se aiheutti jo alhaisimmissa käytetyissä pitoisuuksissa lievää kellastumista ja käyristymistä lehdissä. Myös kemialliset muutokset olivat pajulla selvästi suuremmat kuin koivulla.

Lietelannoitus lisäsi kaikkien analysoitujen aineiden pitoisuuksia molemmissa koekasvilajeissa. Suurimmat muutokset olivat juurissa ja pienimmät varsissa. Pajun osalta merkittävin tulos oli juurten Cu-, Fe-, Ni- ja Al-pitoisuuksien ja lehtien Ni-pitoisuuksien voimakas kohoaminen. Koivu poikkesi eniten pajusta juurten melko alhaisten Cd- ja Cu-pitoisuuksien vuoksi. Vesiviljelmän tulosten perusteella näyttääkin, että nikkeli kasvualustassa lisää nimenomaan juurten Cu-pitoisuutta. Myös sinkillä ja raudalla on vuorovaikutuksia nikkelin kanssa, mutta tilanne oli epäselvempi. Koivullakin näkyi vastaavia muutoksia, mutta ne olivat huomattavasti vähäisempiä. Merkittävää on myös se, että koivulla suurin osa muutoksista ilmeni jo pienimmällä lannoituksella, minkä jälkeen pitoisuudet pysyivät lähes samansuuruisina, vaikka lannoitus nelinkertaistettiin. Fosforin ja typen osalta molempien koekasvien tulokset olivat hyvin samanlaisia. Suurimmat muutokset olivat lehdissä, joissa molemmat pitoisuudet nousivat lannoituksella yli kaksinkertaisiksi. Tämä merkitsee raakavalkuaisen pitoisuuden kohoamista 8:sta 20-24 %:iin. Lehtimassan käyttöarvoa kuitenkin alentaa sen korkea metallipitoisuus, etenkin nikkelin osalta.

Kirjallisuusluettelo

- ALLEN, S.E., GRIMSHAW, H.M., PARKINSON, J.A. & QUARMBY, C. 1974. Chemical analysis of ecological materials. Blackwell Scientific Publications. Oxford.
- BINGHAM, F.T., PAGE, A.L., MITCHELL, G.A. & STRONG, J.E. 1979. Effect of liming an acid soil amended with sewage sludge enriched with Cd, Cu, Ni and Zn on yield and Cd content of wheat Grain. *J. Environ. Qual.* 8:202-207.
- CATALDO, D.A., GARLAND, T.R. & WILDUNG, R.E. 1978. Nickel in plants: 1. Uptake kinetics using intact soybean seedlings. *Plant Physiol.* 62:563-565.
- EPSTEIN, E. 1972. Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives. John Wiley and Sons Inc. New York.
- FOY, C.D., CHANEY, R.L. & WHITE, M.C. 1978. The physiology of metal toxicity in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 29:511-566.
- GRIME, J.P. & HODGSON, J.G. 1969. An investigation of the ecological significance of lime-chlorosis by means of large scale comparative experiment. In: (ROBINSON, I.H. ed.) Ecological aspects of the mineral nutrition of plants. Blackwell Scientific Publications. Oxford.
- HUGHES, M.K., LEPP, N.W. & PHIPPS, D.A. 1980. Aerial heavy metal pollution and terrestrial ecosystems. *Advances in Ecological Research* 11:217-327.
- KELLING, K.A., PETERSON, A.E., WALSH, L.M., RYAN, J.A. & KEENEY, D.R. 1977. A field study of the agricultural use of sewage sludge: 1. Effect on crop yield and uptake of N and P. *J. Environ. Qual.* 6:339-344.
- KELLING, K.A., WALSH, L.M., KEENEY, D.R., RYAN, J.A. & PETERSON, A.E. 1977. A field study of the agricultural use of sewage sludge: 2. Effect on soil N and P. *J. Environ. Qual.* 6:345-351.
- KRAMER, P.J. & KOZLOWSKI, T.T. 1979. Physiology of woody plants. Academic Press. New York.
- LARCHER, W. 1975. Physiological plant ecology. Springer-Verlag. New York.
- MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. 1979. Principles of plant nutrition. International Potash Institute. Worblaufen-Bern.
- MÄKINEN, Y. 1974. Tilastotiedettä biologieille. Synapsi ry. Helsinki.
- SILVIERA, D.J. & SOMMERS, L.E. 1977. Extractability of copper, zinc, cadmium and lead in soils incubated with sewage sludge. *J. Environ. Qual.* 6:47-52.
- Van HOOK, R.I., HARRIS, W.F. & HENDERSON, G.S. 1977. Cadmium, lead and zinc distributions and cycling in a mixed deciduous forest. *Ambio* 6:281-286.

TIMO J. HOKKANEN ja ARJA VUORINEN

JÄTELANNOITUKSEN VAIKUTUKSESTA MAAPERÄN BIOLOGISEEN
AKTIIVISUUTEEN

1. Johdanto

Maahengityksellä tarkoitetaan yleensä maaperän mikrobien, maaperäeläinten ja kasvien maanalaisten osien aineenvaihdunnassa tuottamaa hiilidioksidia (CO_2), joka vapautuu maasta ilmakehään. Maahengitysmittauksilla voidaan saada suoraan kuva maan tuottavuudesta ja ravinnekierron tilasta: mitä suurempi mikrobien hengitysaktiivisuus on, sitä enemmän orgaanista ainetta hajoo ja ravinteita vapautuu. Joidenkin ravinteiden vähäisyys voi kuitenkin aiheuttaa niiden sitoutumista mikrobeihin.

Myös maaperän dehydrogenaasiaktiivisuuden katsotaan kuvaavan aineenvaihdunnallisesti aktiivisten organismien runsautta (KISS ym. 1975, SKUJINS 1876) ja siten myös hajotustoiminnan vilkkautta maassa.

Ravinteiden lisääminen maahan lannoitteina voi vaikuttaa mikrobipopulaatioihin suoraan, mikäli on kyse minimitekijästä tai myrkkyaikutuksesta, tai epäsuoraan maan kemiallisten muutosten kautta. Lannoituksen vaikutuksesta hajotusaktiivisuuden painopiste voi siirtyä hajottajaryhmästä toiseen, jolloin kokonaisaktiivisuus saattaa myös muuttua.

Jätelietteen käyttöä maanparannusaineena on tutkittu viime vuosina runsaasti (mm. HORTENSTINE 1976, SOMMERS ym. 1976, KELLING ym. 1977 a, b, c, KING ym. 1977, SOMMERS 1977, KORCAC ym. 1979, TESTER ym. 1979 ja WOLLANT ja BECKETT 1979). Viljelykasvien kasvu on lisääntynyt lietelannoituksella merkittävästi, mutta vaikutukset ovat usein alkaneet näkyä vasta ensimmäisen kasvukauden jälkeen (KELLING ym. 1977 b, SHEAFFER ym. 1979). AGBIM ym. (1977), MITCHELL ym. (1978) ja TATE ja TERRY (1980) ovat tutkineet jätelietekäsittelyjen

vaikutusta mikrobiaktiivisuuteen . Yleensä lietekäsittely on vilkastuttanut hajotustoimintaa, mutta vaikutuksen on selitetty johtuvan myös muista kuin lietteen ravinnevaikutuksesta, mm. kosteuden muutoksista.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on tarkastella maanparannuskäsittelyjen vaikutusta erilaisten energiapuun kasvatukseen otettujen maiden mikrobiaktiivisuuteen sekä muutamaa mikrobiaktiivisuutta sääteleviin fysikaalisiin tekijöihin.

2. Aineisto ja menetelmät

2.1. Tutkimusaineisto

Maaperän hengitysaktiivisuusmittauksia tehtiin kolmella erilaisella maapohjalle tehdyllä koekentällä Joensuun ympäristössä. Koekentät perustettiin keväällä 1980, ja tässä esitetään ensimmäisen lannoitusta seuraavan kasvukauden tuloksia.

- a) Joensuuhun Kuhasaloon vesametsäkasvatusta varten perustetulla koekentällä (ks. TAHVANAINEN ym. 1984) mitattiin maahengitys ja maaperän dehydrogenaasiaktiivisuus kolmelta eri tavoin käsitellyltä 22x30 m:n ruudulta. Ruudut lannoitettiin 9.-12.6. Joensuun kaupungin jätevesipuhdistamon lietteellä (16 % kuiva-ainetta) seuraavasti: lannoittamaton kontrolli, lietettä 12 000 kg/ha ja lietettä 30 000 kg/ha.
- b) Joensuun Iiksenvaaraan perustettiin 20.8. ohutturpeiselle heinäpellolle pajuviljelmiä varten sarja 12x50 m:n ruutuja. Jäteliete levitettiin traktorivetoisella levittimellä suoraan nurmen päälle, jonka jälkeen maa kynnettiin ja muokattiin. Kaksi kuukautta lannoituksen ja muokkauksen jälkeen (17.10.) maahengitys mitattiin seuraavia käsittelytyyppejä edustavilta ruuduilta: lannoittamaton kontrolli (2 ruutua), lietettä 12 000 kg/ha, lietettä 50 000 kg/ha ja lietettä 200 000 kg/ha, kustakin yksi ruutu. Lisäksi suoritettiin vertailumittaus edellisten ruutujen viereen toukokuussa perustetulta "tehoruudulta" (kalkkia 6 000 kg/ha, normaali Y-lannosta n. 1 000 kg/ha).

c) Kolmas maahengitysmittaussarja tehtiin Tohmajärven Valkeasuolle Enso-Gutzeit Oy:n perustamalta energiaviljelmäkoe-kentältä. Koekenttä sijaitsee turvetuotannosta vapautuneella suonpohjalla, jossa jäljelle jääneen turvekerroksen paksuus vaihtelee 20-50 cm:iin. Kenttä on jaettu 20x150 metrin sarkoihin, jotka on erotettu toisistaan 60 cm syvillä ojilla. yksi saroista (I) jätettiin kokonaan lannoittamatta. Kolmelle saralle (II-IV) levitettiin 20.-22.5. dolomiittikalkkia 6 000 kg/ha ja yhdelle saralle 12 000 kg/ha. Lisäksi saralle III levitettiin suoPK-lannoitetta 580 kg/ha ja saralle IV tuhkaa 3 000 kg/ha.

Typpilannoitusta varten sarat jätettiin kahteentoista osaruutuun, joille annettiin satunnaisotantaperiaatteella haja-levityksenä oulunsalpietaria (N 27,5 %) niin, että typen määräksi tuli 0 kg/ha, 75 kg/ha ja 150 kg/ha. Kullekin ruudulle tuli jokaiselle typpimäärälle neljä toistoa. Maahengitysmittauksissa käytettiin yhtenä käsittelytyyppinä em. neljän ruudun sarjaa, jolta otettiin kokoomänäytteet. Mittaukset tehtiin n. neljä kuukautta lannoituksen jälkeen (26.9.).

2.2. Menetelmät

Maahengitysmittauksiin otettiin kultakin tutkittavalta ruudulta tai käsittelytyypiltä 25 cm² maaperäkairalla 40-60 otosta, joiden paksuus oli 10 cm. Näytteet sekoitettiin käsittelytyypeittäin ja suurimmat juuret poistettiin. Näyte-aines seulottiin vielä 1 cm:n seulalla ja jäljellä olevat juuret poistettiin mahdollisimman tarkkaan. Homogenoidusta materiaalista määritettiin pH, orgaaninen aines, vesipitoisuus ja maahengitys.

Maahengitysmittauksissa käytettiin pienoistietokoneen ohjaamaa, puoliautomaattista, infrapunakaasuanalyysiin ja avoimeen mittaускаasujen kiertoon perustuvaa järjestelmää (analyysin perusteet esim. SESTAK ym. 1971, käytetty laitteisto HOKKANEN 1980). Mitattavien näytteiden tilavuus oli noin kaksi litraa ja kussakin mittauksessa toistoja oli 4-6 ruutua tai käsittelytyyppejä kohti (Valkeasuon ja Iiksenvaaran kokeissa 4 ja

Kuhasalon kokeissa 6 toistoa). pH määritettiin vesiliuoksesta (50 ml deionisoitua vettä, 25 g maata), joka oli sekoittamisen jälkeen ollut huoneenlämmössä vuorokauden.

Dehydrogenaasiaktiivisuusmittauksiin näytteet otettiin Kuhasalon koealueelta samoilta ruuduilta kuin maahengitysnäytteet. Kultakin ruudulta kairattiin kymmenen näytettä, jotka yhdistettiin syvyysvyöhykkeittäin (0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm) kokoomanäytteiksi. Käsin suoritettun homogeenoinnin jälkeen tuoreista näytteistä mitattiin dehydrogenaasiaktiivisuus THALMANNin (1968) menetelmää mukaelleen (VUORINEN ja GRÖNLUND 1980). Taustanäytteet otettiin 27.5. ja seurantanäytteet 28.7. ja 29.9.

3. Tulokset ja tulosten tarkastelu

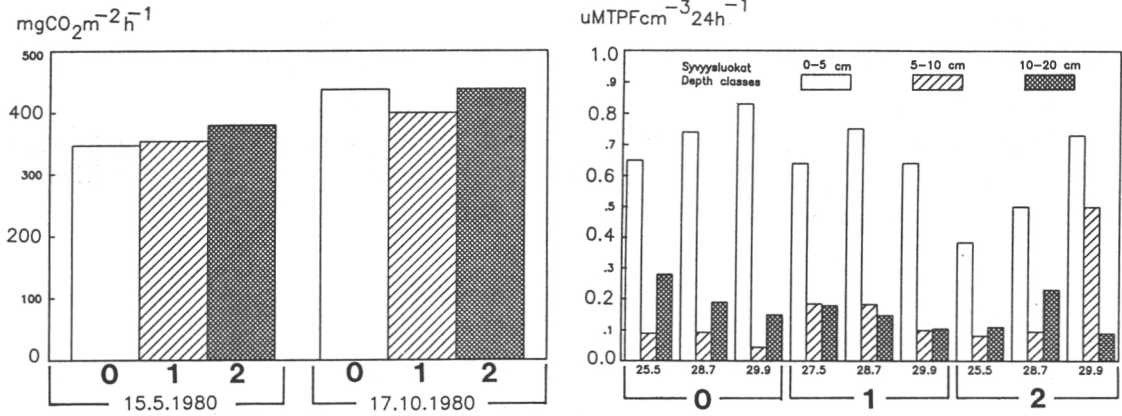
Kuhasalon vesametsäkoekentällä ei ollut keväällä (taustamittaukset) merkitseviä eroja näyteruutujen maahengityksessä ja pH:ssa, mutta vesipitoisuus ja orgaanisen aineksen määrä olivat selvästi suurimmat pienellä lietemäärällä lannoitetulla ruudulla (kuva 1, taulukko 1). Lietelannoituksen vaikutukset maaperän biologiseen aktiivisuuteen olivat varsin vähäiset. ainoa kasvukauden aikana tapahtunut tilastollisesti merkitsevä muutos oli se, että pienellä lietemäärällä lannoitetun ruudun (1) maahengitys oli pienempi kuin muiden ruutujen ($F = 32,46^{***}$, $df = 2,12$). Myös suuremmalla lietemäärällä lannoitetulla ruudulla (2) maahengitys näyttää hieman laskeneen kontrolliruutuun (0) verrattuna. Sen sijaan dehydrogenaasiaktiivisuus on noussut kesän aikana erityisesti runsaasti lannoitetun ruudun pintakerroksessa (kuva 1); myös pH on noussut lieteruudulla 2 (taulukko 1). Lietekäsittely näyttää siis lievästi alentavan maahengitystä ja nostavan dehydrogenaasiaktiivisuutta. Yleensä maaperän pH:n noustessa myös mikrobitoiminta vilkastuu (mm. KOWALENKO ym. 1978, KARSISTO 1979). HUHTA ym. (1978) sekä TATE ja TERRY (1980) ovat todenneet dehydrogenaasiaktiivisuuden kohonneen jätelietelannoituksen vaikutuksesta. Dehydrogenaasiaktiivisuuden nousun ja samanaikaisen CO_2 :n tuotannon laskun lannoituksen jälkeen ovat todenneet myös SCHINNER ym. (1980). Ilmiölle

ei ole löydetty suoraa selitystä, mutta SCHINNER ym. (1980) otaksuvat, että helppoliukoisia ravinteita lisättäessä mikrobien kasvu ja heterotrofinen CO_2 :n sidonta lisääntyvät ja CO_2 :n nettotuotanto laskee. Tällöin maahengitys on vain kokonaisaineenvaihdunnan nettotuote ja se ilmaisee nettomineralisatiota, mutta ei kokonaisaineenvaihdunnan vilkkautta, jota indikoi paremmin dehydrogenaasi.

Kuhasalon koekentällä maahengityksen riippuvuus pH:sta ei ollut merkitsevä keväällä eikä syksyllä. Tosin pH:n ajalliset ja paikalliset vaihtelut olivat kokonaisuudessaan varsin pienet.

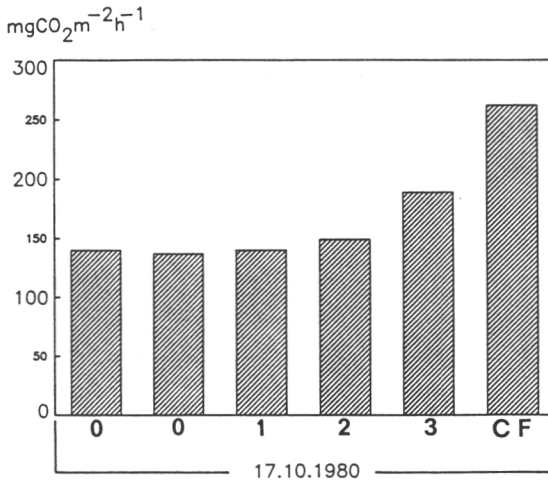
Myös Iiksenvaaran energiaviljelmäkoekentillä lietalannoituksen vaikutus maaperän pH:hon ja maahengitykseen oli vähäinen (kuva 2, taulukko 2). Vain runsaimmalla lietemäärällä lannoitetun ruudun maahengitys on kontrolliruutuihin ja muihin lietalannoitettuihin ruutuihin verrattuna jonkin verran korkeampi. Sen sijaan kalkitun ja kemiallisesti lannoitetun ruudun pH ja maahengitys ovat kohonneet selvästi.

Valkeasuon kokeissa kalkki- ja tuhkakäsittelyllä on voimakkaasti maahengitystä ja pH:ta kohottava vaikutus (kuva 3, taulukko 3). Maahengityksen vaihteluista selittyy yli 90 % pH:n avulla. Luontaisesti suonpohjan pH on hyvin alhainen ja turve sisältää runsaasti typpeä (KAUNISTO 1980). Runsa kalkkikäsittely saralla V ja kalkki-tuhkakäsittely saralla IV ovat nostaneet pH:n ja maahengityksen selvästi korkeammaksi kuin pelkkä lievä kalkkikäsittely tai kalkkikäsittely + suoPK-lannoite. Sattumalta näillä saroilla ovat myös maaperän vesipitoisuus ja orgaanisen aineksen määrä suuremmat kuin muilla saroilla. Taustasaralla I orgaanista ainetta on enemmän kuin saroilla II ja III, mutta maahengitys on silti huomattavasti alhaisempi kuin näissä. Vesipitoisuus on kaikissa saroissa niin suuri, ettei sen vähäinen vaihtelu lisää selityksastetta; monimuuttujaregressioanalyysissä maahengityksestä selittyi pH:n, orgaanisen aineksen ja veden avulla 94,3 %, kun pelkkä pH antoi selityksasteeksi 93 %.



Kuva 1. Maahengitys (vasemmalla) ja dehydrogenaasiaktiivisuus (oikealla) Kuhasalossa. 0 = lannoittamaton kontrolli, 1 = jätelietettä 12 000 kg/ha, 2 = jätelietettä 30 000 kg/ha.

Figure 1. Soil respiration (left picture) and dehydrogenase activity (right picture) in Kuhasalo experiment fields. 0 = unfertilized control, 1 = sewage sludge 12 000 kg/ha, 2 = sewage sludge 30 000 kg/ha.



Kuva 2. Maahengitys Iiksenvaarassa. 0 = lannoittamaton kontrolli, 1 = jätelietettä 12 000 kg/ha, 2 = jätelietettä 50 000 kg/ha, 3 = jätelietettä 200 000 kg/ha, CF = kalkittu (6 000 kg/ha) ja kemiallisesti lannoitettu (Y-lannosta 1 000 kg/ha) kontrolli.

Figure 2. Soil respiration in Iiksenvaara experiments. 0 = unfertilized control, 1 = sludge 12 000 kg/ha, 2 = sludge 50 000 kg/ha, 3 = sludge 200 000 kg/ha, CF = chemically fertilized and limed control (lime = 6 000 kg/ha and Y-fertilizer about 1 000 kg/ha).

Taulukko 1. Maahengitys ja muutamia maaperätietoja Kuhasalon koekentiltä. I = 15.5.1980, II = 17.10.1980.

Table 1. Soil respiration and some soil data from Kuhasalo experiment fields. I = 15.5.1980, II = 17.10.1980.

Aika Time	liete sludge	kg/ha	mgCO ₂ m ⁻² h ⁻¹	pH	org.aines-% org. matter-%	H ₂ O-%
I	0		347	4,6	-	39,5
	0		354	4,7	-	46,6
	0		380	4,6	-	36,3
II	0		438	4,9	14,7	42,3
	12 000		400	4,8	20,5	51,9
	30 000		439	5,0	14,4	39,5

Taulukko 2. Maahengitys ja muutamia maaperätietoja Iiksenvaaran koekentiltä 17.10.1980. CF = 6000 kg kalkkia ja 1000 kg Y-lannosta/ha.

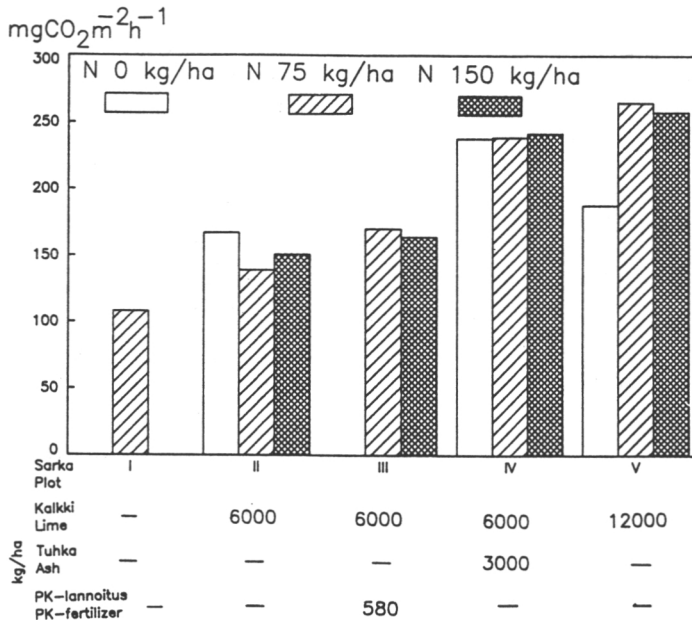
Table 2. Soil respiration and some soil data from Iiksenvaara experiment fields 17.10.1980. CF = lime 6000 kg and Y-fertilizer 1000 kg/ha.

lietettä sludge	kg/ha	mgCO ₂ m ⁻² h ⁻¹	pH	org. aines-% org. matter-%	H ₂ O-%
0		140	5,5	15,4	48,0
0		137	6,0	13,4	41,4
12 000		140	5,8	24,3	51,1
50 000		149	5,6	21,0	52,7
200 000		189	5,8	20,0	48,7
CF		262	6,2	17,0	49,0

Taulukko 3. Maahengitys ja muutamia maaperätietoja Valkeasuon kokeista 29.9.1980.

Table 3. Soil respiration and some soil data from Valkeasuon experiments 29.9.1980.

sarka plot	N kg/ha	mgCO ₂ m ⁻² h ⁻¹	pH	org.aines-% org.matter-%	H ₂ O-%
I	0	108	4,1	79,5	63,9
II	0	167	5,1	68,2	60,8
	75	139	4,8	68,3	62,1
	150	151	5,0	72,9	62,5
III	0	-	4,6	75,0	61,5
	75	170	4,6	67,8	60,1
	150	164	4,7	71,0	60,9
IV	0	238	6,1	83,7	65,9
	75	239	5,8	82,9	64,3
	150	242	5,8	88,3	66,4
V	0	188	5,8	92,4	67,8
	75	265	6,5	89,7	67,1
	150	258	6,5	86,4	63,8



Kuva 3. Maahengitys ja sarkojen kalkitus sekä lannoitus Valkeasuon kokeissa 29.9.1980.

Figure 3. Soil respiration and liming and fertilizing of the plots in Valkeasuon experiments 29.9.1980.

Tuhkan vaikutuksia hajotustoimintaan turpeessa on tutkinut mm. KARSISTO (1979). Hänen kokeissaan tuhkalannoitus lisäsi turpeen aerobien bakteerien määriä ja kiihdytti selluloosan hajoamista etenkin pintaturpeessa. Lannoitusvaikutus kesti useita vuosia. Erityyppisillä soilla tuhkan vaikutukset happamuuteen vaihtelevat. Valkeasuolla pH nousi tuhalla lannoitetulla saralla noin yhden pH-yksikön. Happamuuden vähenemistä noin yhden pH-yksikön verran erityyppisillä suoalustoilla tuhkalannoituksen jälkeen ovat havainneet myös VUORINEN ja GRÖNLUND (julkaisematon).

Typpilannoituksen vaikutus maahengitykseen ja maaperän ominaisuuksiin jää tämän tutkimuksen perusteella epäselväksi ja erot pieniksi. Saralla V maahengitys on kuitenkin selvästi korkeampi niillä ruuduilla, joille on annettu typpilannoitusta. Tämä saattaa johtua pelkästään pH:ssa olleista taustaeroista, sillä vielä typpilannoituskäsittelyn jälkeenkin pH oli korkeampi typpilannoitetuilla käsittelytyypeillä. Kuitenkin mm. KOWALENKO ym. (1978) toteavat typpilannoituksen vähentävän maahengitystä, mikä johtuu pääasiassa happamuuden lisääntymisestä. Saroilla II ja IV pH onkin alhaisempi käsittelytyypeillä, joihin on lisätty typpeä. Maahengitys on saralla II tarkoin pH:n mukainen: mitä suurempi pH, sitä suurempi maahengitys. Suon pohjana olevan mineraalimaan pinnan epätasaisuus lienee jossain määrin lisännyt hajontaa sarkojen taustaominaisuuksissa.

Tiivistelmä

Jätelietteen ja kemiallisten lannoitteiden vaikutusta maaperän biologiseen aktiivisuuteen ja eräisiin fysikaalisiin tekijöihin tutkittiin kolmella koekentällä. Kyseiset koekentät sijaitsivat vesametsäkasvatusta varten perustetulla koealueella, vanhalla heinäpellolla ja turvetuotannosta vapautuneella suonpohjalla.

Jätelietteen vaikutus maahengitykseen ja maaperän happamuuteen yhden kasvukauden jälkeen oli melko heikko; yhdessä kokeessa jäteliete hieman heikensi maahengitystä. Ilmeisesti

lietteen ravinteet vapautuvat hyvin hitaasti ensimmäisen kasvukauden aikana. Sen sijaan dehydrogenaasiaktiivisuus reagoi positiivisesti lietelannoitukseen.

Suonpohjalla sijaitsevalla koekentällä tehdyissä kokeissa kalkki- ja tuhkakäsittely alensi selvästi maaperän happamuutta ja lisäsi maahengitystä. Tämä ilmensi ravinteiden nopeaa vapautumista turpeesta. Typpilannoituksella oli vain vähäinen vaikutus turpeen CO₂-tuotantoon.

Kirjallisuusluettelo

- AGBIM, N., SABEY, B. & MARKSTRÖM, D. 1977. Land application of sewage sludge: V. Carbon dioxide production as influenced by sewage sludge and wood waste mixtures. J. Environ. Qual. 6(4):446-451.
- HOKKANEN, T. 1980. MCPA:n vaikutuksesta maaperän hajotustoimintaan. Teoksessa: TAHVANAINEN, J. (toim.) Vesakontorjunta-alueiden ekologinen ja ekofysiologinen tutkimus - loppuraportti. 154 s. Joensuu.
- HORTENSTINE, C. 1976. Chemical changes in the soil solution from a spodosol irrigated with secondary treated sewage effluent. J. Environ. Qual. 5(3):335-338.
- KARSISTO M. 1979. Maanparannustoimenpiteiden vaikutuksista orgaanista ainetta hajottavien mikrobin aktiivisuuteen suometsissä. Osa II: Tuhkalannoituksen vaikutus. Suo 30(4-5):80-91.
- KAUNISTO, S. 1980. Turvetuotantoalueiden suonpohjien käyttömahdollisuuksista puubiomassan tuottamiseksi. Metsäntutkimuslaitos. Parkanon koeaseman tiedonantoja 9. Tutkimuspäivän esitykset. 11 s. Parkano.
- KELLING, K., PETERSON, A., WALSH, L., RYAN, J. & KEENEY, D. 1977 s. A field study of the agricultural use of sewage sludge: I. Effect on crop yield and uptake of N and P. J. Environ. Qual. 6(4):334-345.
- " 1977 b. A field study of the agricultural use of sewage sludge: II. Effect on soil N and P. J. Environ. Qual. 6(4):345-352.
- KELLING, K., KEENEY, D., WALSH, L. & RYAN, J. 1977 c. A field study of agricultural use of sewage sludge: III: Effect on uptake and extractability of sludge-borne metals. J. Environ. Qual. 6(4):352-358.
- KING, L., LEYSHON, A. & WEBBER, L. 1977. Application of municipal refuse and liquid sewage sludge to agricultural land: II. Lysimeter study. J. Environ. Qual. 6(1):67-71.

- KISS, S., DRAGAN-BULARDA, M. & RADULESCU, D. 1975. Biological significance of enzymes accumulated in soil. *Adv. Agron.* 27:25-87.
- KORCAC, R., GOUIN, F. & FANNING, D. 1979. Metal content of plants and soils in a tree nursery treated with composted sludge. *J. Environ. Qual.* 8(1):63-68.
- KOWALENKO, C., IVARSON, K. & CAMERON, D. 1978. Effect of moisture content, temperature and nitrogen fertilization of carbon dioxide evolution from field soils. *Soil Biol. Biochem.* 10:417-423.
- MITCHELL, M., HARTENSTEIN, R., SWIFT, B., NEUHAUSER, R.E., ABRAMS, B., MULLIGAN, R., BROWN, B., CRAIG, D. & KAPLAN, D. 1978. Effects of different sewage sludges on some chemical and biological characteristics of soil. *J. environ. Qual.* 7(4):551-559.
- CHINNER, F., NIEDERBACHER, R. & NEUWINGER, I. 1980. Influence of compound fertilizer and cupric sulfate on soil enzymes and CO₂ evolution. *Plant & Soil* 57:85-93.
- SESTAK, Z., CATSKY, J. & JARVIS, P. 1971. Plant photosynthetic production. *Manual of methods.* 818 s. The Hague.
- SKUJINS, J. 1976. Extracellular enzymes in soil. *Critical Reviews in Microbiology* 4:383-421.
- SOMMERS, L. 1977. Chemical composition of sewage sludges and analysis of their potential use as fertilizers. *J. Environ. Qual.* 6(2):225-232.
- " , NELSON, D. & YOST, K. 1976. Variable nature of chemical composition of sewage sludges. *J. Environ. Qual.* 5(3):303-306.
- TAHVANAINEN, J., HUTTUNEN, P., VILJANEN, M-L., SIIRA, J. & ISSAKAINEN, J. 1984. Lietelannoitetun vesametsän tuotoksesta ensimmäisen kasvukauden aikana. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja no 138 (painossa).
- TATE, III, R. & TERRY, R. 1980. Effect of sewage effluent on microbial activities and coliform populations of Pahokee Muck. *J. Environ. Qual.* 9(4):673-680.
- THALMANN, A. von 1968. Zur Methodik der Bestimmung der dehydrogenaseaktivität im Boden mittels Triphenyltetrazoliumchlorid (TTC). *Landw. Fosch.* 241:249-258.
- TESTER, C., SIKORA, L., TAYLOR, J. & PARR, J. 1977. Decomposition of sewage sludge compost in soil: I. Carbon and nitrogen transformation. *J. Environ. Qual.* 6(4):459-463.
- VUORINEN, A. & GRÖNLUND, E. 1980. Mikrobiologiset tutkimukset. Teoksessa: PASANEN, S. (toim.) Lannoituksen vaikutus ojitetun suon metsäekosysteemiin. Tutkimusraportti vuodelta 1979:62-74. Joensuu.
- WOLLANT, E. & BECKETT, P. 1979. Changes in the extractability of heavy metals on the interaction of sewage sludge with soil. *Environ Pollut.* 20:215-230.

JORMA TAHVANAINEN, PERTTI HUTTUNEN, MAIJA-LIISA VILJANEN,
JOUKO SIIRA ja JORMA ISSAKAINEN

LIETELANNOITETUN VESAMETSÄN TUOTOKSESTA ENSIMMÄISEN KASVU-
KAUDEN AIKANA

1. Johdanto

Puuta energian raaka-aineeksi voidaan tuottaa tehostetusti sekä peltoviljelmätyyppisillä energiaviljelmillä että luon-
taisesti hakkuun jälkeen uudistuvissa vesametsissä. Luonnon-
tilaisen pajuvesakon vuotuinen maksimituotos voi olla jopa
15 tuorepainotonna/ha ja metsikön kokonaistuotos 20-25 vuo-
den kiertoajassa noin 250 tuorepainotonna/ha (ISSAKAINEN
1980). Tällaisia vesakoita muodostavat joko puhtaina tai
sekakasvustoina useimmat lehtipuulajimme, joille on ominaista
runsas vesominen välittömästi hakkuun jälkeen. Kanto- ja
juurivesoista ne voivat kasvattaa nopeasti uuden, runsaasti
biomassaa tuottavan vesakkosukupolven.

Vesakkoja on viime vuosina tutkittu eri maissa enenevässä
määrin, kuten PAAVILAISEN ja FERMIN (1981) kirjallisuuskat-
sauskin osoittaa. Vesakkotutkimuksia on meillä tehty lähin-
nä metsänuudistusalojen taimikonhoidon ja vesakontorjunnan
näkökulmasta kiinnittäen erityistä huomiota vesojen luku-
määrän ja pituuskasvun riippuvuuteen hakkuun ajankohdasta,
kannon pituudesta ja paksuudesta sekä kasvupaikasta (MIKOLA
1942, KAITAINEN ja KILKKI 1960, NISSI ja OJALAINEN 1960,
LEIKOLA ja MUSTANOJA 1961). Lehtipuiden vesomis- ja bio-
massan tuotoskykyä on meillä tutkittu vain vähän (ks. ISSA-
KAINEN 1980, FERM, KAUPPI ja RINNE 1983).

Tehokas puun talteenotto lyhytkiertometsikoistä siirtää no-
peasti ravinteita kasvupaikan ulkopuolelle ja johtaa ennen
pitkää ravinnetaseen köyhtymiseen tai tasapainon häiriintymi-
seen. Jatkuvan tuottavuuden ylläpitämiseksi metsikön ravinne-
tasetta on täydennettävä joko lannoituksella tai ekosysteemin
ravinnekiertoa elvyttävillä biologisilla hoitotoimenpiteillä.
Lyhytkiertometsien lannoitteena voidaan käyttää teollisten

lannoitteiden ohella maatalouden, asutuksen ja teollisuuden jätteitä kuten tuhkaa ja jäteliettä. Tuhka on osoittautunut erinomaiseksi metsänlannoitteeksi erityisesti turvemaidilla (KARSISTO ja LEPPÄNEN 1980, PAAVILAINEN 1980). Myös jäteliete saattaa olla arvokas energiametsien lannoite, joskin sen käyttöä rajoittavat hygieniset ja mm. raskasmetalleista aiheutuvat ympäristöhaitat.

Tässä työssä esitetään tuloksia lietelannoitetun vesametsäkoekentän vesojen kasvusta ja tuotoksesta paljaaksihakkuuta seuraavan kasvukauden aikana.

2. Aineisto ja menetelmät

Vesametsän lietelannoituskokeita varten perustettiin noin 0.5 ha:n laajuinen koekenttä Joensuun Kuhasaloon alavalle, osittain kosteikkoiselle lehtipuutiheikköalueelle. Maaperä on lajittunutta hietaa, jota peittää 10-20 cm paksu humuskerros; selvää maannostumista ei ole havaittavissa.

Koekenttä sisältää yhdeksän 22x25 m:n ruutua, joista kukin erikseen ympäröitiin 60 cm syvällä ojalla. Alueen pääasiassa hieskoivua, pajuja, leppiä, pihlajaa ja haapaa sisältävä 20-35 vuotias puusto hakattiin paljaaksi ja raivattiin 17.12.1979-31.1.1980. Koekenttä ojitettiin helmikuussa 1980 ja lannoitettiin 9.-12.6.1980 Joensuun kaupungin jätevesipuhdistamon lietteellä (16 % kuiva-ainetta, $Al_2(SO_4)_3$ -saostus) kolmen ruudun ryhminä seuraavasti: lannoittamaton kontrolli, jäteliettä 12 000 kg/ha ja jäteliettä 30 000 kg/ha. Kuhunkin ruuturyhmään (A, B, ja C) valittiin mahdollisimman samanlaiset ruudut alkuperäisen puuston rakenteen ja lajikoostumuksen perusteella.

Koekentällä ennen hakkuuta kasvaneen puuston tiheys, lajikoostumus ja tuorebiomassa arvioitiin laskemalla jokaisen ruudun poikki merkityltä 2.5 m:n levyiseltä kaistalta läpimitta- ja pituusluokittain kaikki puut.

Ensimmäisen kasvukauden lopulla (17.-27.9.) laskettiin jokaiselta ruudulta satunnaisotannalla valitulta 16:lta pikkuruudulta (2x2 m) vesojen lukumäärä, ja mitattiin vesojen tyviläpimitta ja pituus. Kanto- ja juurivesat laskettiin ruuduilta erikseen ja mitattiin kaikkien vesoja tuottaneiden kantojen paksuus. Vesattomia kantoja ei laskettu, mutta niiden osuus havaittiin hyvin pieneksi. Elokuusta lähtien koekentällä ruokailleiden hirvien vesoilta aiheuttamien vaurioiden arvioimiseksi koskemattomat ja vaurioituneet vesat kirjattiin erikseen.

Tämän raportin tulokset perustuvat yhteensä 7 176:een koekentältä laskettuun ja mitattuun vesaan.

Vesakon biomassatuotoksen määrittämistä varten runsaimpina esiintyvistä lajeista otettiin näytevesoja, joista mitattiin tyviläpimitta ja pituus. Näytevesat kuivattiin ja punnittiin - lehdet ja runko-osat erikseen. Näytevesojen tyviläpimitan ja kuivapainon sekä pituuden ja kuivapainon perusteella laskettiin kullekin lajille eksponentiaaliset biomassaregressiomallit (taulukko 1), joiden avulla ruuduille laskettiin vesakon biomassatuotokset. Lepän ja pihlajan biomassat laskettiin koivun mallilla ja halavan (*Salix pentandra*) biomassat kiiltopajun (*S. phylicifolia*) mallilla. Tässä raportissa esitetään nimenomaan tyviläpimitaan perustuvan mallin avulla lasketut biomassatulokset siitä syystä, että hirvien vesoilta aiheuttamat syömävauriot aiheuttivat josain määrin satunnaishajontaa vesojen pituuksissa.

3. Tulokset ja tulosten tarkastelu

Koekentällä ennen hakkuuta kasvaneesta puustosta oli pääosa pienikokoista pajua ja pihlajaa (taulukko 2). Suurikokoisempien koivujen, joista yli 95 % oli hieskoivua, lepien ja haapojen tiheys oli edellisiin verrattuna pienempi, mutta biomassasta ne muodostivat suhteellisesti suuremman osan. Koekentän keskimääräinen puutiheys, noin 35 000 kpl/ha, on samaa suuruusluokkaa kuin ISSAKAISEN (1980) 20-30 vuotiaissa hieskoivikoissa mitaamat tiheydet.

Taulukko 1. Biomassojen laskennassa käytetyt regressio-kaavat (X = vesan tyviläpimita).

Table 1. Regression equations used in calculating tree biomass (X = basal diameter of a shoot).

Laji Species	Runko Stem	Lehdet Leaves
<i>Salix phylicifolia</i> ¹⁾	$0,73 \cdot X^{1,69}$	$0,94 \cdot X^{1,57}$
<i>S. myrsinifolia</i> ²⁾	$0,66 \cdot X^{1,83}$	$2,71 \cdot X^{1,31}$
<i>S. cinerea</i> ³⁾	$0,002 \cdot X^{3,19}$	$0,03 \cdot X^{2,34}$
<i>Populus tremula</i>	$0,001 \cdot X^{3,12}$	$0,001 \cdot X^{2,90}$
<i>Betula</i> spp.	$0,04 \cdot X^{2,40}$	$0,26 \cdot X^{1,84}$

1) Incl. *S. caprea* x *phylicifolia*

2) Incl. *S. caprea* x *myrsinifolia*, *S. caprea* x *myrsinifolia* x *phylicifolia*

3) Incl. *S. caprea* x *cinerea*, *S. caprea* x *cinerea* x *myrsinifolia*,
S. caprea x *cinerea* x *aurita*

Taulukko 2. Koekentän puuston rakenne ennen hakkuuta.

Table 2. The structure of the tree stand on the experimental field before cutting.

Laji Species	Keskiläpimitta (d_{130}) Mean diameter cm	Keskipituus Mean height m	Tiheys Density exx/ha	Tuorebiomassa Biomass (fw) tn/ha
<i>Salix</i> spp.	1,5	3,5	28 580	32,2
<i>Populus tremula</i>	10,1	7,8	40	2,4
<i>Betula</i> spp.	5,6	5,7	1 710	61,2
<i>Sorbus aucuparia</i>	1,2	2,7	3 460	2,8
<i>Alnus</i> spp.	6,2	7,1	570	15,5
Yhteensä Total			34 360	114,1

Ensimmäisen kasvukauden aikana pajut tuottivat kantovesoja eniten (taulukko 3). Vähiten vesoja kantoa kohti kehittyi lepällä, haavalla ja koivulla. Runsaimpina esiintyvillä pajuilla ja pihlajalla on tilastollisesti merkitsevä positiivinen riippuvuus kannon paksuuden ja vesaluvun välillä. Sen sijaan koivulla ja haavalla havaitaan vain lievästi positiivinen riippuvuus, ja lepällä riippuvuus on jopa negatiivinen. MIKOLA (1942) ja LEIKOLA ja MUSTANOJA (1961) ovat todenneet, että koivun vesomiskyky yleensä huononee puun iän kasvaessa ja kannon paksuuden ylittäessä tietyn raja-arvon. Tämän tutkimuksen koekentällä koivut olivat ilmeisesti niin pieniä (keskiläpimitta 5.6 cm), ettei vesaluvun ja kannon paksuuden välinen negatiivinen riippuvuus tule tästä syystä näkyviin.

Käytännöllisesti katsoen kaikki pajun ja koivun tuottamat vesat olivat kantovesoja (taulukko 3). Sen sijaan lepän ja pihlajan ja erityisesti haavan vesoista huomattava osa on juurivesoja.

Sekä vesojen pituuskasvu että keskimääräinen vesan biomassatuotos on paras pajuilla (taulukko 4). Kun myös koivun vesojen keskimääräinen biomassa on samaa suuruusluokkaa, voidaan päätellä, että yleensäkin kantovesoja tuottavilla lajeilla kasvun liikkeellelähtö on nopeampaa kuin juurivesoja tuottavilla lajeilla.

Keskimääräinen vesatiheys koekentällä, noin 125 000 kpl/ha, on varsin korkea (taulukko 4). Ruuduittain tiheys vaihteli 63 000-249 000 kpl/ha. Saavutetut tiheydet ovat ilmeisesti riittäviä vesakon maksimaaliselle biomassatuotokselle 10-20 vuoden kiertoajalla, sillä esimerkiksi hieskoivuvesakossa luontainen, kilpailusta aiheutuva harvennus johtaa jyrkkään runkoluvun laskuun metsikön iän noustessa 5:sta 20:een vuoteen (ISSAKAINEN 1980). Tällöin runkoluku näyttää vakiintuvan 30 000-40 000 kpl/ha.

Taulukko 3. Kantovesojen lukumäärä eri puulajeilla.

Table 3. The number of shoots per stump.

Laji	Vesoja/kanto	Kantojen lkm	Vesaluvun ja kannon paksuuden välinen riippuvuus	Kantovesojen %-osuus kokovesämäärästä
Species	Shoots/stump	No. of stumps	Correlation between the number of shoots and stump thickness	The percentage of stump shoots from total
<i>Salix phylicifolia</i>	7,8	276	.555 ^{xxx}	98
<i>S. myrsinifolia</i>	10,6	108	.686 ^{xxx}	100
<i>S. cinerea</i>	5,4	21	.254	100
<i>S. pentandra</i>	25,0	3	.550	100
<i>Populus tremula</i>	4,2	56	.194	22
<i>Betula</i> spp.	5,1	58	.170	93
<i>Sorbus aucuparia</i>	6,1	74	.557 ^{xxx}	69
<i>Alnus</i> spp.	4,0	9	-.091	60

Taulukko 4. Vesojen kasvu ja tuotos ensimmäisen kasvukauden aikana.

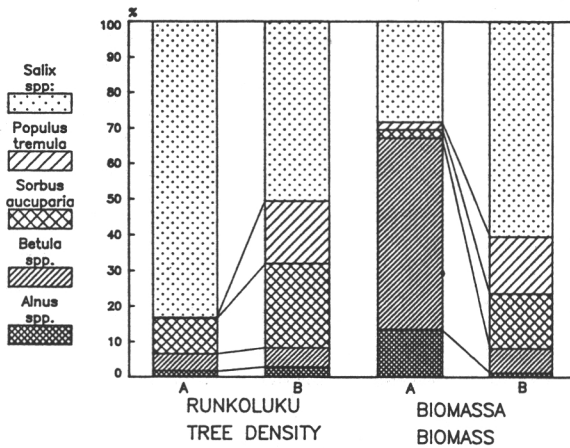
Table 4. Shoot growth and yield during the first growing season.

Laji	Vesan maksimipituus	Vesan keskim. biomassa	Vesatiheys	Biomassa
Species	Max. height of one shoot cm	Mean biomass of one shoot g (dw)	Shoot density exx/ha	Biomass kg/ha (dw)
<i>Salix phylicifolia</i>	232	14,1	39 720	560
<i>S. myrsinifolia</i>	235	18,5	18 970	351
<i>S. cinerea</i>	145	21,3	1 980	42
<i>S. pentandra</i>	190	17,8	2 120	38
<i>Populus tremula</i>	150	11,7	21 580	252
<i>Betula</i> spp.	135	15,8	6 750	107
<i>Sorbus aucuparia</i>	100	8,3	29 850	248
<i>Alnus</i> spp.	105	5,2	3 520	18
Yhteensä Total			124 490	1 616

Koekentän vanhan puuston kaatoajankohta (keskitalvi) on vesomisen kannalta ilmeisen hyvä. Hieskoivun kaatoajankohdalla ei tosin liene paljon vaikutusta (FERM ja ISSAKAINEN 1981), mutta esim. alkukesällä kaadettujen haapojen kannot vesovat huomommin kuin muulloin kaadettujen puiden kannot (DOBELL ja ALFORD 1972).

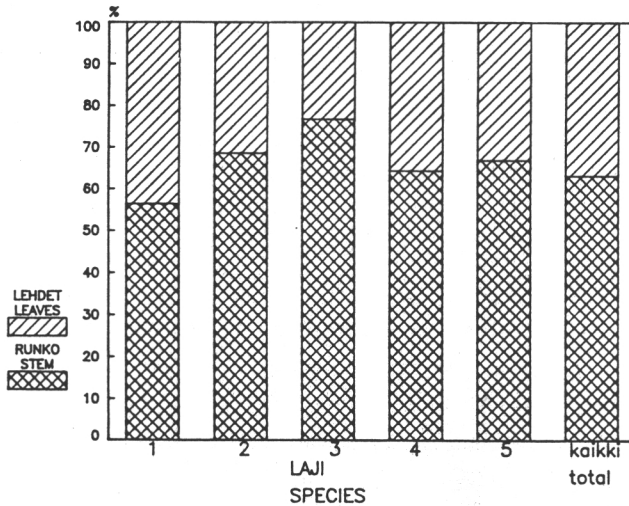
Pajut, haapa ja pihlaja tuottivat pääosan ensimmäisen kasvukauden vesoista ja myös biomassasta, joka oli koekentällä keskimäärin 1 600 kg kuiva-ainetta/ha (taulukko 4). Koekentältä hakattuun puustoon verrattuna runsaasti juurivesoja tuottaneet haapa ja pihlaja ovat lisänneet runkolukuosuuttaan lähinnä pajujen kustannuksella (kuva 1). Vanhan puuston biomassajakaumaan nähden pajujen, haavan ja pihlajan osuudet tuotetusta vesabiomassasta ovat huomattavasti kasvaneet koivun ja lepän osuuksien vastaavasti pienentyessä. Koivun ja lepän heikohko uudistuvuus selittyy osittain sillä, että ne olivat koekentän alkuperäisessä puustossa suurimpia ja näin ollen ehkä jo parhaan vesomisvaiheen ohittaneita (vrt. taulukko 2). Tulokset osoittavat kuitenkin selvästi, että koekentällä valitsevista olosuhteista paju-, haapa- ja pihlajavesakon alkukehitys on parempi kuin lepän ja koivun.

Lehtien osuus vesojen kokonaisbiomassasta oli lajista riippuen 25-45 % ja keskimäärin noin 35 % (kuva 2). Hirvien vesakossa aiheuttamat vauriot ovat saattaneet jossain määrin vääristää lehtien ja runkopuun suhteellisista osuuksista saatua tulosta. Hirvet vahingoittivat keskimäärin noin 25 % kaikista vesoista, mutta vauriot kohdistuivat valikoivasti suurimpiin vesoihin (taulukko 5) ja pääasiassa vain niiden lehtiin. Tätä osoittaa se, että suurimmissakin läpimittaluokissa, joita hirvet siis vahingoittivat eniten, vaurioituneet vesat olivat vain vähän koskemattomia lyhempiä - haavalla jopa näitä hieman pidempiä (taulukko 6). Ilmeisesti nopeakasvuisten vesojen ja nimenomaan niiden lehtien maku ja ravintoarvo on niitä syöville eläimille parempi, ja pitkiä vesoja hirven lienee myös "ergonomisesti" helpompi käyttää hyväkseen.



Kuva 1. Puulajien suhteelliset osuudet runkoluvusta ja biomassasta koekentällä ennen hakkuuta (A) ja ensimmäisen kasvukauden jälkeen (B).

Figure 1. The proportions of different species out of stem number and biomass in the experimental field before cutting (A) and after the first growing season (B).



Kuva 2. Runsaimpien puulajien rungon ja lehtien biomassaosuudet.

1 = *Salix phylicifolia*, 2 = *S. myrsinifolia*, 3 = *S. cinerea*, 4 = *Populus tremula* ja 5 = *Betula* spp.

Figure 2. The proportions of stems and leaves out of the biomass of the most abundant tree species.

Taulukko 5. Hirvien vaurioittamien vesojen %-osuudet eri läpimittaluokissa kiiltopajulla, haavalla ja koivulla.

Table 5. The percentage of shoots damaged by elk in different diameter classes.

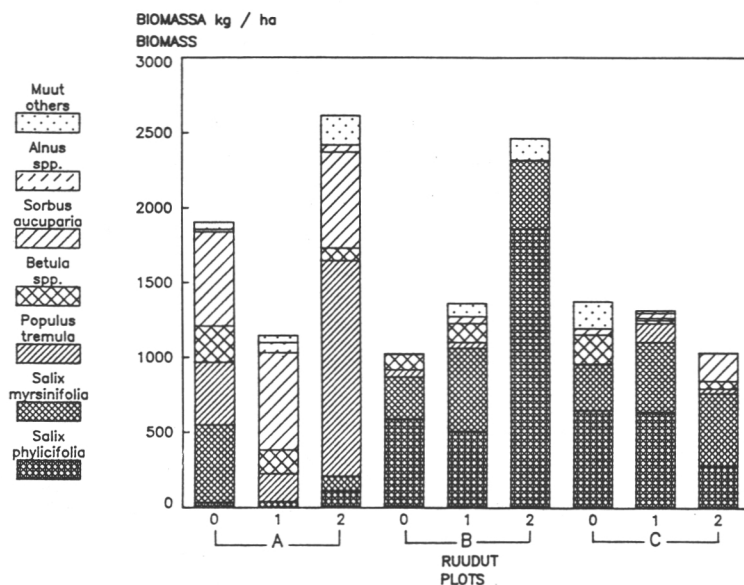
Läpimittaluokka (d_b)	< 2	3	4	5	6	7-8	> 9	n
Diameter class mm								
<i>Salix phylicifolia</i>	3,1	23,5	29,7	32,6	35,6	39,0	52,0	582
<i>Populus tremula</i>	7,4	24,4	28,6	<u>33,3</u>	<u>31,7</u>	<u>45,5</u>	<u>42,7</u>	469
<i>Betula</i> spp.	0	21,7	45,6	65,5		70,5		137

Taulukko 6. Hirvien vahingoittamien ja koskemattomien vesojen keskimääräiset pituudet suurimmissa läpimittaluokissa kiiltopajulla, haavalla ja koivulla.

Table 6. The mean height of shoots damaged by elk and undamaged shoots in highest diameter classes.

Laji	Läpimittaluokat (d_b)	Vesan pituus (cm) Shoot height			
		Koskemattomat	n	Vahingoittuneet	n
Species	Diameter classes	Undamaged		Damaged	
<i>Salix phylicifolia</i>	> 9 mm	147,2 ±46,2	61	122,6 ±28,0	63
<i>Populus tremula</i>	> 9 mm	69,8 ±22,5	73	86,9 ±22,3	56
<i>Betula</i> spp.	> 5 mm	80,0 ±18,4	23	68,8 ±21,7	50

Koekentän vesakon ensimmäisen kasvukauden biomassatuotos vaihteli ruuduittain noin 1 000-2 600 kg kuiva-ainetta/ha (kuva 3). Kun vuotuisen tuotoksen voidaan olettaa nousevan jyrkästi lähivuosina (vrt. ISSAKAINEN 1980), koekentällä on mahdollista saavuttaa varsinaisia energiaviljelmiä vastaavia tuotosarvoja.



Kuva 3. Vesakon biomassatuotos koekentän kolmessa ruuturyhmässä (A, B ja C), joissa lannoituskäsittelyt ovat: 0 = kontrolli, 1 = jäteliettä 12 000 kg/ha ja 2 = jäteliettä 30 000 kg/ha.

Figure 3. Biomassa yield in the plot groups (A, B and C) of the experimental field. The plots were fertilized as follows: 0 = control, 1 = sewage sludge 12 000 tn/ha, and 2 = sewage sludge 30 000 tn/ha.

Kahdessa koekentän ruuturyhmässä (A ja B) korkein biomassatuotos oli voimakkaimmin lannoitetulla ruudulla, mutta kolmannessa ruuturyhmässä (C) voimakkaimmin lannoitetun ruudun tuotos oli pienin (kuva 3). Kaikki ruudut huomioonottaen voimakkaimmin lannoitettujen ruutujen keskimääräinen tuotos (2 036 kg/ha) oli selvästi suurempi kuin pienellä lietemäärällä lannoitettujen (1 278 kg/ha) ja lannoittamattomien ruutujen (1 445 kg/ha) tuotos. Havaitut erot johtunevat kuitenkin

pääasiassa koekentän alkuperäisessä puustossa ja maaperässä esiintyvistä heterogeenisuudesta, eivätkä niinkään lannoitusvaikutuksesta. Lannoituksen vaikutus on ilmeisesti vähäinen ensimmäisen kasvukauden aikana, jolloin syntyvät vesat saanevat pääosan tarvitsemistaan ravinteista "emäpuun" kannoista ja juurista. Toisaalta myös maaperän biologista aktiivisuutta koskevat mittaukset lietelannoitetuilla alueilla viittaavat siihen, että jätelietteen ravinteet mobilisoituvat kasvien käyttöön vain pienessä määrin ensimmäisen kasvukauden aikana (HOKKANEN ja VUORINEN 1984). Tästäkin syystä lannoitusvaikutusten voi olettaa tulevan esille vasta myöhemmin, jolloin myös puuston kasvu ja kilpailu ravinteista kiihtyy. Esimerkiksi BIALKIEWICZ (1978) ja COOLEY (1979) ovat saaneet useita vuosia kestäneissä kenttäkokeissa jätevesi- ja lietelannoituksella huomattavia kasvunlisäyksiä useilla lehti- ja havupuulajeilla.

Tiivistelmä

Paljaaksihakatun lehtipuumetsikön pohjalle kehittyvän vesametsän kasvua tutkittiin Joensuun Kuhasaloon perustetulla koekentällä. Koekenttä sisältää yhdeksän 22x35 metrin ruutua, jotka hakattiin ja raivattiin talvella 1980. Keväällä ruudut lannoitettiin Joensuun kaupungin jätevesipuhdistamon lietteellä kolmen ruudun toistoina seuraavasti: lannoittamaton kontrolli, jäteliete 12 000 kg/ha ja jäteliete 30 000 kg/ha. Kasvukauden lopulla mitattiin lajeittain vesojen määrä sekä niiden pituus- ja paksuuskasvu. Tuotos laskettiin näytepuiden biomassan ja tyviläpimitaan perustuvien eksperimentaalisten regressiomallien avulla.

Vesatiheys koekentällä oli keskimäärin 124 500 kpl/ha vaihdelleen ruuduittain 63 000 -248 900 kpl/ha. Kantovesojen määrä oli suurin pajuilla (7,8-25,0 kpl/kanto) ja pienin koivulla, lepällä ja haavalla (4,0-5,1 kpl/kanto). Juurivesojen kehitys oli voimakkainta haavalla ja pihlajalla, kun sen sijaan pajujen vesoista yli 98 % oli kantovesoja. Poistetun puuston biomassaan ja runkolukuun verrattuna vesoja tuottivat eniten haapa, pihlaja ja pajut. Koivun ja lepän vesominen koekentällä oli varsin heikko.

Vesametsän ensimmäisen kasvukauden kuiva-ainetuotos vaihteli ruuduittain 1 000 - 2 600 kg/ha. Lehtien osuus kokonaistuotoksesta oli 25-45 %. Lannoituksen vaikutukset eivät tulleet tilastollisesti merkitsevinä esille ruutujen erilaisista taustatilanteista aiheutuvasta vaihtelusta. Vesojen pituus- ja paksuuskasvu näyttää kuitenkin olevan suurempi lannoitetuilla ruuduilla kuin lannoittamattomilla.

Hirvet vaurioittivat noin neljänneistä koekentän vesoista. Lämpimän ja pituuden perusteella laskettujen biomassojen vertailu vahvistaa maastohavainnot, joiden mukaan hirvi syö pajukasveista lähinnä lehdet ja varren kärjen; sen sijaan koivun, lepän ja pihlajan vesoista hirvet näyttävät syövän enemmän myös vartta.

Kirjallisuusluettelo

- BIALKIEWICZ, F. 1978. Lysimetric and forest studies on the cleaning and productive utilization of municipal sewage. Forest Research Institute. Varsova.
- COOLEY, J. H. 1979. Effects of irrigation with oxidation pond effluent on tree establishment and growth on sand soils. Sopper, W. E. & Kerr, S. N. (toim.). Utilization of municipal sewage effluent and sludge on forest and disturbed land. The Pennsylvania State University Press, London.
- DEBELL, D. S. & ALFORD, L. P. 1972. Sprouting characteristics and cutting practices evaluated for cotton wood. - Tree planters notes 23.
- FERM, A. & ISSAKAINEN, J. 1981. Kaatoajankohdan ja kaatotavan vaikutus hieskoivun vesomiseen turvemaailia. - Metsäntutkimuslaitoksen Tiedonantoja 33.
- FERM, A., KAUPPI, A. & RINNE, P. 1982. The potential of birch for biomass production. - IEA-Forestry Planning Group B.
- HOKKANEN, T. & VUORINEN, A. 1984. Maanparannuskäsittelyien vaikutuksesta maaperän biologiseen aktiivisuuteen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja no 138 (painossa).
- ISSAKAINEN, J. 1980. Luontaisten vesakoiden biomassan tuotokyvystä. Muhoksen Tutkimusaseman Tiedonantoja 18.
- KAITAINEN, V. & KILKKI, P. 1960. Poistetun verhopuuston vesomisesta ja sen metsänhoidollisesta merkityksestä. Laudatur-työ. Helsingin Yliopisto.
- KARSISTO, M. & LEPPÄNEN, R. 1980. Tuhkalannoituksen vaikutus maaperän mikrobistoon. Muhoksen Tutkimusaseman Tiedonantoja 20.

- LEIKOLA, M. & MUSTANOJA, K. 1961. Koivun kantojen vesominen. Laudatur-työ. Helsingin Yliopisto.
- MIKOLA, P. 1942. Koivun vesomisesta ja sen metsänhoidollisesta merkityksestä. Acta For. Fenn. 50.
- NISSI, S. & OJALAINEN, R. 1960. Lehtipuiden vesominen kulo-
tetuilla kangasmailla. Laudatur-työ. Helsingin Yliopisto.
- PAAVILAINEN, E. 1980. Tuloksia vanhoista tuhkalannoituskokeista. Muhoksen Tutkimusaseman Tiedonantoja 20.
- PAAVILAINEN, E. & FERM, A. 1981. Biomass yields and management of natural coppice stands. Supplement. - IEA-Planning Group B.

Joensuun tutkimusasemalla aikaisemmin ilmestyneet
Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja -sarjan julkaisut:

- Nro 37 Kauko Salo (toim.). Metsämarja- ja sienisatotutkimuksen menetelmäongelmia. 37 s. 1982.
- Nro 43 Jari Parviainen. Metsäpuiden taimien kasvatusta ja istutus. Luentosarja menetelmien biologisista perusteista ja vaikutuksista taimiin. 114 s. 1982.
- Nro 56 Matti Karjula, Simo Kaila, Jari Parviainen, Juhani Päivänen ja Pentti K. Räsänen. Metsänviljelyn vaihtoehtojen valintaperusteet kivennäismailla. Kirjallisuustarkastelu. 116 s. 1982.
- Nro 78 Jaakko Virtanen. Helikopteri metsäpalontorjunnassa. 20 s. 1982.
- Nro 90 Kauko Salo ja Pentti Sepponen (toim.). Luonnonmarja- ja sienitutkimuksen seminaari, osa I. 163 s. 1983.
- Nro 91 Kauko Salo ja Pentti Sepponen (toim.). Luonnonmarja- ja sienitutkimuksen seminaari, osa II. 98 s. 1983.
- Nro 124 Metsäntutkimuspäivä Joensuussa 15. 11. 1983. Tavoitteena kehityskelpoinen taimikko — onko metsänuudistaminen kaavamaisista. 90 s. 1983.
- Nro 131 Mikko Toropainen. Valtion avustukset kuntien aluelämpöinvestoinnissa. 79 s. 1984.
- Nro 134 Jari Parviainen, Matti Ruotsalainen ja Seppo Sokkanen. Metsänviljelyn toimenpiteketjuja vertaileva laskentaohjelma "VILJO". 66 s. 1984.

Joensuun tutkimusaseman osoite:

Metsäntutkimuslaitos
Joensuun tutkimusasema
Yliopistokatu 7
PL 68
80101 JOENSUU 10
Puh. (973) 26211